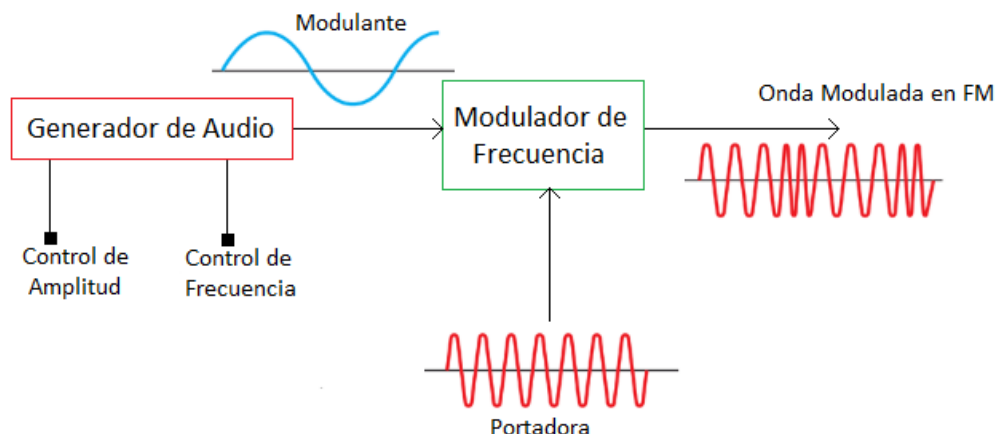


GP N° 3: Modulación exponencial

Requisito para aprobación: Posee 10 problemas, 5 de resolución obligatoria y se requieren 8 correctamente resueltos para su aprobación.

Problema 1

Una señal con valor pico 1V y frecuencia máxima 5kHz modula en FM a una portadora con frecuencia de 89MHz.



- Alguien asegura que si se utiliza $k_f = 3\text{kHz/V}$ (k_f : constante del modulador) el ancho de banda ocupado será 6kHz y que así se puede ahorrar ancho de banda respecto a los sistemas de modulación lineal. ¿Está en lo cierto? Justifique.
- Si se utilizara $k_f = 1\text{MHz/V}$ ¿Será el ancho de banda 2MHz? Explique las diferencias con a).
- Indique el ancho de banda de transmisión en los casos a) y b).

Problema 2

Se tiene una señal portadora de 100 MHz que es modulada exponencialmente por un mensaje cuya frecuencia va desde 200 Hz hasta 2500 Hz con una amplitud máxima V_m . Se sabe que el ancho de banda de la señal modulada es de 8 kHz.

Se solicita:

- Si la amplitud máxima de la señal modulante se duplica (**a $2 \cdot V_m$**). ¿Cuál será el nuevo ancho de banda de la señal modulada?
- Si se usara modulación FM y se duplicara la frecuencia máxima del mensaje (**a 5 kHz**) ¿Cuál será el nuevo ancho de banda de la señal modulada?
- Si se usara modulación PM y se duplicara la frecuencia máxima del mensaje (**a 5 kHz**) ¿Cuál será el nuevo ancho de banda de la señal modulada?
- En base en los resultados obtenidos en los incisos anteriores, determinar en qué caso se mantuvo constante la relación de desviación y en cuál caso se mantuvo constante la máxima desviación en frecuencia. Sacar conclusiones.
- Para la modulación de un tono en FM, graficar el espectro (considere el ancho de banda

Carson) y comparar lo siguiente:

i) Una frecuencia moduladora constante de **fm=5Khz** y desviación de frecuencia variable en [1Khz ; 5Khz ; 10Khz]

ii) Una desviación de frecuencia constante de **Δf=1Khz** y una frecuencia moduladora fm variable en [5Khz ; 1Khz ; 0,5Khz]

Problema 3 (Obligatorio)

Una señal modulada en FM está representada matemáticamente por:

$$s(t) = 15.\cos [2.\pi.fc.t + 2.\text{sen} (2.\pi.2.10^3.t) + 4.\text{sen} (2.\pi.11.10^3.t + \phi)]$$

Donde, Kf=20Khz/Volt (constante del modulador), fc=95.10⁶ Hz (frecuencia de portadora) y ϕ es una variable aleatoria entre $-\pi/2$ y $\pi/2$.

Determine:

- La potencia de la señal modulada sobre una impedancia de 1ohm.
- El ancho de banda de la señal modulada en FM.
- La expresión matemática del mensaje con sus respectivos valores.
- Que sucede si a la expresión del mensaje calculada en c) se le suma una continua de valor 2v. Escriba la nueva s(t).
- Calcule la máxima desviación de frecuencia, Δf y máxima desviación de fase, $\Delta \phi$.
- La expresión matemática del módulo de S(f).

Problema 4 (Obligatorio)

Dada una señal **x(t)= 0, 3V.cos(w_m.t)** que modula en FM a una portadora con Kf=20KHz/v (constante del modulador) y sus magnitudes se observan en el Analizador de Espectros en la **Figura 1**.

Al cambiar los **parámetros de x(t)** lo que se observa es lo mostrado en la **Figura 2**.

Figura 1

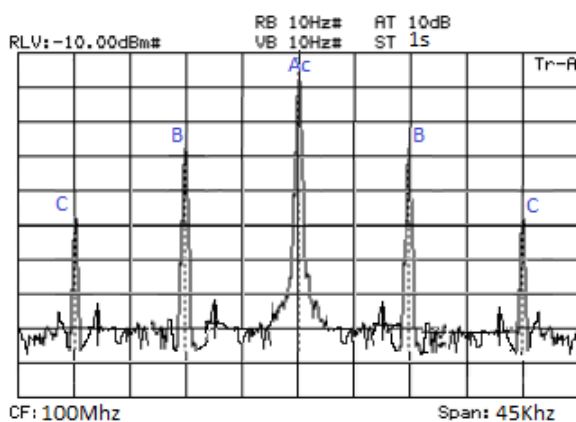
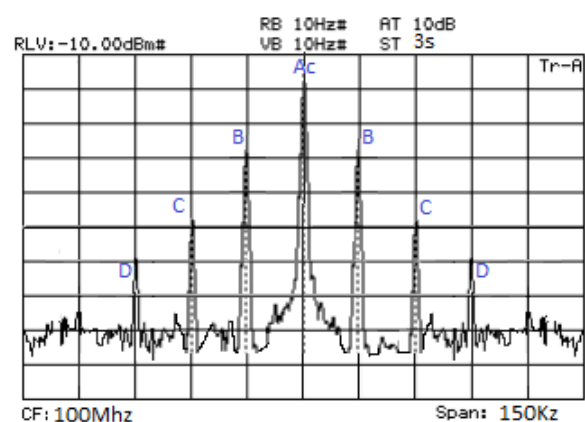


Figura 2

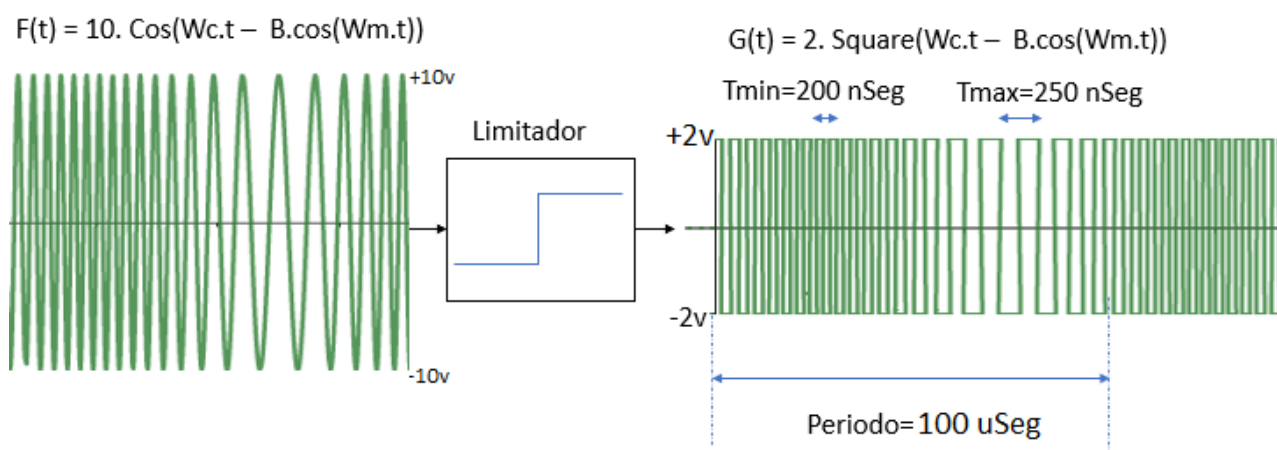


- Calcule el índice de modulación (beta) en la figura 1 y Figura 2.
- Calcule cuanto vario f_m y la amplitud del tono.
- En la figura 2, Determine el nuevo valor de la máxima desviación de la frecuencia instantánea alrededor de f_c y el ancho de banda de la señal modulada.
- Realice los cálculos de los 3 puntos anteriores considerando las mismas figuras para un modulador PM, con una sensibilidad de fase $D_p=4\text{rad/v}$ (constante del Modulador).

Problema 5

El siguiente diagrama muestra una señal de FM modulada por un tono, donde los limitadores de amplitud se utilizan para eliminar la modulación incidental y generar un factor de multiplicación de frecuencia. Como resultado, la portadora se convierte en una onda cuadrada.

Se han obtenido mediciones de tiempo en la salida del osciloscopio y se muestran gráficos cualitativos para su análisis.



Calcule:

- Frecuencia de la portadora.
- Máxima desviación de frecuencia e índice de modulación (Beta).
- Ancho de banda de la señal $F(t)$ y la potencia de la señal antes y después del limitador (considere impedancia normalizada $Z=1\text{ohm}$)
- Si luego del limitador se aplica un filtro pasabanda para lograr la multiplicación x3 en frecuencia, determine dónde debería ubicar su frecuencia central y su ancho de banda
¿Si quisiera un factor de multiplicación x2 podría lograrlo de esta forma? Justifique.

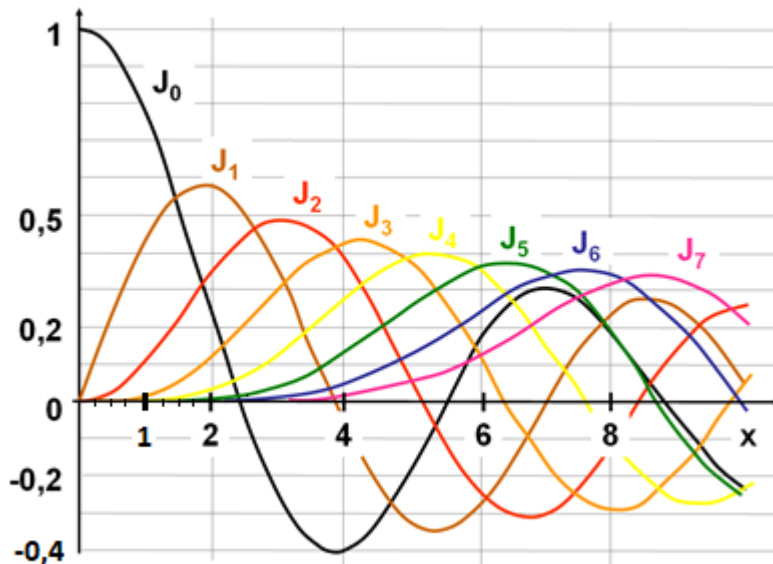
Problema 6 (Obligatorio)

Una portadora es modulada en FM por un tono de amplitud A , que produce una desviación máxima de frecuencia instantánea de $\Delta f[\text{Hz}]$. La potencia total de la señal modulada en FM ($S(t)$) es de 250w. (Considerar impedancia normalizada $Z=1\text{ ohm}$).

- Partiendo de un índice de modulación $\beta=2,405$ determine tres nuevos valores mayores para los cuales la potencia de la componente espectral a frecuencia de portadora aumenta a 40dBm.
- Para el valor más bajo de β calculado anteriormente, se requiere determinar la potencia de las bandas laterales relevantes utilizando el siguiente criterio: considerar únicamente

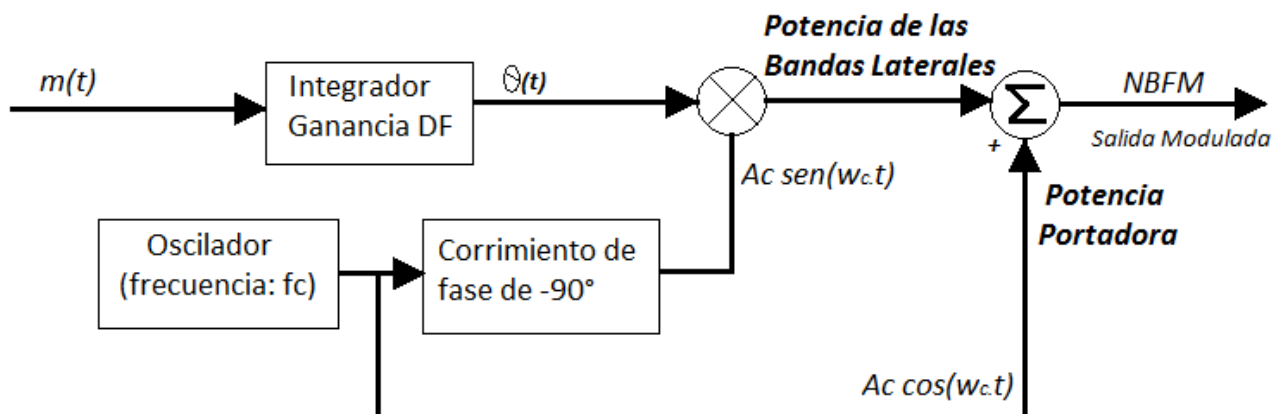
aquellas cuyo nivel se encuentre por encima de los $-20[\text{dB}]$ de la potencia total $S(t)$.

- c) Si ahora se utiliza un tono de 10 KHz (para ajustar la desviación de frecuencia en el mismo transmisor de FM) y se regula su amplitud hasta que se dé la primera coincidencia entre J_0 y J_1 . Calcule cual es el nuevo Beta, la desviación máxima de frecuencia y ancho de banda.



Problema 7 (Obligatorio)

Dado un modulador de NBFM como se muestra en la siguiente figura:



En donde $m(t)$ es un tono de 6 KHz, al medir la potencia de las dos bandas laterales se determinó que la misma es de **-47 dBm**, sobre una impedancia de 50 ohm.

Se solicita:

- Determinar la potencia de la portadora en dBm para lograr $\Delta\phi$ de 10 grados.
- Determinar el índice de modulación de AM incidental.
- Si se elimina el desfase de 90 grados entre el oscilador y el multiplicador, el conjunto actúa como modulador de AM con un integrador en su entrada, En ese caso ¿cuál es el índice de

modulación de AM?

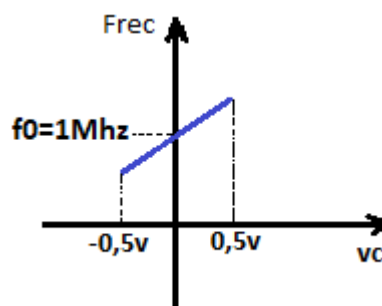
- d) ¿Cuál sería la frecuencia del tono que se escucharía en la salida de un receptor de FM (fonía), si se considera el modulador de NBFM como se muestra en la figura?
- e) Ídem anterior, pero considerando un receptor de AM con detector de envolvente.

Problema 8 (Obligatorio)

Se desea construir un transmisor de FM con portadora $f_c = 95\text{MHz}$ y una desviación máxima de frecuencia 72kHz , para mensajes con ancho de banda de hasta 10kHz . Para ello se cuenta con:

- Un VCO con frecuencia de reposo $f_0 = 1\text{MHz}$ (Como muestra la figura debajo), constante $K_f = 1600\text{Hz/V}$ y rango dinámico de tensión de entrada de $\pm 0,5\text{V}$
- Se cuenta con:
 - o N multiplicadores de frecuencias de valores $\times 2$, $\times 3$ y $\times 5$.
 - o Mezcladores, derivadores, integradores y amplificadores.
 - o Osciladores de 5MHz y 185MHz .
 - o Filtro pasabanda con ancho de banda de 10MHz y centrado en 95MHz .
- a) Realice un diagrama en bloques del transmisor con todos los valores de cada módulo necesarios para el diseño, incluyendo anchos de banda, Δf y relación de desviación. ¿En qué puntos la señal de FM es de banda ancha?
- b) Utilizando el mismo diseño realizado en a) se desea transmitir un tono modulante de 0.052V y frecuencia 15kHz . Determinar la desviación pico de frecuencia y dibuje aproximadamente el espectro de la señal en cada punto del diagrama y la cantidad de armónicas significativas según tabla debajo.
- c) Modifique el transmisor para que module en PM.

mf	Orden															
<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>																



Problema 9

Una señal $x(t) = A_m \cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot t)$ modula en frecuencia a una portadora de 88MHz .

Se desea realizar un discriminador o detector de FM con algunos de los siguientes bloques disponibles (**Considere bloques ideales**). El receptor superheterodino es de doble conversión y lleva la frecuencia a una segunda frecuencia intermedia en 455KHz .

Detector de envolvente	Mezclador	Limitador	Multiplicador de frecuencia	Detector sincrónico	DC BLOCK	Circuito diferenciador d/dt
------------------------	-----------	-----------	-----------------------------	---------------------	----------	-------------------------------

- a) Seleccione los bloques necesarios y ordénelos para la correcta discriminación de FM.

- b) Suponiendo que, a la entrada del detector de envolvente, presenta un $A_{\max}(\text{pico})=11,6\text{V}$ y un $A_{\min}(\text{pico})=8,4\text{V}$. Calcule la desviación en frecuencia.
- c) Calcule la amplitud del tono recibido.

Problema 10

Considere el esquema de modulación de la figura:

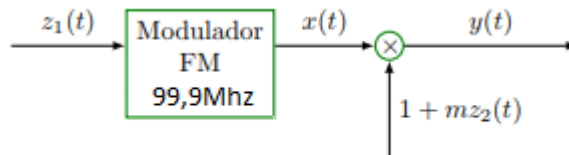


Figura: Esquema de modulación FM + AM

Las señales $z_1(t)$ y $z_2(t)$ son dos señales de información independientes entre sí, donde $z_2(t) = \cos(2\pi \cdot 100\text{KHz} \cdot t)$ y z_1 tiene un ancho de $[300\text{Hz}-4\text{KHz}]$.

El modulador FM tiene una frecuencia de portadora $f_c=99,9\text{ MHz}$ y produce una máxima desviación de frecuencia Δf de 25KHz .

La potencia de $x(t)$ es de 5w y la potencia de $y(t)$ es de $5,9\text{w}$ (sistema adaptado con impedancia normalizada $Z=1\text{ ohm}$).

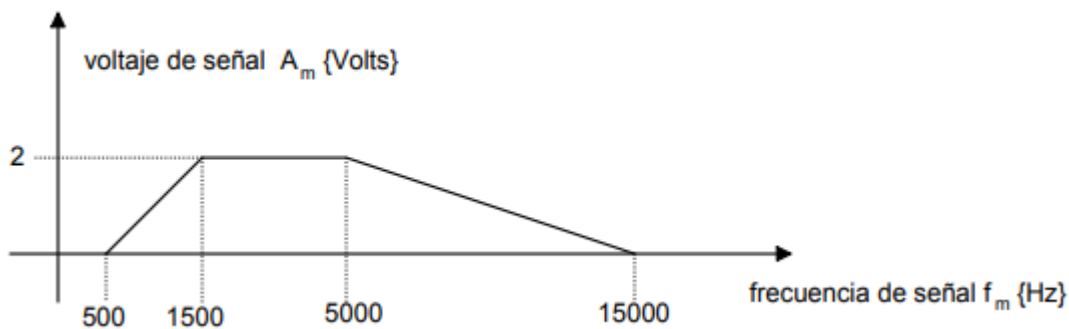
- a) Determine cuál es índice de modulación de AM.
- b) Calcule el ancho de banda utilizado para cada servicio (AM y FM) y la relación de desviación para FM.
- c) Si la amplitud de $z_1(t)$ aumenta a un cierto nivel haciendo que la relación de desviación suba un 10% ¿cuál sería ahora el valor del índice de mod de AM? ¿cuál sería ahora el nuevo ancho de banda utilizado para cada servicio (AM y FM)?
- d) Dibuje la estructura en bloques de un receptor que permita recuperar ambas señales (indicar claramente los distintos bloques funcionales para la detección, y especifique la banda de los filtros de FI usados).

Problemas Extras

Problema Extra-1

Un modulador de FM basado en un VCO genera una portadora sinusoidal, de frecuencia f_c , la que es modulada con una señal modulante $m(t)$. Para probar el transmisor se utiliza una modulación sinusoidal, $m(t) = A_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t)$.

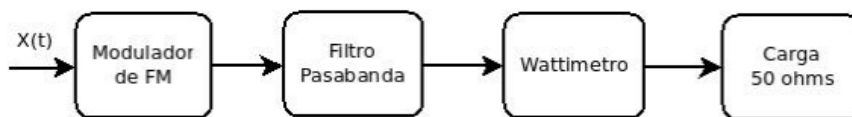
Se comprueba el comportamiento del modulador haciendo variar A_m y f_m . La figura indica la relación entre A_m y f_m usada. Se ha comprobado, que al modular con $f_m = 2[\text{kHz}]$ se produce una desviación máxima de $80[\text{kHz}]$ respecto de la portadora f_c .



- Estime el ancho de banda de transmisión para $f_m = 1[\text{kHz}], 1,5[\text{kHz}], 5\text{kHz}], 10[\text{kHz}]$ y $15[\text{kHz}]$.
- En cada uno de los casos anteriores determine el número de bandas laterales significativas. Indique cuando se trata de FM banda ancha.

Problema Extra-2

En el siguiente esquema el filtro pasabanda (BPF) está sintonizado en la frecuencia portadora, con un ancho de banda de 2KHz:



A la entrada del modulador se inyecta una señal, $x(t) = A_m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot t)$ y se hacen las pruebas siguientes:

- Con $A_m = 0$, el watímetro indica 200 Watts.
- Al ir aumentando en forma continua la amplitud de la modulante hasta $A_m = 4$ Volts, el watímetro indica 0 por primera vez.

Se pide determinar:

- La Amplitud de la portadora, expresada en Volts.
- La Constante del modulador, expresada en Hz/Volts.
- El ancho de banda de la señal de FM a la salida del modulador, para $A_m = 8$ Volts.

Resultados

Problema Extra-1

- 42Khz, 163Khz, 170Khz, 100Khz, 0.
- 82 bandas lat. (banda ancha); 108 bandas lat.(banda ancha), 34 bandas lat.(banda ancha); 10 bandas lat. (banda ancha).

Problema Extra-2

- 141,4 Vpico.
- $K_f = 6\text{Hz/volts}$
- $B_w = 116\text{Khz}$