

Tema 2

Modulaciones analógicas

1 Conceptos a repasar

Antes de hacer estos ejercicios es importante repasar y tener claros los siguientes conceptos teóricos:

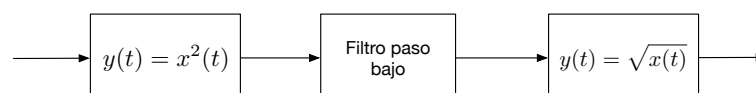
- Modulaciones analógicas lineales: AM y DBL
- Manejo de fasores. Cálculo de componentes en fase y cuadratura de una señal.
- Detectores: detector síncrono y de envolvente
- Modulaciones angulares. Ancho de banda de transmisión e interferencia. Preénfasis y deénfasis.
- Receptor superheterodino

2 Problemas básicos

Este primer bloque de problemas son problemas extraídos en su mayoría de la bibliografía de la asignatura, y consisten en algunos cálculos básicos que es necesario dominar.

Problema 2.1

[Haykin2001] La señal AM $s(t) = A_p(1 + mx(t)) \cos(2\pi f_p t)$ se pasa a través del sistema de la figura.



Suponiendo que el mensaje está normalizado y su ancho de banda es W , que $0 \leq m \leq 1$ y que $f_p > 2W$, demostrar que es posible recuperar el mensaje a partir de la salida del sistema.

Resultados del problema

Es posible. Basta con que la frecuencia de corte del filtro paso bajo sea $2W$

Problema 2.2

Una señal $x(t)$ periódica, de valor medio cero, ancho de banda $5kHz$, amplitud máxima 4 voltios y potencia media normalizada de 0.5, modula en DBL a una portadora de $1MHz$, obteniéndose una señal cuya potencia media es de $400W$. Se pide:

- Amplitud de la portadora.
- Potencia de la banda lateral inferior.

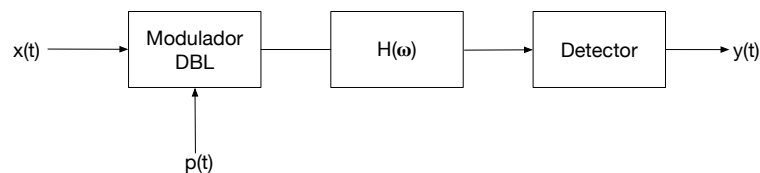
- c) Esquema del demodulador necesario para recuperar $x(t)$, dando los valores más significativos del mismo.

Resultados del problema

- a) $A_p = 10V$
 b) $P_{BLI} = 200W$
 c) Detector síncrono con $f_{OL} = 1MHz$, $A_{OL} = \frac{2}{A_p}$ y $f_{pb} = 5kHz$.

Problema 2.3

La señal $x(t) = \cos(2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 t) + 4 \cdot \cos(2\pi \cdot 15 \cdot 10^3 t) + \cos(2\pi \cdot 20 \cdot 10^3 t)$ modula en DBL a la portadora $p(t) = 2 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^5 t)$ y a continuación pasa a través de un filtro con respuesta $H(\omega)$ antes de llegar al detector, tal y como se puede ver en la figura.



donde

$$H(\omega) = \begin{cases} 0 & |\omega| < 200\pi krad/s \\ 1 & |\omega| \geq 200\pi krad/s \end{cases}$$

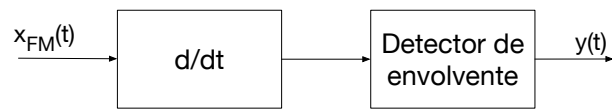
- a) Hallar la señal que se obtendría a la salida si el detector empleado fuese un detector de envolvente con $K_D = 1$ y supresión de continua.
 b) Determinar qué detector sería necesario para que la señal detectada coincidiese con la moduladora, especificando todos los parámetros necesarios.

Resultados del problema

- a) $y(t) = 2 \cdot \cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 t)$
 b) Detector síncrono con $f_{OL} = 2 \cdot \cos(\omega_p \cdot t)$ y con filtro paso bajo con frecuencia de corte de al menos $20kHz$.

Problema 2.4

Si $x_{FM}(t)$ es la señal que resulta al modular en FM una portadora $p(t) = A_p \cdot \cos(\omega_p t)$ por una señal $x(t)$. ¿Cuál sería la condición que permitiría recuperar la señal $x(t)$ mediante el circuito de la figura?



Resultados del problema

$$\omega_p - \omega_\Delta \cdot |x(t)|_{max} > 0$$

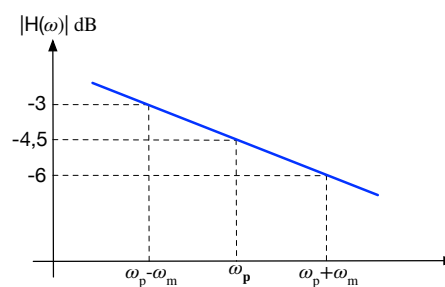
3 Problemas adicionales

Estos problemas son algo más elaborados que los anteriores, en muchos casos extraídos de exámenes antiguos.

Problema 2.5

Un transmisor tiene una potencia media nominal de $30W$ y una potencia de pico máxima de $60W$. Se pide calcular:

- La potencia asociada a una banda lateral cuando la señal $x(t) = \cos(\omega_m t)$ modula a la portadora $p(t) = A_p \cdot \cos(\omega_p t)$, así como el valor de A_p en los casos siguientes:
 - Modulación AM al 80%.
 - Modulación DBL
- En el primero de los casos del apartado anterior se observa que el canal presenta una atenuación no uniforme, tal como se aprecia en la figura. Obtenga la señal detectada en los casos siguientes:



- Detección de envolvente
- Detección síncrona

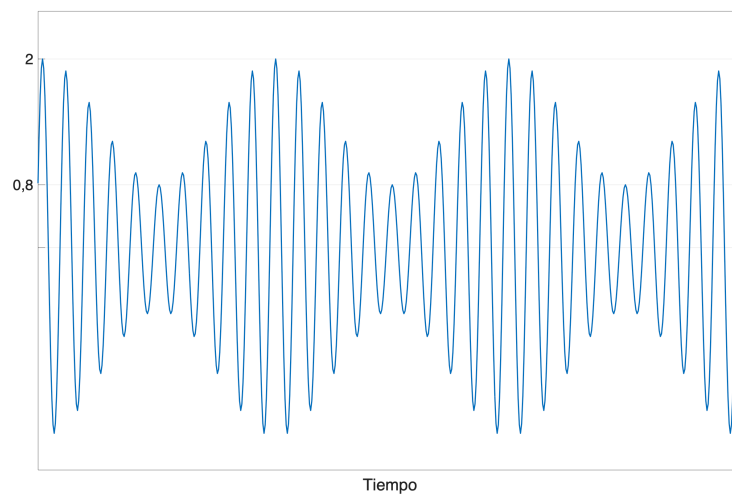
Nota: En ambos casos se supondrá un bloque de supresión de continua.

Resultados del problema

- $A_p = 6.08V$, $P_{BL} = 2.96W$
 - $A_p = 10.95V$, $P_{BL} = 15W$
- $y_D(t) = k_D \cdot [A(t) - \langle A(t) \rangle]$, con:
 - $A(t) = x_i(t) \cdot \left[1 + 0.5 \cdot \left(\frac{x_q(t)}{x_i(t)} \right)^2 \right]$
 - $x_i(t) = 0.6 \cdot A_p + 0.48 \cdot A_p \cdot \cos(\omega_m t)$
 - $x_q(t) = -0.08 \cdot A_p \cdot \sin(\omega_m t)$
 - $y_D(t) = \frac{A_{QL}}{2} \cdot A_p \cdot 0.48 \cdot \cos(\omega_m t)$

Problema 2.6

La señal $x(t)$, cuya frecuencia es $10kHz$, modula a una portadora de $100kHz$ y se observa en un osciloscopio una señal como la de la figura. Se pide:



- Indicar el tipo de modulación utilizado.
- Obtener el índice de modulación.
- Obtener la potencia de la portadora y de la moduladora normalizada.
- Obtener la señal recuperada si se utiliza un detector síncrono, sintonizado a $100kHz$ y de amplitud $1V$.
- Obtener la señal recuperada si se utiliza un detector de envolvente.

Nota: Puede suponerse que $K_D = 1$.

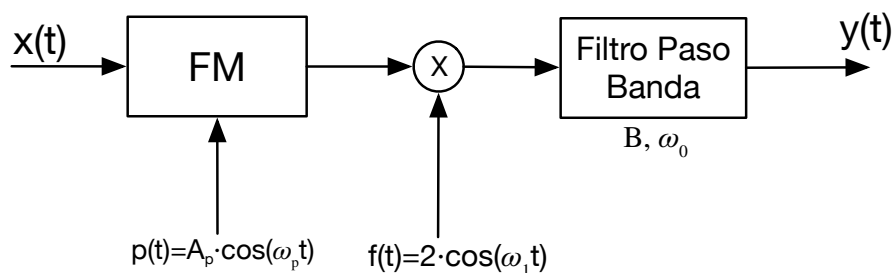
Resultados del problema

- AM
- $m \approx 0.43$
- $P_p = 0.98W$, $S_{xm} = 0.5$
- $y_D(t) = 0.3 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^4 t)$
- $y_D(t) = 0.6 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^4 t)$

Problema 2.7

El esquema de la figura representa un modulador de FM seguido de un convertidor de frecuencia y un filtro paso banda para adaptar la señal modulada a una banda de frecuencias conveniente para la transmisión. Para ajustar los parámetros del sistema se utiliza un tono de prueba $x(t)$. A partir de los valores recogidos en el apartado de datos, se pide calcular:

- El índice de modulación D y el ancho de banda de la onda modulada.
- El valor del ancho de banda, B , y la pulsación central del filtro, ω_0 , sabiendo que la banda de frecuencias que se nos ha asignado para la transmisión está situada por encima de ω_1 .
- La potencia de la señal $y(t)$ sabiendo que el filtro atenúa la señal un 10%. Dejar el resultado en función de A_p .



Datos:

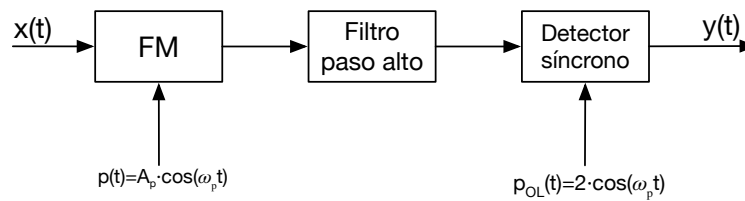
- $x(t) = \cos(\omega_m t)$ [V]
- $\omega_m = 2\pi \cdot 4 \text{krad/s}$
- $\omega_p = 2\pi \cdot 400 \text{krad/s}$
- $\omega_1 = 2\pi \cdot 2 \text{Mrad/s}$
- $\omega_d = 2\pi \cdot 16 \text{krad/s} \cdot V$

Resultados del problema

- $D = 4, B_T = 2\pi \cdot 48 \text{krad/s}$
- $\omega_0 = \omega_1 + \omega_p, B \geq B_T$
- $P_y = 0.81 \cdot \frac{A_p^2}{2}$

Problema 2.8

La señal $x(t) = \cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)$ modula en FM a la portadora $p(t) = A_p \cdot \cos(\omega_p t)$. La señal modulada es pasada por un filtro paso alto con frecuencia de corte $2\pi \cdot 350 \text{krad/s}$, y la señal resultante se pasa por un detector síncrono en el que el oscilador local está ajustado a la frecuencia de la portadora considerada, estando su expresión dada por $p_{OL}(t)$ (ver Datos y Figura).



Se pide calcular la señal resultante del sistema, $y(t)$, en función de A_p .

Datos:

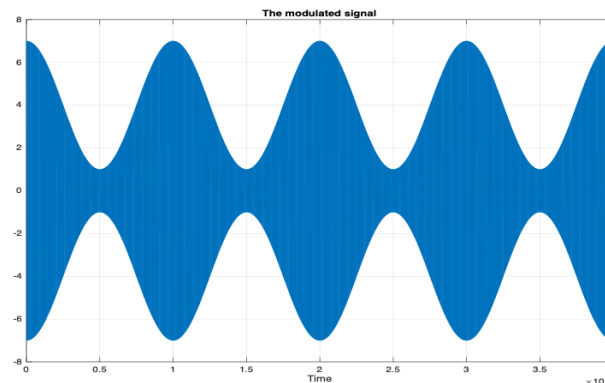
- $\omega_1 = 2\pi \cdot 64 \text{krad/s}$
- $\omega_2 = 2\pi \cdot 128 \text{krad/s}$
- $\omega_d = 2\pi \cdot 2 \text{krad/s} \cdot V$
- $\omega_p = 2\pi \cdot 400 \text{krad/s}$
- $p_{OL}(t) = 2 \cdot \cos(\omega_p t)$

Resultados del problema

$$y(t) = A_p \cdot \left[1 + \left(\frac{\omega_d}{2\omega_1} \right) \cos(\omega_1 t) + \left(\frac{\omega_d}{2\omega_2} \right) \cos(\omega_2 t) \right]$$

Problema 2.9

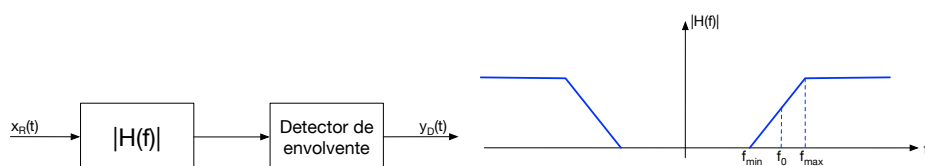
Un tono $x(t)$, de frecuencia $1kHz$ y $1V$ de amplitud, modula a una portadora $p(t)$ de $1MHz$, generándose una señal $y(t)$ como la que se muestra en la siguiente figura, cuya envolvente varía entre $1V$ y $7V$.



- Indique el tipo de modulación utilizado y determine el valor del índice de modulación y de la amplitud de la señal portadora (indicando sus unidades).
- Dibuje el espectro de la señal modulada, $y(t)$, indicando los valores de amplitud y frecuencias.

Ahora se desea modular la portadora $p(t)$ en FM con el tono $x(t)$. El modulador FM tiene una desviación de frecuencia de $15kHz/V$.

- Dibuje, aproximadamente, la señal en el dominio del tiempo que se obtendría cuando el tono de partida $x(t)$ module en FM a $p(t)$. Indique los valores entre los que varía la envolvente.
- ¿Es posible obtener la señal moduladora empleando el siguiente esquema?



Resultados del problema

- Es una modulación AM con $m = 0.75$ y $A_p = 4V$.
- $$Y(\omega) = 4\pi [\delta(\omega - \omega_p) + \delta(\omega + \omega_p)] + \left(\frac{3\pi}{2}\right) \cdot [\delta(\omega - \omega_p - \omega_m) + \delta(\omega - \omega_p + \omega_m) + \delta(\omega + \omega_p - \omega_m) + \delta(\omega + \omega_p + \omega_m)]$$
- $[-A_p, A_p]$
- Sí que es posible.

Bibliografía

[Haykin2001] Simon Haykin. Communication Systems, 4th Ed. John Wiley and Sons, 2001.