PRÁCTICA 4

MODULACIÓN FM

ÍNDICE

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

En el caso de la modulación de FM el parámetro de la portadora que se va a variar en función de la señal moduladora, es la frecuencia instantánea. La ecuación que representa esta modulación es:

$$y(t) \; = \; Ac\cdot \cos\,(2\cdot\pi\cdot f_i\, t + \varphi),\ \text{donde}\ f_i\,(t) = fc + \Delta f\cdot x_n\,(t).$$

donde f_i es la frecuencia instantánea, que depende linealmente de la amplitud de la información a transmitir, a través de Δf, que es la denominada desviación de frecuencia (en Hz) y que vendrá determinada por las características del modulador. Considerando x(t) normalizada, la excursión de frecuencia va desde f_c - Δf hasta f_c + Δf. En total 2·Δf.

Teniendo en cuenta que la pulsación instantánea de una señal es la derivada temporal de la fase:

$$f_i\,(t) = \frac{1}{2\pi}\,\frac{d\,\varphi(t)}{d\,t}\,; \qquad \varphi(t) = 2\pi \int_{-\infty}^{t} f_i\,(t)\,d\,t$$

se puede representar la señal modulada en frecuencia como el equivalente a una modulación de fase si la señal moduladora es previamente integrada, (lo que equivale a un simple circuito RC).:

$$y(t) \; = \; A_c\cdot\cos\left[\omega_c\,t + 2\cdot\pi\cdot\Delta f \int_{-\infty}^{t} x_n\,(t)\,d\,t\right]$$

En la modulación de FM la envolvente de la señal moduladora no varía y la potencia media coincide con la potencia de pico de la envolvente.

$$P_y \; = P.E.P(W) = \; \frac{A^2}{2R}$$

La señal modulada en FM en un osciloscopio se verá como una sinusoide, donde varía la frecuencia instantánea en función de la señal moduladora. Si la Δf es muy pequeña comparada con la frecuencia de portadora, la señal aparecerá como una sinusoide a f_c y no se podrán observar las variaciones de frecuencia instantánea.

Representación temporal de una señal modulada en FM por un tono normalizado.

La representación temporal de un señal modulada en FM cuando la moduladora es un tono puro se puede observar en la siguiente figura.

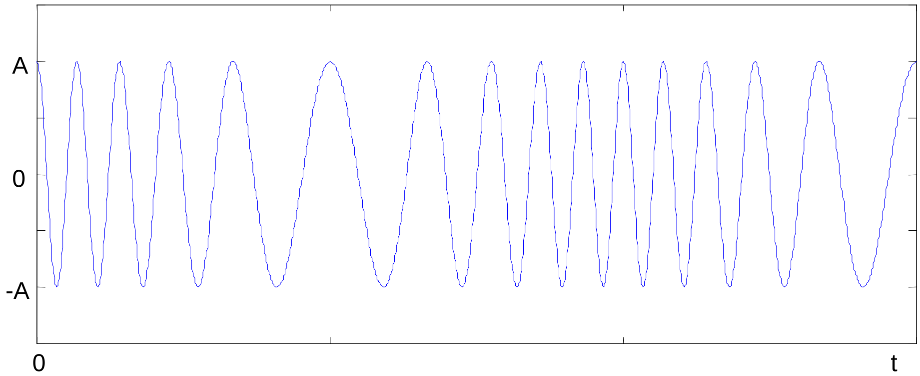


Figura 1. Representación temporal de una señal en FM.

La señal moduladada vista en un osciloscopio, con la condición de que la desviación de frecuencia no sea muy pequeña comparada con la frecuencia moduladora, y teniendo en cuenta el funcionamiento del mismo será la que aparece en la siguiente figura.

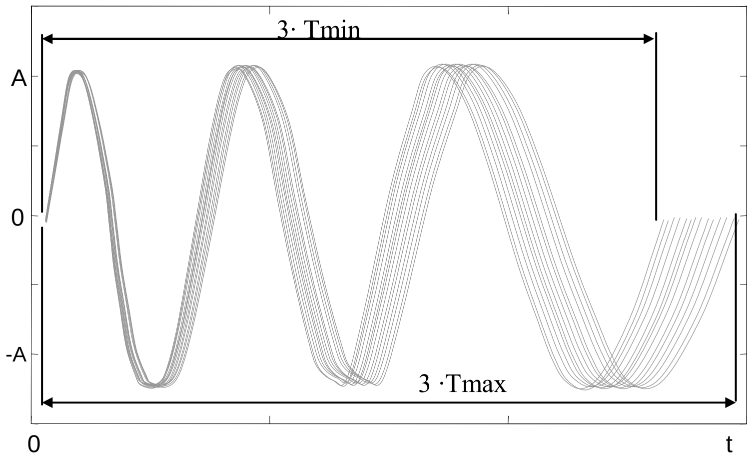


Figura 2. Visualización en un osciloscopio de una señal modulada en FM.

En esta situación se puede medir la desviación de frecuencia en el osciloscopio. Dada la poca resolución en un solo período es conveniente hacerlo en tres.

por lo tanto: $f_{\min} = f_c - \Delta f = \dfrac{1}{T_{\max}}$; $f_{\max} = f_c + \Delta f = \dfrac{1}{T_{\min}}$

Espectro y potencia de la señal de FM suponiendo la señal modulada con un tono normalizado.

En este tipo de modulación aparecen múltiples bandas laterales, separadas entre sí por el valor de la frecuencia moduladora (f_m). En realidad el número de rayas espectrales es infinito, pero sólo son significativas unas cuantas. La potencia total se reparte entre las componentes espectrales, y las amplitudes de estas rayas espectrales vienen dadas por los valores que toman las funciones de Bessel de primera especie, con argumento la relación entre la desviación típica y la frecuencia moduladora.

Al parámetro $\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$ se le conoce con el nombre de índice de modulación.

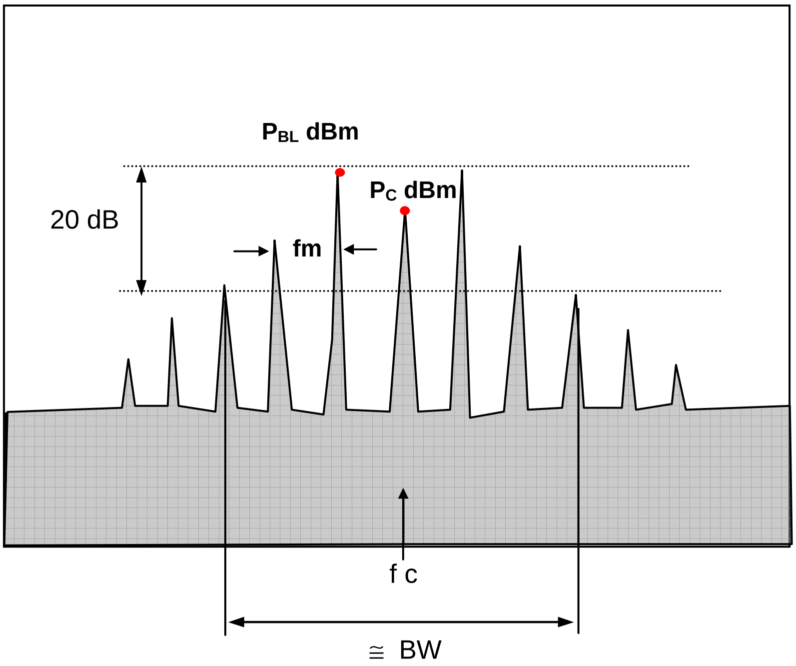


Figura 3. Espectro de una señal modulada en FM.

La potencia total se puede determinar sumando todas la potencias, en vatios, de las bandas laterales significativas, (es suficiente con considerar aquellas hasta unos 20 o 25 dB por debajo de las de mayor amplitud. Otro procedimiento para medir la potencia de la señal de FM es utilizando un filtro de resolución que integre todo el ancho de banda significativo.

El ancho de banda se suele medir al 99% de la potencia (unos 20 dB por debajo del valor de las portadoras de mayor amplitud). Para señales aleatorias viene dado de forma aproximada por la regla de Carson:

$$BW = 2 \cdot (f_m + \Delta f)$$

La desviación de frecuencia se puede medir en el analizador de espectros de dos maneras variando el filtro de resolución y el span. (No siempre es posible obtener las dos representaciones suficientemente claras para todas las combinaciones de frecuencia moduladora y desviación de frecuencia). En cualquier caso siempre se podrá utilizar uno de los dos métodos. Es conveniente para realizar este tipo de medidas parar el barrido del analizador de espectros, lo que se puede conseguir mediante un disparo único o bien escribiendo la traza.

Mediante un filtro de resolución muy ancho y span estrecho se obtiene una figura como la siguiente, donde la desviación de frecuencia se puede medir según se indica en la figura.

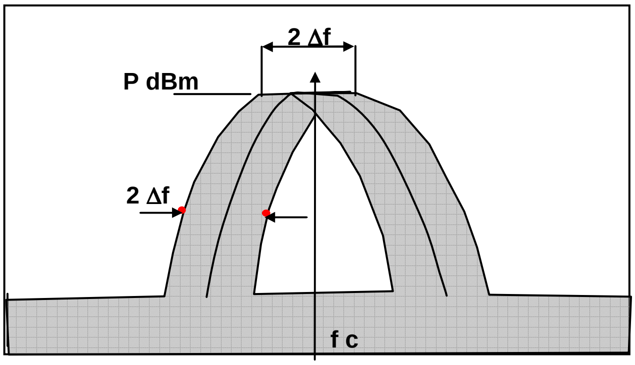


Figura 4. Medida de la desviación de frecuencia con filtro ancho y span pequeño.

Mediante un filtro de resolución estrecho y span relativamente ancho se obtiene una figura como la siguiente, donde también se indica cual es el valor de la desviación de frecuencia:

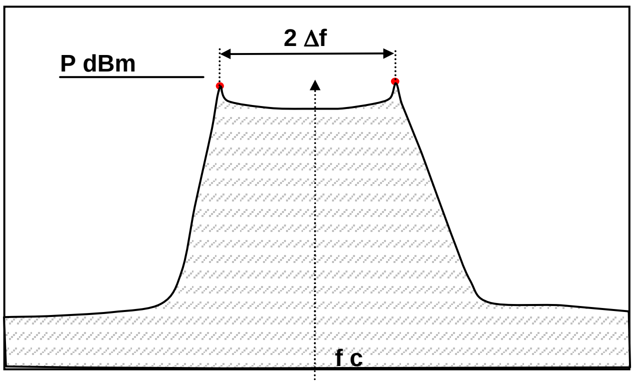


Figura 5. Medida de la desviación de frecuencia con filtro estrecho y span más ancho.

2. MEDIDAS

En este apartado, debe realizarse el estudio detallado de una modulación de frecuencia, simulando en Matlab las señales proporcionadas por los instrumentos más habituales de cualquier laboratorio de Sistemas de Telecomunicación: el generador de funciones, el generador de señal de Radio Frecuencia, el osciloscopio y el analizador de espectros.

Seguidamente, se propondrán las características de la modulación. El cometido del alumno consistirá en simular el montaje necesario para efectuar las medidas pedidas, llevar éstas a cabo y dar respuesta a las preguntas que se le planteen.

Puesto que el período de muestro de la simulación es directamente proporcional al ancho de banda de las señales simuladas, en esta práctica trabajaremos con valores de frecuencia, tanto para la señal moduladora como para la portadora y la modulada, mucho menores a los utilizados normalmente en los sistemas de telecomunicaciones.

Siga los siguientes pasos:

1. Cree un script para medir señales FM. Resetee el espacio de trabajo.

2. Valores iniciales: frecuencia de muestreo fs = 1024 Hz; número de muestras N = 1024; frecuencia de portadora fc = 200 Hz; potencia de FM −20 dBm; moduladora sinusoidal de fm = 16 Hz; desviación máxima de frecuencia 20 Hz; impedancia de trabajo Z = 50 Ω.

3. Como posteriormente debe variar la desviación de frecuencia y la frecuencia moduladora, es conveniente que el programa pida dichos datos al usuario (use el comando *input*).

4. Calcule, y muestre por pantalla: la amplitud de la señal FM; el índice de modulación; el ancho de banda de Carson. Genere un vector con los instantes de muestreo (no lo muestre por pantalla).

5. Genere la señal moduladora normalizada (tono tipo coseno). Genere la integral de la señal moduladora, también normalizada. Genere la señal FM.

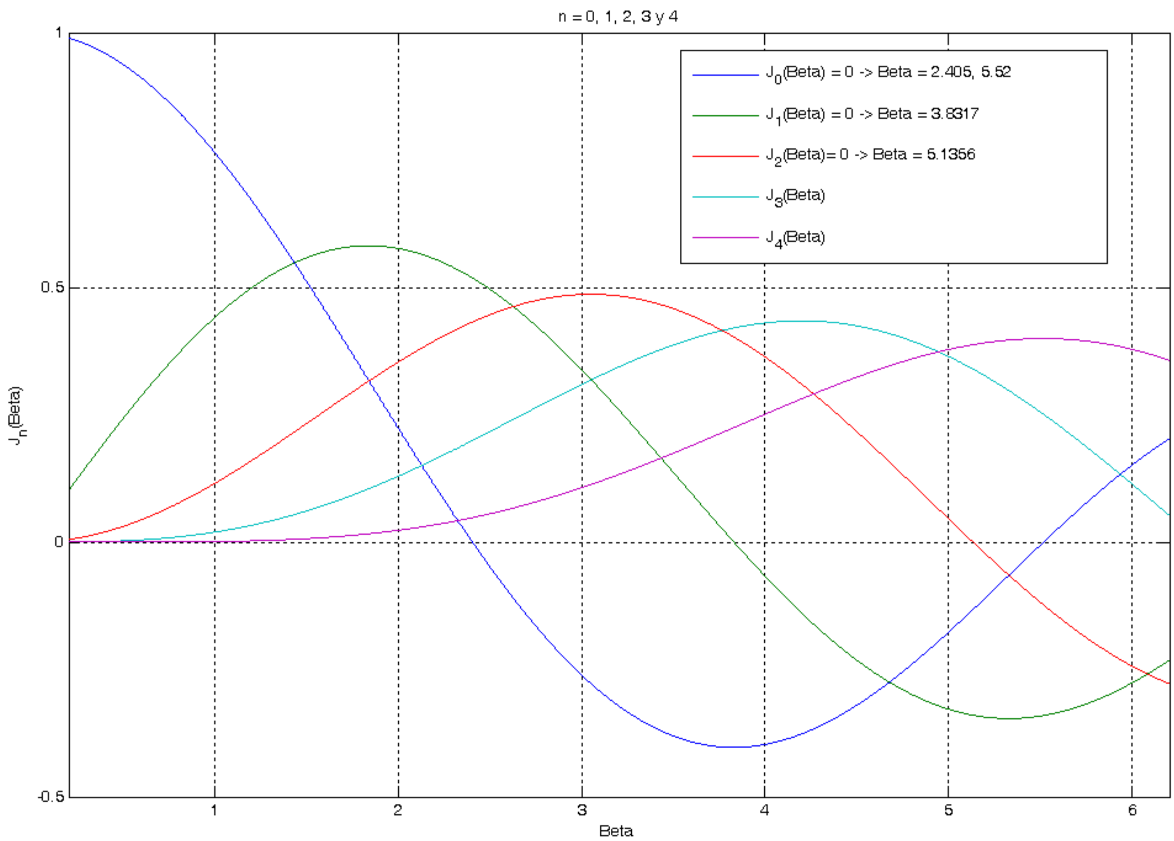
6. Visualice la señal moduladora con *time_dep*. Compruebe sus parámetros: a) Verifique fm en el tiempo y el espectro. b) Verifique la amplitud en el tiempo. c) Calcule la potencia y verifique su valor en el espectro (con el zoom). Visualice la señal FM con *time_dep*. Compruebe sus parámetros: a) Verifique fc en el tiempo y el espectro. b) Verifique fm en el espectro. c) Varíe la desviación de frecuencia (pruebe con valores bastante más bajos). Observe y anote cómo cambia la señal FM. d) Con la desviación máxima de frecuencia fija a 50 Hz (para mejorar la visualización), modifique fm a valores muy bajos (p. ej: 1 Hz). Observe y anote cómo cambia la señal FM.

7. De nuevo con los valores iniciales (desviación máxima de frecuencia 20 Hz, fm = 16 Hz), mida con *powmeter* (en W y dBm) la potencia de FM contenida en diferentes anchos de banda: a) Mida, tomando un ancho de banda que incluya todas las deltas del espectro, la potencia total de FM. Compruebe que sale el valor esperado. b) Mida la potencia contenida en el ancho de banda de Carson. Compruebe que es menor que la total, y calcule el porcentaje de la total incluido en la de Carson. c) Averigüe en el espectro cuántas deltas contiene el ancho de banda a 20 dB. Calcule el ancho de banda a 20 dB. Mida la potencia incluida en el ancho de banda a 20 dB. Compare el resultado obtenido para los anchos de banda de Carson y 20 dB.

8. Ahora tome una desviación máxima de frecuencia de 50 Hz, y una portadora de 250 Hz. Variando fm, y modificando por tanto el índice de modulación, cancele determinadas líneas espectrales. Para ello, consulte en el apéndice los valores del índice de modulación que anulan las funciones de Bessel de primera especie. En concreto: a) Cancele la delta a fc, mediante el primer nulo de J_0. Para el valor del índice de modulación que anula J_0, calcule fm (redondeando al Hz, es decir: un valor entero en Hz). Genere la nueva señal FM y visualícela con *time_dep*. b) Cancele la delta a fc, mediante el segundo nulo de J_0. Siga los pasos del apartado (a). c) Cancele las deltas de la primera banda lateral, mediente el primer nulo de J_1. Siga los pasos del apartado (a). d) Cancele las deltas de la segunda banda lateral, mediente el primer nulo de J_2. Siga los pasos del apartado (a).

9. Por último, debe medir la desviación máxima de frecuencia usando la función del apéndice *time_FM*, que actúa como un osciloscopio. Tome los siguientes valores: frecuencia de muestreo fs = 1024*32; número de muestras N = 1024*32; frecuencia de portadora fc = 200 Hz; moduladora sinusoidal con fm = 16 Hz; desviación máxima de frecuencia 20 Hz. Genere el nuevo vector con los instantes de muestreo, y la nueva señal FM. Visualice la señal modulada con *time_FM*. Mida la desviación máxima de frecuencia usando 2 periodos, de forma análoga a como se describe en la parte teórica para 3 periodos.

Apéndice 1. Funciones de Bessel de 1ª especie y orden n



Funciones de Bessel de 1ª especie y orden n, $J_n(\beta)$. Se indican los valores de beta para los cuales dichas funciones se anulan.

Apéndice 2. Función *time_FM*

```
function time_FM(x,T,s)
%
% function time_FM(x,T,s)
%
% Esta función representa la señal FM en el dominio del tiempo.
%
% Parametros de entrada:
% ......................
%   x: señal a analizar (real)
%   T: periodo de muestreo
%   s: título que se quiere aparezca
%
% 06/02/07
%

a = length(x);              % nº muestras de la señal
ciclos = 2;                 % nº de ciclos que se verán en el osciloscopio
y = 2*(x>0)-1;              % señal cuadrada (+1,-1) con el signo de x
z = y(2:a)-y(1:a-1);        % marca con 1 cuando y va a cambiar de -1 a +1
z = z>1;                    % convierte z en variable lógica (sincronismo)
I = find(z);                % índice (posición) de los elementos no-cero
NI = length(I);             % nº elementos no-cero (elementos del vector I)
vector = I(1:ciclos:NI-2*ciclos-1)% seleccionamos elementos en I
MM = 12*ciclos*16;          % muestras de señal en el nº de ciclos
matriz = zeros(length(vector),MM);
% matriz con las señales que se visualizarán:
%   * se inicializa con ceros
%   * hay "length(vector)" señales (barridos de osciloscopio)
%   * cada barrido tiene MM muestras de señal

for jota = 1:length(vector) % se rellena con los valores de la señal
    matriz(jota,1:MM) = x(vector(jota)+1:vector(jota)+MM);
end

plot((0:MM-1)*T,matriz','b'), grid
% se genera el eje con los instantes de muestreo, y se pinta
xlabel('t (sg)'), ylabel('V (voltios)')
title(s)

% Fin de la función time_FM
```