



- Test (3 puntos) – Modelo A
- Marcar únicamente una respuesta en cada pregunta.
- Los errores descuentan 1/3.

NOMBRE:

1.- Sea un sistema de comunicaciones móviles que utiliza una modulación BPSK a 20 kb/s y permite un retardo máximo (T_{\max}) de 64 ms. El canal presenta un tiempo de ráfaga de errores ($T_{\text{ráfaga}}$) de 2 ms. Se usa una matriz de entrelazado rectangular. ¿Qué matriz de entrelazado de las mencionadas a continuación es correcta?

- a) 41 filas y 15 columnas
- b) 33 filas y 19 columnas
- c) 19 filas y 33 columnas
- d) 41 filas y 30 columnas

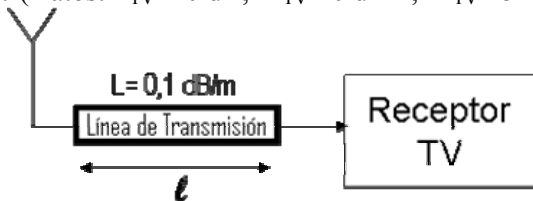
2.- ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta para un circuito mezclador?

- a) La ganancia de conversión en dB de un mezclador pasivo puede ser positiva.
- b) Los mezcladores activos suelen ser menos ruidosos que los pasivos.
- c) Un mezclador es un circuito lineal.
- d) Ninguna de las anteriores.

3.- ¿Cuál de las siguientes alternativas considera más apropiada para obtener las muestras digitalizadas de las componentes I/Q de una señal modulada?

- a) Efectuar la conversión A/D sobre la señal modulada antes de efectuar la extracción I/Q
- b) Efectuar la conversión A/D tras la extracción analógica de las componentes I/Q
- c) Es indiferente utilizar la opción a) o la b)
- d) La opción a) será mejor que la b) únicamente cuando la señal modulada sea de FM

4.- En el esquema de recepción de TV de la figura, considerando que la temperatura de antena y la temperatura física son $T_0=290$ K, ¿cuál es el valor óptimo de la longitud de la línea de transmisión que maximiza el SFDR? (Datos: $F_{TV}=10$ dB, $IP_{TV}=0$ dBm; $B_{TV}=5$ MHz)



- a) No depende de la longitud de la línea
- b) 20 m.
- c) 10 m.
- d) Ninguna de las anteriores

5.- ¿Cuál de los siguientes dispositivos utilizaría a la entrada de un conversor A/D para ajustar el rango de amplitud de la señal a digitalizar al margen dinámico del conversor?

- a) Un Control Automático de Ganancia (CAG)
- b) Un PLL
- c) Un filtro paso bajo
- d) Ninguna de las anteriores

6.- Suponiendo que el vestigio del rizado de la fuente de alimentación ($f_c=50$ Hz) en bornes de un VCO es $A_c=1\mu V$, ¿cuál debe ser el valor de la constante característica del VCO (K_2) para garantizar un rechazo de las señales espurias a la salida del mismo de 60 dB?

- a) 10 kHz/V
- b) 100 kHz/V
- c) 1 MHz/V
- d) 10 MHz/V

7.- ¿Cuál ha de ser el máximo factor de ruido de un cabezal receptor para que a la salida de un PLL actuando como recuperador de sincronismo de portadora el jitter de de fase sea inferior a 1° ?

Nota.- Considere un PLL de segundo orden activo con un ancho de banda equivalente de ruido mínimo; $f_n=10$ KHz, una sensibilidad del receptor igual a -90 dBm y una temperatura de antena igual a $T_0=290$ K.

(marcar el rango en el que se encuentre la respuesta correcta)

- a) $F \leq 2$
- b) $2 < F \leq 3$
- c) $3 < F \leq 4$
- d) $4 < F$

8.- En un PLL de segundo orden con filtro pasivo ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

- a) El margen de Hold-in es infinito
- b) El margen de Pull-in es igual al margen de Lock-in
- c) El margen de Lock-in es igual a $\pm AK$
- d) El margen de Hold-in es igual $\pm AK$

9.- Sea un receptor que opera a una frecuencia intermedia (f_{FI}) de 10.7 MHz con un ancho de banda de 25 kHz. Se desea diseñar un extractor digital de componentes I/Q escogiendo la frecuencia de muestreo $f_m = 4f_{FI}/(4k+1)$ ¿cuál es el valor apropiado del factor k que permite minimizar la frecuencia de muestreo?

- a) 427
- b) 213
- c) 0
- d) 157

10.- Para el duplexado TDD es cierto que:

- a) Las transmisiones y recepciones se producen en instantes diferentes de tiempo, de acuerdo con una cierta estructura de trama.
- b) Transmite y recibe utilizando una misma frecuencia
- c) No se requiere de duplexor.
- d) Todas las anteriores son ciertas

11.- Considere un receptor superheterodino de conversión simple que capta señales en el rango de 3 a 10 MHz, con una separación de canales de 20 kHz. El oscilador local genera frecuencias en el rango de 4 a 11 MHz. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones será cierta?

- a) El filtro de RF puede realizarse con un filtro paso bajo no sintonizable que deje pasar hasta 10 MHz.
- b) El filtro de RF debe ser sintonizable
- c) La frecuencia imagen es la misma con independencia del canal sintonizado.
- d) Ninguna de las anteriores

12.- Considere un receptor de TV operando en una zona con niveles de señal débiles. ¿Cuál de las siguientes alternativas considera más apropiada para mejorar la calidad de la recepción en un edificio con varias viviendas y una antena colectiva?

- a) Colocar un amplificador justo tras la toma de cada vivienda, posterior al cable de distribución
- b) Colocar un amplificador a pie de antena, antes del cable de distribución de la señal.
- c) Colocar un atenuador a pie de antena, para reducir los productos de intermodulación.
- d) Colocar un atenuador justo antes del receptor de TV, para reducir los productos de intermodulación.

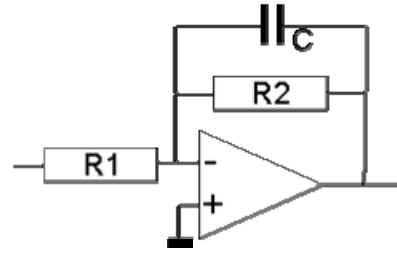
13.- ¿Cuál de las siguientes estrategias considera adecuada para incrementar la velocidad de transmisión de un sistema de comunicaciones?

- a) Dado un cierto ancho de banda del canal, si se desea incrementar la velocidad de transmisión será necesario reducir la relación señal a ruido.
- b) Dadas unas condiciones de relación señal a ruido del canal, será posible incrementar la velocidad de transmisión si se reduce el ancho de banda del canal.
- c) Dado un ancho de banda del canal, cuantos más bits por símbolo se quieran emplear en la modulación mayor será la relación señal a ruido necesaria.
- d) Ninguna de las anteriores.

14.- ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta cuando un PLL se encuentra enganchado?

- a) El error de fase es nulo.
- b) La tensión a la entrada del VCO es nula si se trata de un PLL de segundo orden con filtro activo ideal.
- c) La frecuencia de la señal de entrada coincide con la de la salida.
- d) Todas las anteriores son ciertas.

15.- Para el filtro paso-bajo de la figura ¿cuál es el valor del Factor de Ruido supuesto que está a temperatura T_0 ?



- a) $(R1/R2)^2$
- b) Las pérdidas de inserción del filtro
- c) Las respuestas a) y b) son ciertas
- d) Las respuestas a) y b) son falsas

16.- ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta en relación a un receptor superheterodino?

- a) La frecuencia del oscilador local siempre es superior a la frecuencia de la señal de entrada.
- b) La frecuencia imagen se elimina en la etapa de FI
- c) Si se emplea un receptor de doble conversión no existe frecuencia imagen.
- d) Ninguna de las anteriores.

17.- ¿En qué punto de un PLL de segundo orden utilizado como demodulador de FM se encontrará la señal de salida?

- a) A la salida del VCO
- b) A la entrada del VCO
- c) A la salida del detector de fase
- d) En un punto del interior del VCO

18.- Considere un cuadripolo no lineal delante del cual se coloca un filtro de selectividad Δ dB y pérdidas de inserción L dB. El incremento en dB del punto de intercepción a la salida para los productos de orden 3 debido al filtro será:

- a) 1.5Δ
- b) $1.5\Delta + L$
- c) 0.66Δ
- d) $0.66\Delta + L$



- Test (3 puntos) – Modelo B
- Marcar únicamente una respuesta en cada pregunta.
- Los errores descuentan 1/3.

NOMBRE:

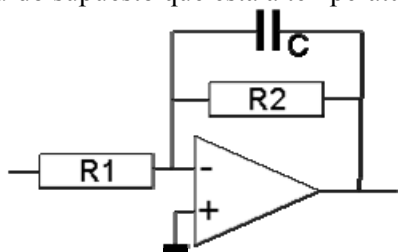
1.- En un PLL de segundo orden con filtro pasivo ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

- a) El margen de Hold-in es infinito
- b) El margen de Hold-in es igual $\pm AK$**
- c) El margen de Pull-in es igual al margen de Lock-in
- d) El margen de Lock-in es igual a $\pm AK$

2.- ¿Cuál de los siguientes dispositivos utilizaría a la entrada de un conversor A/D para ajustar el rango de amplitud de la señal a digitalizar al margen dinámico del conversor?

- a) Un filtro paso bajo
- b) Un PLL
- c) Un Control Automático de Ganancia (CAG)**
- d) Ninguna de las anteriores

3.- Para el filtro paso-bajo de la figura ¿cuál es el valor del Factor de Ruido supuesto que está a temperatura T_0 ?



- a) Las pérdidas de inserción del filtro
- b) $(R1/R2)^2$
- c) Las respuestas a) y b) son falsas**
- d) Las respuestas a) y b) son ciertas

4.- Para el duplexado TDD es cierto que:

- a) Transmite y recibe utilizando una misma frecuencia
- b) Las transmisiones y recepciones se producen en instantes diferentes de tiempo, de acuerdo con una cierta estructura de trama.
- c) No se requiere de duplexor.
- d) Todas las anteriores son ciertas**

5.- ¿En qué punto de un PLL de segundo orden utilizado como demodulador de FM se encontrará la señal de salida?

- a) A la entrada del VCO**
- b) En un punto del interior del VCO
- c) A la salida del VCO
- d) A la salida del detector de fase

6.- ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta para un circuito mezclador?

- a) Un mezclador es un circuito lineal.
- b) La ganancia de conversión en dB de un mezclador pasivo puede ser positiva.
- c) Los mezcladores activos suelen ser menos ruidosos que los pasivos.
- d) Ninguna de las anteriores.**

7.- ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta en relación a un receptor superheterodino?

- a) Si se emplea un receptor de doble conversión no existe frecuencia imagen.
- b) La frecuencia del oscilador local siempre es superior a la frecuencia de la señal de entrada.
- c) La frecuencia imagen se elimina en la etapa de FI
- d) Ninguna de las anteriores.**

8.- Considere un cuadripolo no lineal delante del cual se coloca un filtro de selectividad Δ dB y pérdidas de inserción L dB. El incremento en dB del punto de intercepción a la salida para los productos de orden 3 debido al filtro será:

- a) 0.66Δ
- b) $0.66\Delta + L$
- c) 1.5Δ**
- d) $1.5\Delta + L$

9.- ¿Cuál de las siguientes estrategias considera adecuada para incrementar la velocidad de transmisión de un sistema de comunicaciones?

- a) Dado un ancho de banda del canal, cuantos más bits por símbolo se quieran emplear en la modulación mayor será la relación señal a ruido necesaria.**
- b) Dado un cierto ancho de banda del canal, si se desea incrementar la velocidad de transmisión será necesario reducir la relación señal a ruido.
- c) Dadas unas condiciones de relación señal a ruido del canal, será posible incrementar la velocidad de transmisión si se reduce el ancho de banda del canal.
- d) Ninguna de las anteriores.

10.- Sea un sistema de comunicaciones móviles que utiliza una modulación BPSK a 20 kb/s y permite un retardo máximo (T_{\max}) de 64 ms. El canal presenta un tiempo de ráfaga de errores ($T_{\text{ráfaga}}$) de 2 ms. Se usa una matriz de entrelazado rectangular. ¿Qué matriz de entrelazado de las mencionadas a continuación es correcta?

- a) 19 filas y 33 columnas
- b) 41 filas y 30 columnas
- c) 33 filas y 19 columnas
- d) 41 filas y 15 columnas

11.- Sea un receptor que opera a una frecuencia intermedia (f_{FI}) de 10.7 MHz con un ancho de banda de 25 kHz. Se desea diseñar un extractor digital de componentes I/Q escogiendo la frecuencia de muestreo $f_m = 4f_{FI}/(4k+1)$ ¿cuál es el valor apropiado del factor k que permite minimizar la frecuencia de muestreo?

- a) 213
- b) 427
- c) 0
- d) 157

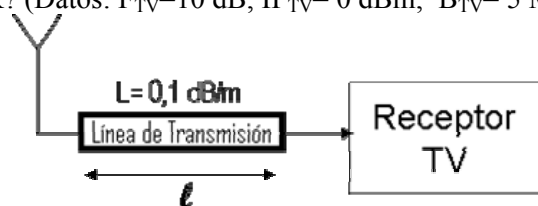
12.- ¿Cuál de las siguientes alternativas considera más apropiada para obtener las muestras digitalizadas de las componentes I/Q de una señal modulada?

- a) Efectuar la conversión A/D sobre la señal modulada antes de efectuar la extracción I/Q
- b) Efectuar la conversión A/D tras la extracción analógica de las componentes I/Q
- c) Es indiferente utilizar la opción a) o la b)
- d) La opción a) será mejor que la b) únicamente cuando la señal modulada sea de FM

13.- ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta cuando un PLL se encuentra enganchado?

- a) La frecuencia de la señal de entrada coincide con la de la salida.
- b) El error de fase es nulo.
- c) La tensión a la entrada del VCO es nula si se trata de un PLL de segundo orden con filtro activo ideal.
- d) Todas las anteriores son ciertas.

14.- En el esquema de recepción de TV de la figura, considerando que la temperatura de antena y la temperatura física son $T_o = 290$ K, ¿cuál es el valor óptimo de la longitud de la línea de transmisión que maximiza el SFDR? (Datos: $F_{TV} = 10$ dB, $IP_{TV} = 0$ dBm; $B_{TV} = 5$ MHz)



- a) No depende de la longitud de la línea
- b) 10 m
- c) 20 m.
- d) Ninguna de las anteriores

15.- Considere un receptor superheterodino de conversión simple que capta señales en el rango de 3 a 10 MHz, con una separación de canales de 20 kHz. El oscilador local genera frecuencias en el rango de 4 a 11 MHz. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones será cierta?

- a) El filtro de RF debe ser sintonizable
- b) El filtro de RF puede realizarse con un filtro paso bajo no sintonizable que deje pasar hasta 10 MHz.
- c) La frecuencia imagen es la misma con independencia del canal sintonizado.
- d) Ninguna de las anteriores

16.- Suponiendo que el vestigio del rizado de la fuente de alimentación ($f_c = 50$ Hz) en bornes de un VCO es $A_c = 1 \mu V$, ¿cuál debe ser el valor de la constante característica del VCO (K_2) para garantizar un rechazo de las señales espurias a la salida del mismo de 60 dB?

- a) 10 kHz/V
- b) 10 MHz/V
- c) 1 MHz/V
- d) 100 kHz/V

17.- ¿Cuál ha de ser el máximo factor de ruido de un cabezal receptor para que a la salida de un PLL actuando como recuperador de sincronismo de portadora el jitter de de fase sea inferior a 1° ?

Nota.- Considere un PLL de segundo orden activo con un ancho de banda equivalente de ruido mínimo; $f_n = 10$ KHz, una sensibilidad del receptor igual a -90 dBm y una temperatura de antena igual a $T_o = 290$ K.

(marcar el rango en el que se encuentre la respuesta correcta)

- a) $F \leq 2$
- b) $2 < F \leq 3$
- c) $3 < F \leq 4$
- d) $4 < F$

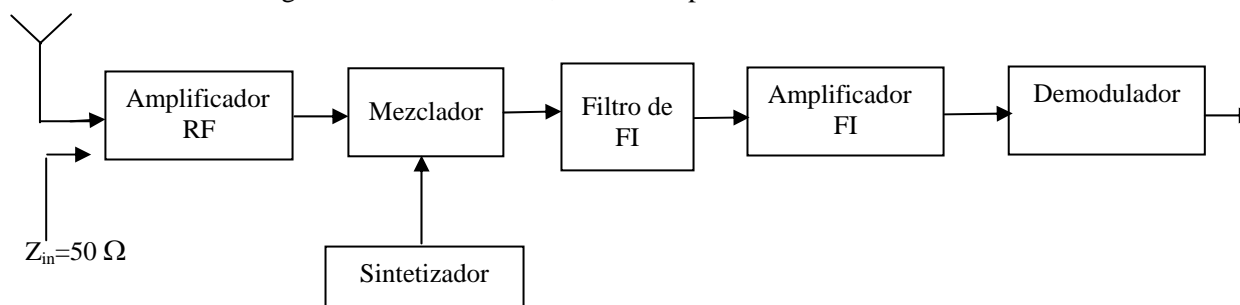
18.- Considere un receptor de TV operando en una zona con niveles de señal débiles. ¿Cuál de las siguientes alternativas considera más apropiada para mejorar la calidad de la recepción en un edificio con varias viviendas y una antena colectiva?

- a) Colocar un amplificador justo tras la toma de cada vivienda, posterior al cable de distribución
- b) Colocar un atenuador justo antes del receptor de TV, para reducir los productos de intermodulación.
- c) Colocar un amplificador a pie de antena, antes del cable de distribución de la señal.
- d) Colocar un atenuador a pie de antena, para reducir los productos de intermodulación.

  <div> Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona <small>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</small> </div>	Emissors i Receptors
	14/01/09
	Notas provisionales: 23/01/09, 12h
	Alegaciones hasta 27/01/09, 12h
Notas revisadas: 29/01/09, 12h	
• Duración total: 3h (1h Test + 2h Problemas)	

Problema 1 (3.5 puntos)

Sea el siguiente receptor superheterodino de un sistema de comunicaciones radio. La frecuencia f_s de la señal recibida está en el margen de 890 a 915 MHz, con una separación entre canales de 200 kHz.



Los parámetros que caracterizan a este receptor son:

Amplificador de RF: $G_{RF}=10$ dB, $IP_{i,RF}=0$ dBm (prod. de intermodulación de 3r orden)
 Mezclador: $G_m=-6$ dB, $NF_m=8$ dB, $IP_{i,m}=10$ dBm (prod. de intermodulación de 3r orden)
 Amplificador de FI: $G_{FI}=20$ dB, $NF_{FI}=15$ dB, $IP_{i,FI}=-20$ dBm (prod. de intermodulación de 3r orden)
 Filtro de FI (pasivo): Pérdidas de inserción: $L_I=2$ dB. Ancho de banda de FI: $B_{FI}=200$ kHz
 $f_{FI} = f_{OL} - f_s = 5$ MHz
 Potencia de señal a la entrada del receptor: $P_s = -100$ dBm
 Temperatura de antena: $T_A=300$ K
 Temperatura física del receptor: $T_o=290$ K
 Constante de Boltzman: $K=1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K

Las prestaciones del demodulador se miden según la probabilidad de error de bit a su salida, que varía con la relación señal a ruido a su entrada $(S/N)_i$ a través de la siguiente expresión:

$$p_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\left(\frac{S}{N} \right)_i} \right)$$

Algunos valores de la función error complementario se muestran a continuación:

x	2.185	2.165	2.146	2.129	2.113	2.098
erfc(x)	0.002	0.0022	0.0024	0.0026	0.0028	0.003

Se pide:

- Calcular el valor del factor de ruido del amplificador de RF sabiendo que se diseña para obtener a la salida una probabilidad de error de bit a lo sumo de 10^{-3} .
- Si a la entrada del receptor existen simultáneamente dos señales en los canales adyacentes separados 200 y 400 kHz de la frecuencia de interés, y de nivel -40 dBm cada una, calcular la selectividad necesaria del filtro de FI para que a la entrada del demodulador el producto de intermodulación generado esté por debajo del nivel de ruido.
- Debido a las condiciones de propagación, la señal útil a la entrada se recibe con un nivel 5 dB inferior. Para compensar esta atenuación, se decide ajustar dinámicamente la ganancia del amplificador de RF. ¿Cuál ha de ser el nuevo valor de dicha ganancia para mantener la probabilidad de error del apartado a)?
- Considerando la capacidad de variar dinámicamente la ganancia del amplificador de RF para compensar las fluctuaciones en la potencia de señal recibida, ¿existe algún nivel de potencia recibida por debajo del cual es imposible mantener la probabilidad de error del apartado a)? Razonar la respuesta y en caso afirmativo calcular dicho nivel.

Problema 2 (3.5 puntos)

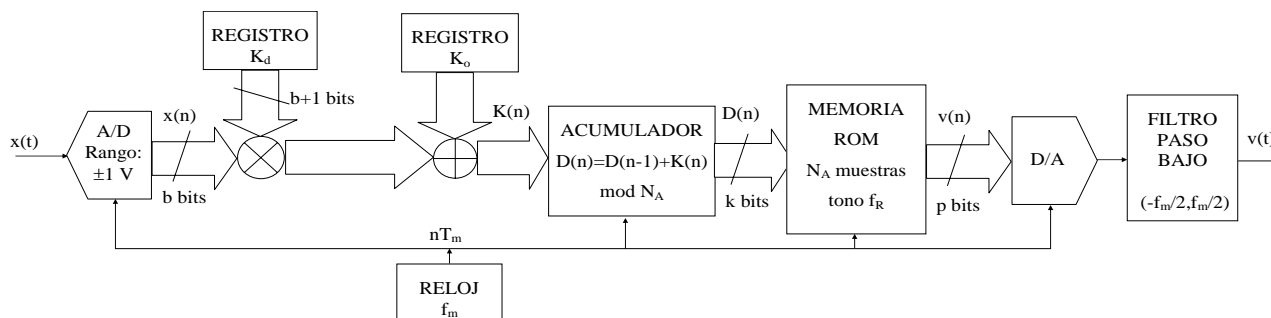
Se desea diseñar un modulador de FM con frecuencia portadora $f_0=15$ MHz y desviación de frecuencia $f_d=75$ kHz. La señal moduladora $x(t)$ varía entre ± 1 V. Se consideran dos posibles alternativas:

Alternativa 1: diseño analógico mediante un oscilador LC formado por una bobina de $L=100$ nH y un diodo de capacidad variable con la tensión de acuerdo a $C(t)=C_0+C_1x(t)$.

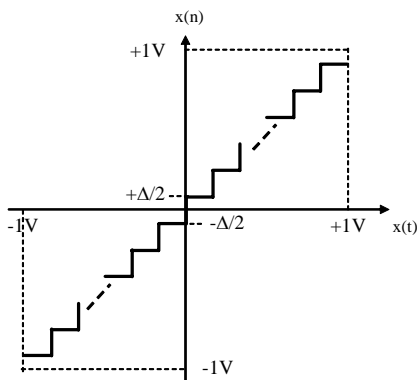
a) Efectuar el diseño **calculando el valor de las constantes C_0 , C_1** . Calcular también el **error de frecuencia**.

Nota: $\frac{1}{\sqrt{1+x}} \approx 1 - \frac{x}{2} + \frac{3x^2}{8}$

Alternativa 2: diseño digital mediante una memoria ROM que almacena N_A muestras de un tono a frecuencia f_R , tal y como se muestra en la figura siguiente, siendo enteros los valores K_d , K_o almacenados en los registros.



El conversor A/D de b bits tiene un rango de ± 1 V y contiene el cuantificador uniforme de la figura:



b) Determinar el valor de la **frecuencia de muestreo f_m** que asegura que en cualquier caso se leen de la memoria por lo menos 4 muestras por período de la señal generada.

c) El valor de $K(n)$ debe ser entero en cualquier situación para poder direccionar la tabla de memoria adecuadamente. **Demostrar que esto sólo es posible si $K_d=2^b$** .

(Ayuda: demostrar primero que la señal muestreada y cuantificada $x(n)$ se puede expresar de la forma $-1+(2m+1)/2^b$ siendo m un entero entre 0 y 2^b-1 que depende del nivel de cuantificación)

d) **Demostrar que el error máximo en la frecuencia instantánea** de la modulación FM debido a la cuantificación de la señal $x(t)$ **es igual a f_R** .

e) Si se desea un error en frecuencia inferior a 75 Hz, calcular el **número de bits b** de las muestras $x(n)$, la **frecuencia del tono f_R** , el **número de muestras N_A** , el valor de los registros K_o , K_d y el **número de bits k** para direccionar la memoria ROM.

f) Si se desea una relación señal a ruido de cuantificación superior a 100 dB a la salida del modulador, determinar el **número de bits p** de las muestras de la ROM.

Solución problema 1

$$a) p_e = 10^{-3} \Rightarrow \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\left(\frac{S}{N}\right)_i}\right) = 0.002 \Rightarrow \sqrt{\left(\frac{S}{N}\right)_i} = 2.185 \Rightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_i = 4.77$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = \frac{P_s}{K(T_A + T_o(F_R - 1))B_{FI}} \Rightarrow F_R = \frac{P_s}{K\left(\frac{S}{N}\right)_i T_o B_{FI}} - \frac{T_A}{T_o} + 1 = 26.15$$

$$F_R = F_{RF} + \frac{F_m - 1}{G_{RF}} + \frac{L_f F_{FI} - 1}{G_{RF} G_m} \Rightarrow F_{RF} = F_R - \frac{F_m - 1}{G_{RF}} - \frac{L_f F_{FI} - 1}{G_{RF} G_m} = 6.06 \Rightarrow \boxed{F_{RF} = 7.82 \text{ dB}}$$

b) Para que el producto de intermodulación generado esté por debajo del ruido se deberá cumplir:

$$P_i \text{ (dBm)} \leq P_{N_i} \text{ (dBm)} + SFDR \text{ (dB)} \quad \text{con } P_{N_i} = K(T_A + T_o(F_R - 1))B_{FI} = -106.78 \text{ dBm, y } P_i = -40 \text{ dBm}$$

$$SFDR \text{ (dB)} \geq 66.78 \text{ dB}$$

$$SFDR \text{ (dB)} = \frac{m-1}{m} (IP_{i,TOT} \text{ (dBm)} - P_{N_i} \text{ (dBm)}) \quad \text{con } m=3 \Rightarrow IP_{i,TOT} \geq -6.61 \text{ dBm}$$

$$\frac{1}{IP_{i,TOT}} = \frac{1}{IP_{i,RF}} + \frac{G_{RF}}{IP_{i,m}} + \frac{G_{RF} G_m}{IP_{i,FI}} \Rightarrow IP_{i,FI} = \frac{G_{RF} G_m}{\frac{1}{IP_{i,TOT}} - \frac{1}{IP_{i,RF}} - \frac{G_{RF}}{IP_{i,m}}} = 0.973 \text{ mW} = -0.118 \text{ dBm}$$

$$IP_{i,FI} \text{ (dBm)} = IP_{i,FI} \text{ (dBm)} + \frac{m}{m-1} \Delta_{FI} \text{ (dB)} + L_f \text{ (dB)} \Rightarrow \boxed{\Delta_{FI} = 11.92 \text{ dB}}$$

c) La señal recibida es ahora 5 dB inferior: $P_s' = -105 \text{ dBm}$. Queremos asegurar la misma relación SNR a la entrada del demodulador para mantener la misma probabilidad de error de bit. El nuevo valor de factor de ruido deberá ser:

$$F_R' = \frac{P_s'}{K\left(\frac{S}{N}\right)_i T_o B_{FI}} - \frac{T_A}{T_o} + 1 = 8.25$$

Regulando la ganancia de la etapa de RF podemos ajustar el valor del factor de ruido total:

$$F_R' = F_{RF} + \frac{F_m - 1}{G_{RF}'} + \frac{L_f F_{FI} - 1}{G_{RF}' G_m} \Rightarrow G_{RF}' = \frac{F_m - 1 + \frac{L_f F_{FI} - 1}{G_m}}{F_R' - F_{RF}} = 91.71 \Rightarrow \boxed{G_{RF}' = 19.62 \text{ dB}}$$

Nótese que, si bien la señal se ha reducido sólo en 5 dB, la ganancia se ha tenido que incrementar en 9.62 dB, esto es porque el incremento de la ganancia sobre la S/N a la salida no afecta por su impacto en la señal útil sino por la reducción del ruido generado en las etapas posteriores a la etapa de RF.

d) Mediante el incremento de la ganancia de la etapa de RF se consigue compensar la reducción de la señal útil a la entrada a base de reducir el impacto del ruido generado por las etapas posteriores. Por este motivo, la máxima reducción que se podrá compensar se dará cuando se haya cancelado totalmente el ruido de las etapas posteriores, esto es $F_{Rmin}' = F_{RF}$, caso que correspondería idealmente a $G_{RF} \rightarrow \infty$.

En consecuencia el límite en la mínima potencia recibida que se podrá compensar será:

$$P_{Smin}' = \left(\frac{S}{N}\right)_i K(T_A + T_o(F_{Rmin}' - 1))B_{FI} = \left(\frac{S}{N}\right)_i K(T_A + T_o(F_{RF} - 1))B_{FI} \Rightarrow \boxed{P_{Smin}' = -106.33 \text{ dBm}}$$

Solución problema 2

a) Desarrollando la frecuencia instantánea de un oscilador LC:

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_o + C_1x(t))}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_o}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{C_1}{C_o}x(t)}} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_o}} \left(1 - \frac{C_1}{2C_o}x(t) + \frac{3}{8}\left(\frac{C_1}{C_o}\right)^2 x^2(t) \right)$$

igualando términos con $f_i(t) = f_o + f_d x(t) = f_o \left(1 + \frac{f_d}{f_o} x(t) \right)$ se obtiene:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_o}} \quad \text{de donde}$$

$$C_o = \frac{1}{L(2\pi f_o)^2} = 1.125 \text{ nF}$$

$$\frac{f_d}{f_o} = \frac{C_1}{2C_o} \quad \text{de donde}$$

$$C_1 = \frac{2C_o f_d}{f_o} = 11.25 \text{ pF/V}$$

Por otra parte, el error absoluto de frecuencia vendrá dado aproximadamente por el término de segundo orden de la serie de Taylor, esto es:

$$\Delta f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_o}} \frac{3}{8} \left(\frac{C_1}{C_o} \right)^2 x^2(t) \leq \frac{3f_d^2}{2f_o}$$

$$\Delta f \approx 562.5 \text{ Hz} \quad (0.75\% \text{ del término lineal})$$

b) La frecuencia instantánea máxima de salida vendrá dada por:

$$f_i(t) = f_o + f_d x(t) \leq f_o + f_d$$

Así, para que se lean de la memoria 4 muestras por período a esta frecuencia máxima, la frecuencia de muestreo deberá cumplir:

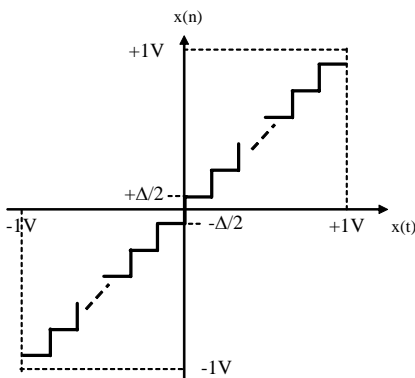
$$f_m = 4(f_o + f_d) = 60.3 \text{ MHz}$$

c) El valor de $K(n)$ viene dado por:

$$K(n) = K_o + K_d x(n) \quad \text{correspondiente a una frecuencia instantánea de salida:}$$

$$f_i(n) = K(n) f_R = (K_o + K_d x(n)) f_R$$

Dado que $x(n)$ es la salida de un convertor A/D con amplitud $\pm 1 \text{ V}$ y b bits, el paso de cuantificación será $\Delta = 2/2^b = 1/2^{b-1}$, existiendo un total de 2^b niveles.



En consecuencia, tomando para la cuantificación el nivel medio de cada intervalo, cualquier muestra $x(n)$ puede representarse como el nivel medio de un intervalo de cuantificación, esto es

$$x(n) = -1 + \Delta/2 + m\Delta = -1 + (2m+1)/2^b,$$

siendo m un entero entre 0 y 2^b-1 que indica el nivel de cuantificación. Por lo tanto:

$$K(n) = K_o + K_d x(n) = K_o - K_d + \frac{K_d}{2^b} + \frac{mK_d}{2^{b-1}}$$

Así, para que $K(n)$ sea entero necesariamente, K_d debe ser un múltiplo de 2^b . Además, como K_d se codifica con $b+1$ bits y por lo tanto tomará valores de 0 a $2^{b+1}-1$, el único múltiplo de 2^b en ese intervalo será $K_d = 2^b$.

d) La señal muestreada y cuantificada $x(n)$ contiene un cierto error de cuantificación respecto de la señal original $x(t)$, esto es: $x(n)=x_d(n)+\varepsilon(n)$, siendo $x_d(n)$ la muestra sin cuantificar de la señal $x(t)$, de modo que la frecuencia realmente enviada sería:

$$f_i(n) = (K_o + K_d x(n)) f_R = K_o f_R + K_d f_R x_d(n) + K_d f_R \varepsilon(n)$$

Así pues, como el máximo valor absoluto del error de cuantificación es $\varepsilon_{\max}=\Delta/2=1/2^b$, el máximo error en la frecuencia instantánea será:

$$\Delta f = \frac{K_d f_R}{2^b} \text{ y como se ha visto en c que } K_d=2^b, \text{ se obtiene: } \Delta f = \frac{2^b f_R}{2^b} = f_R$$

e) Para un error de frecuencia menor que 75 Hz: $\Delta f = f_R \leq 75 \text{ Hz}$.

Por otra parte, para garantizar el valor deseado de $f_d=75 \text{ kHz}$ se debe cumplir

$$f_d = K_d f_R = 2^b f_R$$

de donde $f_R = \frac{f_d}{2^b} \leq 75 \text{ Hz}$ y por lo tanto $2^b \geq \frac{f_d}{75}$, lo que se cumple para $b=10 \text{ bits}$ y $K_d = 1024$

$$\text{Así pues } f_R = \frac{f_d}{2^b} = \frac{75000}{1024} \text{ Hz} = 73.24 \text{ Hz}$$

$$\text{Además: } K_o = \frac{f_o}{f_R} = 204800 \text{ y el número de muestras de memoria: } N_A = \frac{f_m}{f_R} = 823296 \text{ muestras}$$

Para poder direccionar estas muestras se deberá cumplir $2^k \geq 823296$, que se cumple con $k = 20 \text{ bits}$

f) La relación señal a ruido de cuantificación a la salida viene dada por:

$$\text{SNR}_q(\text{dB}) = 6.02p + 1.76 \geq 100 \text{ dB, lo que se consigue con } p = 17 \text{ bits.}$$