

Ejercicios del Tema 3: Transmisión de señales

Parte A: Modulaciones analógicas

Ejercicio 1 [★]

Un canal de comunicaciones tiene un ancho de banda de 100 kHz. Se quiere utilizar dicho canal para transmitir una señal normalizada en amplitud con un ancho de banda de 4 kHz. La potencia normalizada de dicha señal es de 0.1. Calcula la relación entre la SNR a la salida de un sistema FM que utilice toda la banda disponible y la SNR a la salida de un sistema AM con un índice de modulación de 0.85.

Ejercicio 2 [★]

Un tono de 12.5 kHz se quiere transmitir mediante un sistema FM. La desviación máxima de frecuencia es $f_{\Delta} = 75$ kHz. El canal de transmisión presenta una atenuación de 60 dB y está sometido a un ruido blanco aditivo de densidad espectral de potencia de -113 dBW/Hz. Considera que el valor umbral de FM es 13 dB.

- Determina el ancho de banda de la señal FM.
- Calcula la potencia del transmisor mínima para lograr una SNR a la salida del receptor de 50 dB.
- Calcula la potencia del transmisor mínima para lograr una SNR a la salida del receptor de 30 dB.

Ejercicio 3 [★]

Una señal de información normalizada en amplitud, $m(t)$, tiene un ancho de banda de 5 kHz y una potencia normalizada de 0.1. Se quiere transmitir por un canal de 100 kHz de ancho de banda, 80 dB de atenuación y ruido blanco con densidad espectral de potencia $0.5 \cdot 10^{-12}$ W/Hz. La potencia del transmisor es de 10 kW.

- ¿Qué SNR a la salida se obtendrá usando AM con índice de modulación de 0.8?
- ¿Cuál será la máxima SNR a la salida que se pueda obtener usando FM?

Ejercicio 4 [★★]

Una señal normalizada en amplitud tiene un ancho de banda de 8 kHz y una potencia normalizada de 0.5. Se quiere transmitir por un canal con ancho de banda disponible de 60 kHz y atenuación de 40 dB. El ruido del canal es blanco y aditivo con densidad espectral de potencia de 10^{-12} W/Hz. Se propone utilizar una modulación de frecuencia sin pre-énfasis/de-énfasis.

- Si se desea obtener una SNR de 40 dB a la salida del receptor ¿cuál será la mínima potencia transmitida necesaria? ¿y el índice de modulación?
- ¿Y si se deseara obtener una SNR de 60 dB?
- Si en el apartado b) se pudiera emplear pre-énfasis/de-énfasis mediante unos filtros de constante de tiempo ($\tau=RC$) de 75 μs , ¿cómo cambiaría la SNR?.

Ejercicio 5 [★]

El espectro de una señal de voz $m(t)$ es cero fuera del intervalo $f_a \leq |f| \leq f_b$. Para conseguir privacidad en la comunicación, la señal es aplicada a un *scrambler* que, como se muestra en la figura 1, consta de los siguientes componentes: un modulador que usa la portadora $p_1(t)$, un filtro paso alto, un segundo modulador que usa la portadora $p_2(t)$ y un filtro paso bajo. Ambas portadoras tienen amplitud unidad, pero la frecuencia de $p_1(t)$ es f_c , mientras que la de $p_2(t)$ es $f_b + f_c$. El filtro paso alto y paso bajo tienen la misma frecuencia de corte, f_c . Asume que $f_c > f_b$.

- Dibuja el espectro de la señal de salida del *scrambler* $s(t)$, y explica cómo se consigue la privacidad en la comunicación.
- Demuestra que la señal de voz original $m(t)$ puede ser recuperada a partir de $s(t)$ usando un *unscrambler* que es idéntico al *scrambler*.

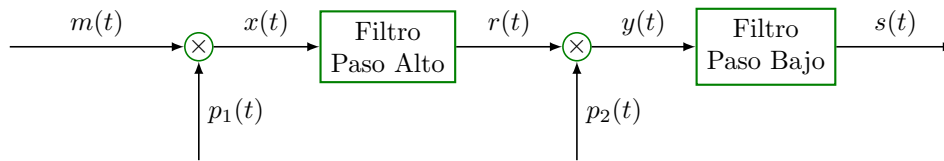


Figura 1: Esquema del *scrambler*

Ejercicio 6 [★★]

Se desea transmitir una señal analógica con alta calidad mediante un enlace radio. En dicho sistema es de primordial importancia minimizar la potencia de transmisión, existiendo cierta flexibilidad en la elección del ancho de banda. Se desea comparar distintas técnicas de modulación. La señal moduladora normalizada tiene una potencia normalizada de $1/4$, y un ancho de banda de 25 kHz. El canal atenúa la señal 80 dB, siendo la densidad espectral de AWGN a la entrada del receptor $S_n(f) = -130$ dBm/Hz. La relación SNR a la salida del receptor debe ser mejor que 60 dB. Calcula la potencia de transmisión mínima, y el ancho de banda ocupado en los siguientes casos:

- Modulación DBL.
- Modulación FM.

Nota: Considera que el valor umbral de FM es 13 dB.

Ejercicio 7 [★★★]

Considere el esquema de modulación de la figura 2

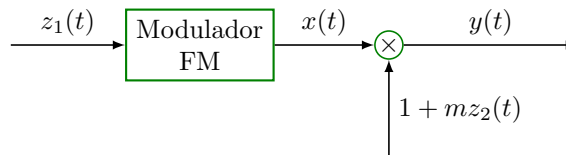


Figura 2: Esquema de modulación FM + AM

Las señales $z_1(t)$ y $z_2(t)$ son dos señales de información normalizadas en amplitud, independientes entre sí, y de ancho de banda B . El modulador FM tiene una frecuencia de portadora f_c y produce una desviación máxima de frecuencia f_Δ .

- Obtén una expresión para el ancho de banda de la señal modulada.
- Dibuja la estructura detallada de un receptor que permita recuperar ambas señales (indica claramente los distintos bloques funcionales, y especifica la banda de los filtros usados).

Ejercicio 8 [★]

Calcula la SNR que se obtendrá a la entrada y a la salida de un demodulador DBL y AM para las distintas respuestas en frecuencia de los filtros predetectores y postdetectores representadas en la figura 3 y propuestas a continuación, suponiendo que el mensaje a transmitir tiene ancho de banda B .

- a) Filtros **(A)** y **(1)**.
- b) Filtros **(B)** y **(2)**.
- c) Filtros **(A)** y **(2)**.

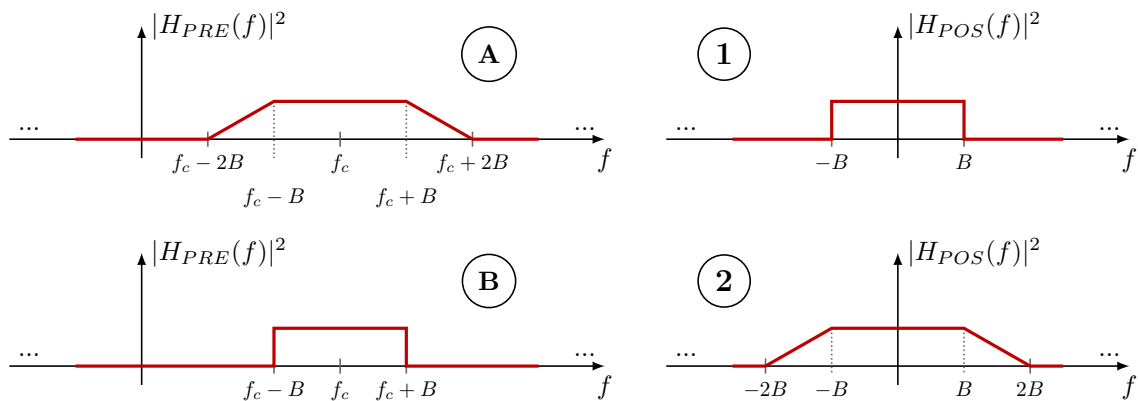


Figura 3: Respuesta en frecuencia de los filtros predetectores y posdetectores

Ejercicio 9 [★★]

Una señal banda base $z(t)$, de amplitud normalizada y ancho de banda 100 kHz, se modula en DBL, con una portadora de frecuencia 1.1 MHz. La atenuación introducida por el canal depende de la distancia entre transmisor y receptor, siguiendo la ecuación

$$A = 32 + 20 \log(d),$$

donde A se expresa en decibelios y la distancia d en kilómetros. Calcula en qué porcentaje se reduce el alcance de este sistema, si en vez de usar filtros ideales en el receptor usamos los representados en la figura 4.

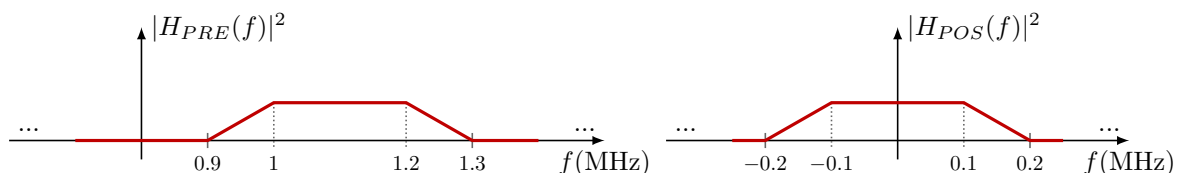


Figura 4: Respuesta en frecuencia del filtro predetector y posdetector

Nota: Se entiende por alcance del sistema, la máxima distancia entre transmisor y receptor que verifica que la SNR a la salida de este último es superior o igual a un valor dado.

Ejercicio 10 [★]

Considera las modulaciones DBL con detección coherente y AM con detección de envolvente. Obtén una expresión para el error de fase cometido en el proceso de demodulación que haga iguales las prestaciones de ambas modulaciones.

Ejercicio 11 [★]

Se pretenden alojar 10 canales de radio FM comercial en una banda de frecuencias que va desde 88 MHz hasta 90 MHz. El ancho de banda considerado para la señal de voz moduladora es de 15 KHz. Se pide:

- Calcular la máxima desviación de frecuencia que puede alcanzar la estación emisora para que todos los canales puedan transmitirse simultáneamente sin interferencias mutuas
- Si se quiere emitir una potencia total de 5120 W, ¿cuál será la amplitud de la señal modulada para cada canal?

Ejercicio 12 [★★]

En la figura 5 se presenta el esquema del modulador BLU denominado Weaver. Se pide demostrar que se produce una señal modulada en banda lateral, con la convención siguiente: tomando signo '+' donde diga '+±' se obtiene BL-Superior y tomando signo '-' en ambos '+±' se obtiene modulación BL-Inferior.

Nota: B es el ancho de banda de la señal $m(t)$ y la frecuencia de corte de los filtros paso bajo

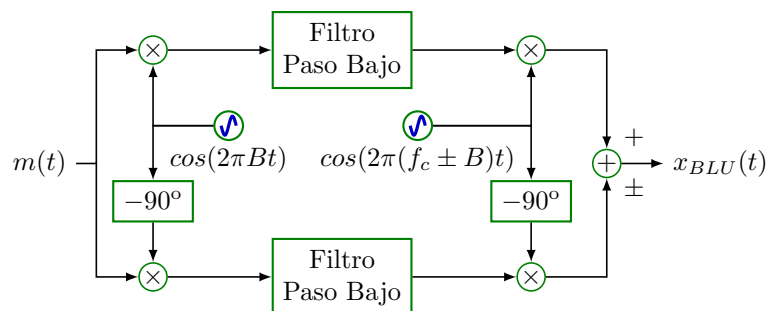


Figura 5: Modulador BLU Weaver

Tema 3: Transmisión de señales

Parte A: Modulaciones analógicas

Soluciones de los ejercicios

Ejercicio 1

Relación $(\text{SNR})_{FM/AM} = 27'7 \text{ dB}$

Ejercicio 2

- a) $B_T = 175 \text{ kHz}$
- b) $P_T = 23'7 \text{ dBW}$
- c) $P_T = 15'4 \text{ dBW}$

Ejercicio 3

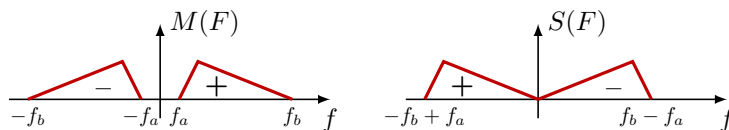
- a) $(\text{SNR})_{AM} = 30'8 \text{ dB}$
- b) $(\text{SNR})_{max}^{FM} = 57 \text{ dB}$

Ejercicio 4

- a) $P_T = -8'5 \text{ dBW}$, $\beta = 2'75$
- b) $P_T = 11'5 \text{ dBW}$
- c) $(\text{SNR})_{P-D}^{FM} = (\text{SNR})^{FM} + 8'7 \text{ dB}$

Ejercicio 5

a)



Ejercicio 6

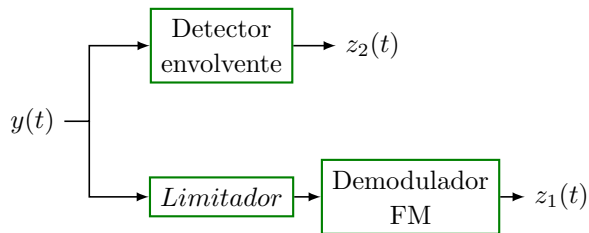
a) DBL: $P_T = 57 \text{ dBm}$, $B_T = 2B = 50 \text{ kHz}$

b) FM: $P_T = 28.2 \text{ dBm}$, $B_T = 1.6 \text{ MHz}$

Ejercicio 7

a) $B_T = 2 (f_\Delta + B)$

b)



Ejercicio 8

a) $(\text{SNR})_E^{DBL} = (\text{SNR})_E^{AM} = \frac{P_R}{3N_0B}$

$$(\text{SNR})_S^{DBL} = \frac{P_R}{N_0B}$$

$$(\text{SNR})_S^{AM} = \frac{P_R}{N_0B} \cdot \left(\frac{\mu^2 P_M}{1 + \mu^2 P_M} \right)$$

b) $(\text{SNR})_E^{DBL} = (\text{SNR})_E^{AM} = \frac{P_R}{2N_0B}$

$(\text{SNR})_S^{DBL,AM}$: mismo resultado que a)

c) $(\text{SNR})_E^{DBL} = (\text{SNR})_E^{AM} = \frac{P_R}{3N_0B}$

$$(\text{SNR})_S^{DBL} = (\text{SNR})_S^{AM} = \frac{3}{8} \frac{P_R}{N_0B}$$

$$(\text{SNR})_S^{AM} = \frac{3}{8} \cdot \frac{P_R}{N_0B} \cdot \left(\frac{\mu^2 P_M}{1 + \mu^2 P_M} \right)$$

Ejercicio 9

Reducción del alcance del 13.4 %

Ejercicio 10

$$\theta = \arccos \left(\sqrt{\frac{\mu^2 P_M}{1 + \mu^2 P_M}} \right)$$

Ejercicio 11

a) $f_{\Delta} = 85 \text{ kHz}$

b) Amplitud = 32 V