

COMUNICACIONES I - Convocatoria de junio

8 de julio de 2013

Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación

Nombre: _____

Instrucciones para la realización del examen:

- Es obligatorio entregar el enunciado del examen
- Escribir el nombre en todos los folios, y enumerarlos
- Sólo está permitido el uso de bolígrafo y calculadora no programable.
- No se permite almacenar material debajo de la mesa
- No se permite pedir prestada la calculadora
- Los alumnos repetidores no tienen que realizar la "cuestión sobre las prácticas en el laboratorio"
- Empezar la "cuestión sobre las prácticas", las "cuestiones teóricas" y cada uno de los "problemas" en un folio en blanco
- La calificación de la "cuestión sobre las prácticas" representa 0.5 puntos de la calificación global.
- La calificación de las "cuestiones teóricas" más los "problemas" representan 6.5 puntos de la calificación global.

Duración: 2 horas y media

CUESTION SOBRE LAS PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO (0.5 PUNTOS)

1. Especificar el procedimiento a seguir para realizar el diagrama de bode del sistema de comunicaciones en modulación AM, considerando desde la entrada al módulo emisor hasta la salida del módulo receptor. Especificar el máximo de detalles.

CUESTIONES TEÓRICAS (4 PUNTOS)

1. (1 punto) ¿Qué es la figura de ruido y para qué se utiliza?
2. (1 punto) ¿Qué problemas tiene la cuantización uniforme que resuelve la cuantización no uniforme? ¿Cómo los resuelve?
3. (1 punto) Ventajas y desventajas de la modulación delta
4. (1 punto) ¿Qué son las ventanas de transmisión en una fibra óptica?

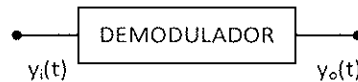
PROBLEMAS (6 PUNTOS)

1. (3 puntos) Una señal modulante $m(t)=2[\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t)]$, con $f_1=100\text{Hz}$ y $f_2=200\text{Hz}$, se modula en VSB con una portadora $c(t)=A_c \cos(w_c t)$, obteniéndose la señal modulada:

$$x_{\text{VSB}}(t) = A_c [\cos[2\pi(f_c - f_2)t] + 0.75\cos[2\pi(f_c - f_1)t] + 0.25\cos[2\pi(f_c + f_1)t]]$$

- (1 punto) Exprese esta señal modulada en su forma canónica.
Nota: $\cos(a \pm b) = \cos(a)\cos(b) \mp \sin(a)\sin(b)$
- (1 punto) Obtenga las componentes en fase y cuadratura de $x_{\text{VSB}}(t)$.
- (1 punto) Suponga que a la señal $x_{\text{VSB}}(t)$ en su forma canónica se le añade la portadora para generar la señal $x_{\text{VSB}+c}(t)$ y poder realizar así detección de envolvente.
 - (1/3 punto) Indique la expresión de $x_{\text{VSB}+c}(t)$.
 - (1/3 punto) Indique la expresión de la envolvente de $x_{\text{VSB}+c}(t)$.
 - (1/3 punto) ¿Bajo qué condiciones sería posible la demodulación por detección de envolvente?

2. (3 puntos) Una señal modulante $m(t)$, normalizada en amplitud, de media 0, potencia 1/2 W, y ancho de banda 4KHz, se transmite por un canal aditivo con ruido blanco con una densidad de potencia espectral de ruido de 10^{-8} W/Hz, que presenta una atenuación de 40dB y un ancho de banda de 10KHz. Se desea realizar el estudio de 3 esquemas de modulación/demodulación: DSB, AM y FM.



Señales de entrada y salida para cada uno de los esquemas de demodulación:

DSB	AM	FM
$y_i(t) = m(t)\cos w_c t + n_i(t)$ $y_o(t) = m(t) + n_o(t)$	$y_i(t) = [A+m(t)]\cos w_c t + n_i(t)$ $y_o(t) = m(t) + n_o(t)$ $A=10V$	$y_i(t) = A\cos \left[w_c t + k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right] + n_i(t)$ $y_o(t) = k_f m(t) + n_o(t)$ $A=10V$ El ancho de banda de la señal modulada en FM ocupa todo el ancho de banda del canal

Para cada esquema de transmisión (DSB, AM y FM), indique:

- (1/2 punto) Diagrama de bloques del demodulador.
- (1/2 punto) Ancho de banda de transmisión (señal modulada) y ancho de banda de la señal demodulada.
- (1 punto) SNR de salida del bloque demodulador. ¿Qué esquema es mejor?
- (1 punto) Potencia de transmisión necesaria para que todos los esquemas de transmisión tengan una SNR de salida del bloque demodulador de 20dB. ¿Qué esquema es mejor?

Nota: Cuando corresponda, compruebe que los sistemas estén funcionando en zona no umbral.

Una señal modulante (mensaje) $m(t) = 2[\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t)]$

①

con $f_1 = 100 \text{ Hz}$ y $f_2 = 200 \text{ Hz}$

Se modula VSB \rightarrow con una portadora $c(t) = A_c \cos(\omega_c t)$ para dar la señal modulada

$$x_{\text{VSB}}(t) = A_c \left[\cos[2\pi(f_c - f_2)t] + 0,75 \cos[2\pi(f_c - f_1)t] + 0,25 \cos[2\pi(f_c + f_1)t] \right]$$

a) Expresa esta señal modulada en su forma canónica

$$\cos(a \pm b) = \cos(a)\cos(b) \mp \sin(a)\sin(b)$$

SOLUCIÓN

$$\begin{aligned} x_{\text{VSB}}(t) = & \left[\cos(\omega_2 t)\cos(\omega_c t) + \sin(\omega_2 t)\sin(\omega_c t) + 0,75 \cos(\omega_1 t)\cos(\omega_c t) + \right. \\ & + 0,75 \sin(\omega_1 t)\sin(\omega_c t) + 0,25 \cos(\omega_1 t)\cos(\omega_c t) \\ & \left. - 0,25 \sin(\omega_1 t)\sin(\omega_c t) \right] A_c \end{aligned}$$

Reagrupando términos

$$x_{\text{VSB}}(t) = A_c \left[\cos(\omega_2 t) + 0,75 \cos(\omega_1 t) + 0,25 \cos(\omega_1 t) \right] \cos(\omega_c t)$$

$$A_c \left[\sin(\omega_2 t) + 0,75 \sin(\omega_1 t) - 0,25 \sin(\omega_1 t) \right] \sin(\omega_c t)$$

$$= A_c \left[\cos(\omega_2 t) + \cos(\omega_1 t) \right] \cos(\omega_c t) + A_c \left[\sin(\omega_2 t) + 0,5 \sin(\omega_1 t) \right] \sin(\omega_c t)$$

$$x_{VSB}(t) = \frac{1}{2}A_c m(t) \cos(\omega_c t) + A_c \left[\sin(\omega_2 t) + 0,5 \sin(\omega_3 t) \right] \sin(\omega_c t)$$

b) Obtenga las componentes en cuadratura de $x_{VSB}(t)$

solución:

$$x_I(t) = \frac{1}{2}A_c m(t)$$

$$x_Q(t) = - \left[\sin(\omega_2 t) + 0,5 \sin(\omega_3 t) \right] A_c$$

c) suponga que a la señal $x_{VSB}(t)$ se le añade la portadora para generar la señal $x_{VSB+C}(t)$ y poder realizar detección de envolvente

c.1) ¿cuál es la expresión de $x_{VSB+C}(t)$

solución

$$x_{VSB+C}(t) = A_c \cos(\omega_c t) + x_{VSB}(t) =$$

$$= A_c \cos(\omega_c t) + \frac{1}{2}A_c m(t) \cos(\omega_c t) + A_c m_s(t) \sin(\omega_c t)$$

$$\text{con } m_s(t) = \left[\sin(\omega_2 t) + 0,5 \sin(\omega_3 t) \right]$$

$$\Rightarrow x_{VSB+C}(t) = A_c \left(1 + \frac{1}{2} m(t) \right) \cos(\omega_c t) + A_c m_s(t) \sin(\omega_c t)$$

c.2) ¿cuál es la expresión de la envolvente de $x_{VSB+C}(t)$

solución:

$$a(t) = \sqrt{x_s^2(t) + x_a^2(t)} = \sqrt{A_c^2 \left(1 + \frac{1}{2} m(t)\right)^2 + A_c^2 m_s^2(t)}$$

$$= A_c \left[1 + \frac{1}{2} m(t)\right] \sqrt{1 + \frac{m_s^2(t)}{\left(1 + \frac{1}{2} m(t)\right)^2}}$$

c.3) ¿Bajo que condiciones sería posible la demodulación por detección de envolvente?

solución:

que el término $\frac{m_s^2(t)}{\left(1 + \frac{1}{2} m(t)\right)^2}$ sea muy pequeño

y una forma conseguirlo es hacer $m_s(t)$ pequeña.

Problema 1

$$|m(t)| \leq 1$$

$$P_m = 1/2$$

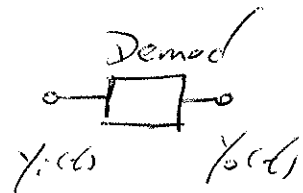
$$\overline{m(t)} = 0$$

$$B = 4 \text{ KHz}$$

$$B_{\text{canal}} = 10 \text{ KHz}$$

$$\frac{N}{2} = 10^{-8} \text{ W/Hz}$$

$$L = 40 \text{ dB}$$



~~DSB~~

DSB

$$y_i(t) = m(t) \cos \omega_c t + n_i(t)$$

$$y_o(t) = m(t) + n_o(t)$$

AM

$$y_i(t) = [A + m(t)] \cos \omega_c t + n_i(t); A = 10$$

$$y_o(t) = m(t) + n_o(t)$$

FM

$$y_i(t) = A \cos \left[\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right] + n_i(t); A = 10$$

$$y_o(t) = k_f m(t) + n_o(t)$$

BFM ocupa todo el canal

Para cada esquema de demodulación, calcule:

a) Diagrama de bloques del demodulador

b) Ancho banda transmisión (sin $y_i(t)$) y ancho banda sin demodulador (sin $y_o(t)$)

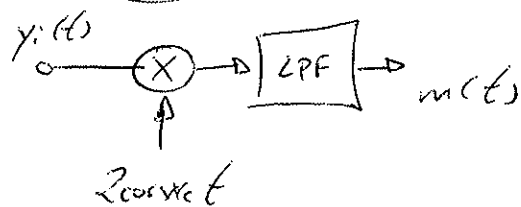
c) SNR. de salida. ¿Qué esquema es mejor?

d) P_{tx} necesaria para que todos los esquemas tengan $SNR_o = 20 \text{ dB}$
¿Qué esquema es mejor?

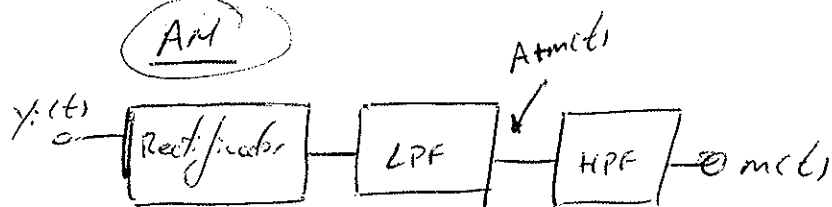
Nota: Cuando corresponda, ~~ver~~ compruebe que los sistemas estén funcionando en zona no umbral.

Resolución :

a) DSB



AM



Comprobamos que se puede detectar por envolvente: $\gamma > \gamma_{th} = 10 \text{ dB}$

$$\gamma = \frac{S_i}{NB} ; \quad S_i = \frac{\overline{[A+m(t)]^2}}{2} = \frac{A^2 + \overline{m^2(t)}}{2} = \frac{100 + 1/2}{2} = 50.25 \text{ W}$$

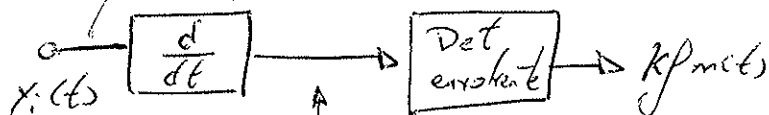
$\overline{m(t)} = 0$

$$NB = 2 \cdot 10^{-8} \cdot 4 \cdot 10^3 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

$$\gamma = \frac{S_i}{NB} = \frac{50.25}{8 \cdot 10^{-5}} = 628125 \rightarrow 57.98 \text{ dB} > 10 \text{ dB} \quad (\text{zona no subral})$$

FM

se puede incluir un limitador para amplitud constante



$$A[\omega_c + k_f m(t)] \sin[\omega_c t + k_f \int m(t) dt]$$

Comprobamos que no estemos en zona subral: $\gamma > \gamma_{th} = 20(\beta+1)$

Como B es 4 kHz y Bcanal es de sólo 10 kHz, va a ser una FM de banda estrecha y uso Regla de Carson ~~para~~ para estimar $\gamma_{th} \rightarrow \gamma_{th} = 20(\beta+1) = 20(0.25+1) = 25$

$$\gamma = \frac{S_i}{NB} ; \quad S_i = \frac{A^2}{2} ; \quad \gamma = \frac{10^2/2}{8 \cdot 10^{-5}} = \frac{10^2}{16 \cdot 10^{-5}} \gg \gamma_{th}$$

$NB = 8 \cdot 10^{-5}$

$$B_{FM} = 10 \text{ kHz} = 10^4 = 2B(\beta+1) \rightarrow \beta = \frac{10^4}{2 \cdot 4 \cdot 10^3} - 1 = 0.25 \quad (\text{NBFM})$$

$$b) BW_{y_i(t)} = \begin{cases} 8 \text{ KHz} & \text{para DSB y AM} \\ \cancel{20 \text{ KHz}} \\ 10 \text{ KHz} & \text{para FM} \end{cases}$$

$$BW_{y_o(t)} = 4 \text{ KHz} \quad (\text{DSB, AM y FM})$$

c) DSB $\left| \begin{array}{l} y_i(t) = m(t) \cos \omega_c t + n(t) \\ y_o(t) = m(t) + n(t) \end{array} \right.$

$$\left(\frac{S}{N} \right)_o = \frac{\overline{m^2(t)}}{2NB} = \frac{S_i}{NB} = \gamma = \frac{1/2}{2.8 \cdot 10^{-5}} = 3125 \rightarrow \underline{34.95 \text{ dB}}$$

$$NB = 2 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^3 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

AM $\left| \begin{array}{l} y_i(t) = [A + m(t)] \cos \omega_c t + n(t) \\ y_o(t) = m(t) + n(t) \end{array} \right.$

$$\left(\frac{S}{N} \right)_o = \frac{\overline{m^2(t)}}{2NB} \rightarrow \underline{34.95 \text{ dB}}$$

FM

$$\left(\frac{S}{N} \right)_o = 3\beta^2 \left(\frac{\overline{m^2(t)}}{m_p^2} \right) \cdot \gamma$$

$$B_{FM} = 10 \text{ KHz} = 2B(\beta + 1) \rightarrow \beta = 0.25$$

En apartado a) demos comprobado que estamos en zona no umbral. $\gamma > \gamma_{th} = 20(\beta + 1)$

$$\gamma = \frac{S_i}{NB}; \quad S_i = A^2/2; \quad \gamma = \frac{10^2/2}{8 \cdot 10^{-5}}$$

Por lo tanto:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{0, FM} = 3\beta^2 \left(\frac{\overline{m^2(t)}}{m_p^2}\right) \cdot \gamma = 3 \cdot (0.25)^2 \cdot \left(\frac{0.5}{1}\right) \cdot \frac{50}{8 \cdot 10^{-5}} =$$

$$= 58593.75 \rightarrow \underline{47.68 \text{ dB}}$$

Respecto a SNR_0 , la mejor opción es FM

d) DSB $\left(\frac{S}{N}\right)_0 = 20 \text{ dB}$; $L = 40 \text{ dB}$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = 10^2 = \frac{S_i}{N_B} = \gamma \rightarrow S_i = 10^2 \cdot 8 \cdot 10^{-5} \rightarrow -20.97 \text{ dBW}$$

$$S_T = S_i + L = \underline{19.03 \text{ dBW}}$$

AM

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = 10^2 = \frac{\overline{m^2(t)}}{A^2 + \overline{m^2(t)}} \cdot \gamma = \frac{0.5}{100 + 0.5} \cdot \gamma = \frac{0.5}{100.5} \cdot \frac{S_i}{N_B} ;$$

$$S_i = \frac{10^2 \cdot 100.5 \cdot 8 \cdot 10^{-5}}{0.5} \rightarrow 2.06 \text{ dBW}$$

$$S_T = S_i + L = \underline{42.06 \text{ dBW}} \left(\begin{array}{l} \text{mucho mayor que PSB, ya que} \\ A \text{ es innecesariamente elevada} \end{array} \right)$$

FM

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = 10^2 = 3\beta^2 \left(\frac{\overline{m^2(t)}}{m_p^2}\right) \cdot \gamma = 3 \cdot (0.25)^2 \cdot \left(\frac{1/2}{1}\right) \cdot \frac{S_i}{N_B} ;$$

$$S_i = \frac{10^2 \cdot 8 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot (0.25)^2 \cdot 0.5} \rightarrow -10.69 \text{ dBW}$$

$$S_T = S_i + L = \underline{29.31 \text{ dBW}}$$

La mejor opción respecto a la potencia de transmisión es DSB