



Apellidos: .....

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

**EJERCICIO 1** (1,5 Puntos).

Una antena receptora se conecta directamente a un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) del que se conocen las siguientes características proporcionadas por su fabricante:

f (GHz)	G (dB)	$\varphi$ (rad)	F(dB)
1	0	-1,15	4,5
2	10	-1,20	4,0
3	16	-1,30	2,0
4	3	-1,35	3,5

G es la ganancia del amplificador,  $\varphi$  es el argumento de su función de transferencia, y F es su factor de ruido.

A partir de ello, se quiere comparar el comportamiento del amplificador en la banda de 2 a 3 GHz utilizando, para ello, una señal compuesta por dos tonos de frecuencias:  $f_1 = 2$  GHz y  $f_2 = 3$  GHz.

La temperatura equivalente de ruido de la antena,  $T_{ea}$ , es constante e igual a  $T_0 = 300$  K, en la banda de 2 a 3 GHz. Considere adaptación de impedancias en todos los puntos.

- a) Si la potencia que entrega la antena es de -40 dBm, para el tono de 2 GHz, y de -46 dBm, para el tono de 3 GHz, calcule la potencia total de la señal compuesta por los dos tonos a la entrada del LNA y a la salida del LNA. En ambos casos, exprese el resultado en dBm (0,5 puntos).

- b) Utilizando como medida de calidad la relación señal a ruido ( $S/N$ ), calcule qué diferencia de calidad (expresada en dB) existe entre los dos tonos que componen la señal a la entrada del LNA:  $\Delta(S/N)_i$  (dB) =  $(S/N)_i_{2\text{GHz}}$  (dB) –  $(S/N)_i_{3\text{GHz}}$  (dB). Nota: para realizar este cálculo no debe incluirse el ruido introducido por el LNA (0,5 puntos).
- c) Repita la operación a la salida del LNA:  $\Delta(S/N)_o$  (dB) =  $(S/N)_o_{2\text{GHz}}$  (dB) –  $(S/N)_o_{3\text{GHz}}$  (dB). Nota: ahora sí debe de tener en cuenta el ruido introducido por el LNA (0,5 puntos).

### Soluciones al EJERCICIO 1 (1,5 Puntos).

- a) Si la potencia que entrega la antena es de -40 dBm, para el tono de 2 GHz, y de -46 dBm, para el tono de 3 GHz, calcule la potencia total de la señal compuesta por los dos tonos a la entrada del LNA y a la salida del LNA. En ambos casos, exprese el resultado en dBm (0,5 puntos).

$$S_i = 10\log[S_{i1}(mw) + S_{i2}(mw)] = 10\log[10^{-4,0} + 10^{-4,6}] = -39 \text{ dBm}$$

$$S_{o1}(\text{dBm}) = -40 + 10 = -30 \text{ dBm}$$

$$S_{o2}(\text{dBm}) = -46 + 16 = -30 \text{ dBm}$$

$$S_0 = 10\log[S_{o1}(mw) + S_{o2}(mw)] = (-30 + 3)\text{dBm} = -27 \text{ dBm}$$

- b) Utilizando como medida de calidad la relación señal a ruido (S/N), calcule qué diferencia de calidad (expresada en dB) existe entre los dos tonos que componen la señal a la entrada del LNA:  $\Delta(S/N)_i$  (dB) =  $(S/N)_i$  2GHz (dB) –  $(S/N)_i$  3GHz (dB). Nota: para realizar este cálculo no debe incluirse el ruido introducido por el LNA (0,5 puntos).

$$G_{ni}(f) = kT_{ea} = kT_0; \quad 2 \text{ GHz} \leq f \leq 3 \text{ GHz}$$

$$N_{i1} = N_{i2} = 10\log(kT_0B) = -174 \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} + 10\log(B)$$

$$\left. \begin{array}{l} 2 \text{ GHz}, \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{i1} = -40 + 174 - 10\log(B) \\ 3 \text{ GHz}, \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{i2} = -46 + 174 - 10\log(B) \end{array} \right\} \Delta SNR_i = 6 \text{ dB}$$

- c) Repita la operación a la salida del LNA:  $\Delta(S/N)_o$  (dB) =  $(S/N)_o$  2GHz (dB) –  $(S/N)_o$  3GHz (dB). Nota: ahora sí debe de tener en cuenta el ruido introducido por el LNA (0,5 puntos).

Como  $T_{ea}=T_0$ , entonces:

$$\left. \begin{array}{l} 2 \text{ GHz}, \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{o1} = \left(\frac{S}{N}\right)_{i1} - F_1 \\ 3 \text{ GHz}, \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{o2} = \left(\frac{S}{N}\right)_{i2} - F_2 \end{array} \right\} \Delta SNR_o = \Delta SNR_i - (F_1 - F_2) = 4 \text{ dB}$$

También se podía haber hecho:

$$T_{eqi1} = T_0 + T_0(f_1 - 1) = f_1 T_0 \rightarrow T_{eqo1} = g_1 f_1 T_0 \Rightarrow N_{o1} = 10\log(g_1 f_1 k T_0 B)$$

$$T_{eqi2} = T_0 + T_0(f_2 - 1) = f_2 T_0 \rightarrow T_{eqo2} = g_2 f_2 T_0 \Rightarrow N_{o2} = 10\log(g_2 f_2 k T_0 B)$$

Siendo  $f_1$  y  $f_2$ , en esta expresión, el factor de ruido del amplificador a 2 GHz y 3 GHz, en veces.

$$\left. \begin{array}{l} 2 \text{ GHz}, \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{o1} = -30 - G_1 - F_1 + 174 - 10\log(B) \\ 3 \text{ GHz}, \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{o2} = -30 - G_2 - F_2 + 174 - 10\log(B) \end{array} \right\} \Delta SNR_i = 4 \text{ dB}$$



Apellidos: .....

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

### PROBLEMA 1 (3,5 puntos)

En la figura 1 se muestran los elementos principales de un sistema de comunicaciones (transmisor y receptor) que emplea modulación AM.

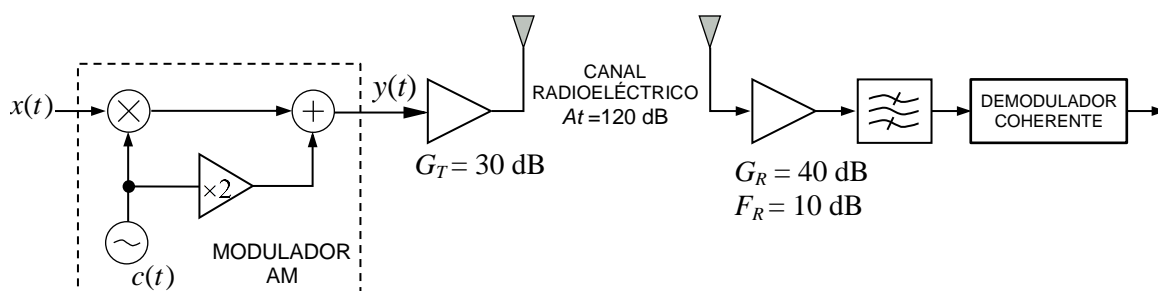


Figura 1. Diagrama de bloques para los apartados a)-d)

- La señal moduladora  $x(t)$  se caracteriza por un valor de pico de 1,6 V, potencia media 12,8 mW y frecuencia máxima 12 kHz.
- El oscilador  $c(t)$  genera un coseno de amplitud 0,5 V y frecuencia 3 MHz.
- El amplificador que está dentro del modulador multiplica por 2 la tensión de señal.
- El amplificador del transmisor es de ganancia  $G_T = 30$  dB.
- El canal radioeléctrico atenúa la señal 120 dB.
- La antena del receptor capta un ruido térmico de temperatura  $T_a = 2300$  K.
- El amplificador del receptor es de ganancia  $G_R = 40$  dB y figura de ruido  $F_R = 10$  dB. Dado el elevado valor de ganancia puede despreciarse el ruido del resto de elementos del receptor.
- El sistema está adaptado a  $R = 50 \Omega$ .

Notas:

- Tenga en cuenta que la señal moduladora utilizada en los apartados a)-d) no es una senoide.
- En el apartado e) se proporcionan datos auxiliares que, en caso necesario, permitirían su resolución sin haber realizado los apartados anteriores.

a) Obtenga la expresión temporal de la señal en el tiempo a la salida del modulador,  $y(t)$ , dejándola en función de  $x(t)$ . A partir de esa expresión determine el índice de modulación,  $m$ . (20%)

b) Calcule las potencias (portadora, una banda lateral, media y PEP) de la señal  $y(t)$ . Exprese los resultados en dBm. (20%)

c) Calcular la relación señal-ruido a la salida del demodulador coherente. (20%)

d) Indicar valores razonables para las frecuencias de corte inferior y superior del filtro paso banda del receptor. (10%)

e) Se sustituye el receptor por un analizador de espectros y se usa un tono normalizado de 6 kHz como señal moduladora (ver figura 2). En la plantilla adjunta, dibujar el espectro que se visualizaría en la pantalla del analizador. No olvide el ruido que introduce el propio equipo de medida. (30%)

Nota. Si no ha conseguido resolver los apartados anteriores suponga que la potencia media de la señal modulada (a la salida del modulador) es 11 dBm y el índice de modulación  $m = 0,7$ .

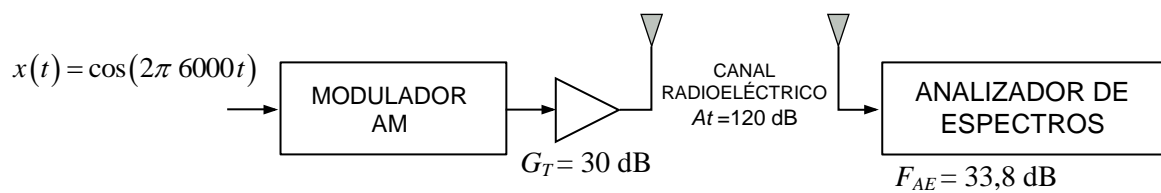


Figura 2. Diagrama de bloques para el apartado e)

Ancho de banda de resolución: 1 kHz

[illegible]

### Solución

a)

$$y(t) = x(t) \cdot 0,5 \cdot \cos(2\pi \cdot 3 \cdot 10^6 t) + \cos(2\pi \cdot 3 \cdot 10^6 t) = (1 + 0,5 \cdot x(t)) \cos(2\pi \cdot 3 \cdot 10^6 t)$$

Para determinar el índice de modulación normalizamos la señal moduladora:

$$x_n(t) = \frac{x(t)}{x_p} = \frac{x(t)}{1,6}$$

$$y(t) = (1 + 0,5 \cdot 1,6 \cdot x_n(t)) \cos(2\pi \cdot 3 \cdot 10^6 t) = 1 \left( 1 + \underset{m}{0,8 \cdot x_n(t)} \right) \cos(2\pi \cdot 3 \cdot 10^6 t)$$

Índice de modulación  $m = 0,8$

b)

$$\langle x^2(t) \rangle = P_x \cdot R = 0,64 \text{ V}^2 \rightarrow \langle x_n^2(t) \rangle = \frac{\langle x^2(t) \rangle}{x_p^2} = \frac{0,64}{2,56} = 0,25 \text{ V}^2$$

$$p_c = \frac{A^2}{2R} = 0,01 \text{ W (10 dBm)}$$

$$p_{1BL} = \frac{1}{2} \frac{A^2}{2R} m^2 \langle x_n^2(t) \rangle = \frac{1}{2} \frac{1^2}{2 \cdot 50} 0,8^2 \cdot 0,25 = 0,0008 \text{ W (-0,97 dBm)}$$

$$p_y = p_c + 2 \cdot p_{1BL} = 0,0116 \text{ W (10,6 dBm)}$$

$$PEP = \frac{A^2}{2R} (1+m)^2 = 0,0324 \text{ W (15,1 dBm)}$$

c)

$$T_e = T_0(f_R - 1) = 2700 \text{ K (temperatura equivalente del amplificador)}$$

$$N_0 = k \cdot (T_a + T_e) = k \cdot 5000 = 6,9 \cdot 10^{-20} \text{ W/Hz}$$

$$P_R = P_y + G_T - A_t = 11,4 - 30 - 120 = -79,4 \text{ dBm}$$

$$z = \frac{P_R}{N_0 \cdot W} = \frac{1,148 \cdot 10^{-11}}{6,9 \cdot 10^{-20} \cdot 12000} = 13866$$

$$(s/n)_s = z \frac{m^2 \langle x_n^2(t) \rangle}{1 + m^2 \langle x_n^2(t) \rangle} = 1912,6 \rightarrow (S/N)_s = 32,8 \text{ dB}$$

d) El filtro paso banda estará centrado en 3 MHz y su ancho de banda deberá ser el doble de la frecuencia máxima de la señal moduladora. Luego:

- Frecuencia de corte inferior: 2988 kHz
- Frecuencia de corte superior: 3012 kHz

e) Las nuevas potencias de la señal  $y(t)$  son:

$$\langle x_n^2(t) \rangle = 0,5 \text{ V}^2$$

$$p_c = \frac{A^2}{2R} = 0,01 \text{ W (10 dBm)}$$

$$p_{1BL} = \frac{1}{2} \frac{A^2}{2R} m^2 \langle x_n^2(t) \rangle = \frac{1}{2} \frac{1^2}{2 \cdot 50} 0,8^2 \cdot 0,5 = 0,0016 \text{ W (2 dBm)}$$

En el analizador de espectros las potencias habrán disminuido 90 dB ( $G_T - A_T$ ).

El ruido es:

$$N = k \cdot (T_{AE} + T_a) \cdot RBW = 10^{-14} \text{ W } (-110 \text{ dBm})$$

$$T_{AE} = 719350 \text{ K}$$

Pantalla del analizador de espectros:

