INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

COMUNICACIONES I

Practica No "Modulación Angular, Frecuencia Modulada"

By Richard

FECHA DE REALIZACIÓN: 09-ABRIL-08

FECHA DE ENTREGA: 16-ABRIL-08

FUNDAMENTO TEÓRICO.

Modulación Angular

La modulación angular fue introducida en el año 1931, como una alternativa a la modulación en amplitud. Se sugirió que la onda con modulación angular era menos susceptible al ruido que AM y consecuentemente, podía mejorar el rendimiento de las comunicaciones de radio. El mayor E.H. Armstrong desarrolloel primer sistema radio FM con éxito, en 1936 (quien también desarrollo el receptor superheterodino) y, en julio de 1939, la primera radiodifusión de señales FM programada regularmente comenzó en Alpine, New Jersey. Actualmente la modulación angular se usa extensamente para la radiodifusión de radio comercial, transmisión de sonido de televisión, radio móvil de dos sentidos, radio celular y los sistemas de comunicaciones por microondas y satélite.
El proceso de modulación consiste en variar algunos de los parámetros de una portadora, generalmente senoidal, de acuerdo a una señal de información o señal moduladora. En el caso de modulación angular, se hace variar la frecuencia o la fase de la portadora. Así la modulación angular tiene dos variantes: modulación de frecuencia (FM) y modulación de fase (PM). En ambos casos, la amplitud de la portadora se mantiene constante. Por esta razón a estos tipos de modulación se les designa también como de envolvente constante, en tanto que a la modulación de amplitud se le designa como de envolvente variable. A veces a la modulación angular se le designa también como modulación exponencial.

La expresión general para una portadora sin modulación puede escribirse como:

$$v(t) = V_c \, sen\,(\omega t + \phi) \quad (1)$$

Donde:
V(t) = Valor instantáneo del voltaje.
V_c = Amplitud máxima.
ω = Frecuencia angular en rad/s.
φ = Angulo de fase en radianes.
La frecuencia angular ω se interpreta aquí como frecuencia angular instantánea y la fase como fase Instantánea. Es decir, la frecuencia y la fase pueden variar instantáneamente de acuerdo con la señal Moduladora. De acuerdo a esto, puede definirse la frecuencia de la portadora como:

$$\omega(t) = \omega_c + k_1 f(t) \quad (2)$$

Ahora bien, se presentan algunas dificultades si a partir de la expresión (a) tratamos de expresar matemáticamente la señal resultante de la modulación en frecuencia ya que, en general se habla de la frecuencia de una señal senoidal cuando la frecuencia es constante y la señal persiste todo el tiempo. Por esta razón es más conveniente definir una función senoidal generalizada de forma:

$$f_c(t) = A \cos \phi(t) \quad (3)$$

La elección de la función coseno en lugar de seno es puramente arbitraria y la única razón es que el manejo de aquélla es más cómodo, aún cuando en ambos casos se llega a los mismos resultados.
En (c), φ(t) es el ángulo instantáneo de fase de la señal. Ahora bien, la fase instantánea y la frecuencia instantánea están relacionadas mediante:

$$\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (4)$$

e, inversamente,

$$\phi(t) = \int \omega(t)\, dt \quad (5)$$

Y, para una señal de frecuencia constante ωc = 2 π fc se tiene:

$$\phi(t) = \int \omega_c(t)\, dt = \omega_c t + \phi_0 \quad (6)$$

Donde φ0 es la constante de integración y representa la fase inicial de la señal de frecuencia angular ωc. Si la integral se hace definida en el intervalo (0,t), entonces φ0 = 0, de modo que podemos omitirla sin pérdida de generalidad.

Modulación de fase

Si ahora se hace variar la fase instantánea φ(t) de acuerdo a una señal de información f(t), se tendrá:

$$\phi(t) = \omega_c t + k_2 f(t) \quad (7)$$

Substituyendo (f) en la ecuación general (c) se tiene, para la modulación de fase:

$$f_{PM}(t) = A\cos\left[\omega_c t + k_2 f(t)\right] \quad (8)$$

Modulación de frecuencia

También puede hacerse variar la frecuencia de la portadora en la forma definida por la expresión (2).

Para obtener una expresión similar a (8), es necesario obtener φ(t) utilizando (5):

$$\phi(t) = \int_0^t \left[\omega_c + k_1 f(t)\right] dt$$

$$= \omega_c + k_1 \int_0^t f(t)dt \quad (9)$$

Substituyendo ahora esta expresión en (3), se tiene la siguiente expresión para la modulación en frecuencia:

$$f_{FM}(t) = A\cos\left[\omega_c t + k_1 \int_0^t f(t)dt\right] \quad (10)$$

Substituyendo ahora esta expresión en (3), se tiene la siguiente expresión para la modulación en frecuencia:

Las ecuaciones (8) y (10) son muy parecidas, excepto que en la expresión para la señal modulada en frecuencia aparece la integral de f(t), la señal moduladora, en lugar de la función sola. Esto conduce a pensar que es posible generar una señal modulada en frecuencia a partir de una señal modulada en fase, si previamente se integra la señal de información f(t). En otras palabras, la diferencia entre la modulación de frecuencia y la de fase es únicamente un integrador en el circuito de modulación. Este procedimiento se conoce como método indirecto de generación de FM.

En la práctica es muy difícil, por no decir que no es posible, distinguir en un osciloscopio entre una señal modulada en fase y una modulada en frecuencia, a diferencia de las señales moduladas en amplitud que pueden distinguirse claramente. En la figura 1 se ilustra la diferencia entre una señal modulada en amplitud y una modulada en frecuencia. Las ecuaciones (8) y (10) proporcionan la base para analizar los dos tipos de modulación angular desde un punto de vista general. Para simplificar el análisis supondremos que la señal de información f(t) es de forma:

$$f(t) = a\cos\omega_m t \quad (11)$$

Substituyendo (11) en (8) y (10) se tiene, para la modulación de fase,

$$f_{PM}(t) = A\cos\left[\omega_c t + k_2 a\cos(\omega_m t)\right] \quad (12)$$

Y, para la modulación en frecuencia,

$$f_{FM}(t) = A\cos\left[\omega_c t + k_1 a\, sen(\omega_m t)\right] \quad (13)$$

Donde, en las expresiones anteriores:

A es la amplitud de la portadora. Obsérvese que, a diferencia de AM, la amplitud de la portadora es constante en la modulación angular. k1 y k2 son constantes y a es, en ambos casos, la amplitud de la señal moduladora.

ωc = 2 π fc es la frecuencia angular de la portadora sin modulación. En FM y PM a la frecuencia de la portadora sin modulación se le designa como frecuencia central.

Es importante notar que la modulación de fase siempre lleva implícita la modulación de frecuencia y viceversa. Es decir, los dos tipos de modulación ocurren simultáneamente.

De (12) se ve que:

$$\phi(t) = \omega_c t + k_2 a\cos(\omega_m t) \quad (14)$$

De modo que la frecuencia instantánea estará dada por:

$$\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \omega_c + k_2 a\,\omega_m \cos(\omega_m t) \quad (15)$$

Y si, ahora se define m = k2a:

$$\omega(t) = \omega_c + m\,\omega_m \cos(\omega_m t) \quad (16)$$

Con lo que la ecuación para la modulación de fase (12) queda ahora como:

$$f_{PM}(t) = A\cos\left[\omega_c t + m\cos(\omega_m t)\right] \quad (17)$$

Y m se define ahora como índice de modulación de fase o amplitud de la desviación de fase. De (16) se ve que la magnitud de la desviación de frecuencia de la portadora (frecuencia central), correspondiente a la desviación de fase m es:

$$\Delta\omega = m\omega_m \quad (18)$$

Integrando (16) y substituyendo en (3) se obtiene una expresión equivalente a la (14), ahora en términos de la desviación de frecuencia:

$$f_{FM}(t) = A\cos\left[\omega_c t + \beta\, sen(\omega_m t)\right] \quad (19)$$

Donde;

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (20)$$

DESARROLLO

Procedimiento:

Considere una señal modulante

$f(t) = Cos(\omega_m \cdot t)$

donde $\omega_m = 2\pi \ {}^{rad}\!/_{seg}$

La frecuencia de la portadora $\omega_c = 100$

1. Graficar el espectro de la señal de FM, para los índices de modulación siguientes:

$m_f = 0.2$, $m_f = 0.6$, $m_f = 1$, $m_f = 5$, $m_f = 10$

Recordar que:

$\varphi_{FM}(t) = A\cos(\omega_c t + k_f \int f(t)dt$

$g(t) = \int_0^t f(t)dt = \int_0^t \cos(\omega_m)dt$

$g(t) = \dfrac{1}{\omega_m} Sen(\omega_m t)$

$\therefore \varphi_{FM}(t) = A\cos(\omega_c t + m_f Sen(\omega_m t))$

Revisar la función fftshift(fft())

2. Repetir el punto 1 usando la función fmmod()

Programa en Matlab:

Para el punto No1 tenemos:

```
function Practica6_1()

clc;
clear all;
wc=100;
wm=2*pi;
t=-pi:0.01:pi;
w=-2*pi:.01:2*pi;
A=1;

mf=0.2;
Fi=A*(cos((wc*t)+(mf*sin(wm*t))));
N=length(Fi); % Longitud de Fi
% Espectro de Fi
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
```

```
f=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,1)
plot(f,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] A=0.2')

mf=0.6;
Fi=A*(cos((wc*t)+(mf*sin(wm*t))));
N=length(Fi); % Longitud de Fi
% Espectro de Fi
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
f=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,2)
plot(f,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] A=0.6')

mf=1;
Fi=A*(cos((wc*t)+(mf*sin(wm*t))));
N=length(Fi); % Longitud de Fi
% Espectro de Fi
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
f=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,3)
plot(f,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] A=1')

mf=5;
Fi=A*(cos((wc*t)+(mf*sin(wm*t))));
N=length(Fi); % Longitud de Fi
% Espectro de Fi
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
f=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,4)
plot(f,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] A=5')

mf=10;
Fi=A*(cos((wc*t)+(mf*sin(wm*t))));
N=length(Fi); % Longitud de Fi
% Espectro de Fi
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
f=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,5)
plot(f,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] A=10')
```

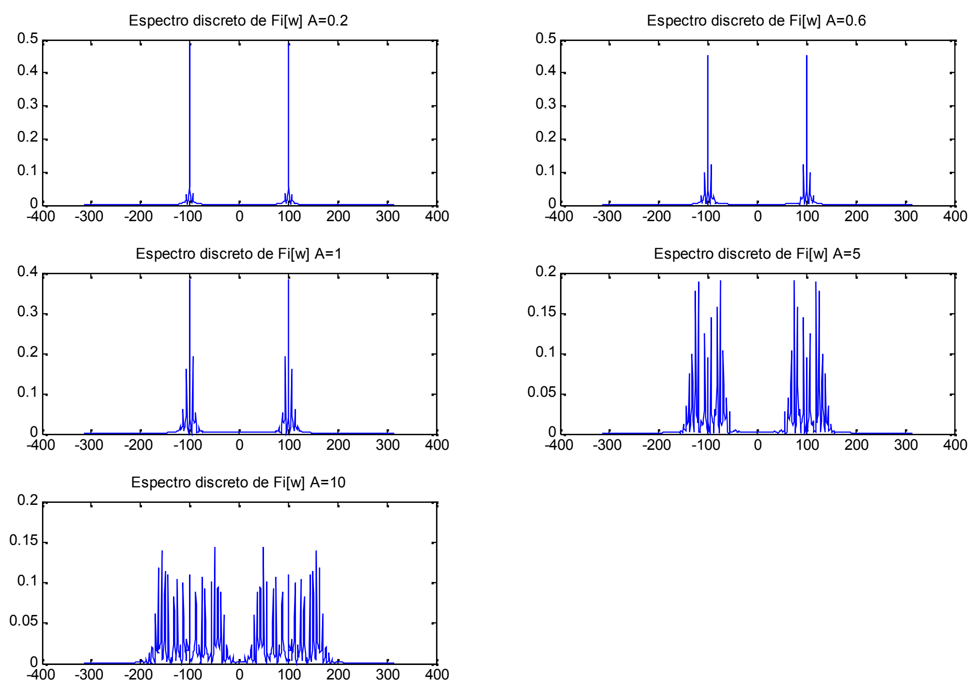
Para el punto No 2 tenemos:

```
function Practica6_2()

clc;
clear all;
wc=100;
fc=100/(2*pi);
wm=2*pi;
t=-pi:0.01:pi;
fs=length(t);
A=1;
f=cos(wm*t);

mf=0.2;
%desviacion de frecuencia
dw=mf*wm;
Fi=fmmod(f,100,fs,dw);
N=length(Fi); % Longitud de Fi[w]
% Espectro de Fi[w]
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
w=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,1)
plot(w,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] mf=0.2')

mf=0.6;
%desviacion de frecuencia
dw=mf*wm;
Fi=fmmod(f,100,fs,dw);
N=length(Fi); % Longitud de Fi[w]
% Espectro de Fi[w]
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
w=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,2)
plot(w,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] mf=0.6')

mf=1;
%desviacion de frecuencia
dw=mf*wm;
Fi=fmmod(f,100,fs,dw);
N=length(Fi); % Longitud de Fi[w]
% Espectro de Fi[w]
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
w=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,3)
plot(w,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] mf=1')

mf=5;
```

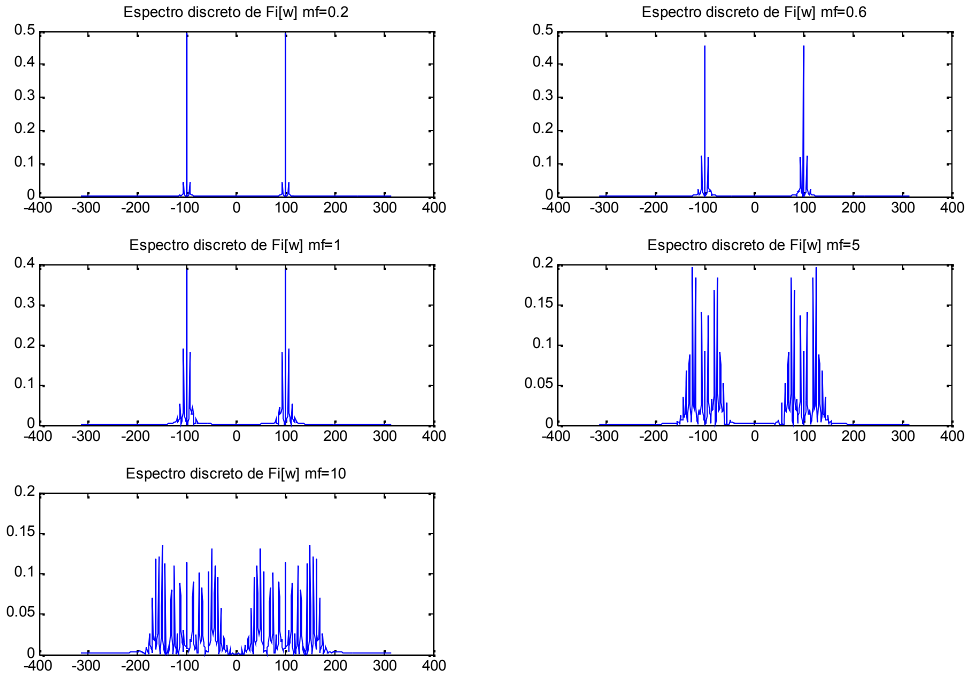
```
%desviacion de frecuencia
dw=mf*wm;
Fi=fmmod(f,100,fs,dw);
N=length(Fi); % Longitud de Fi[w]
% Espectro de Fi[w]
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
w=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,4)
plot(w,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] mf=5')

mf=10;
%desviacion de frecuencia
dw=mf*wm;
Fi=fmmod(f,100,fs,dw);
N=length(Fi); % Longitud de Fi[w]
% Espectro de Fi[w]
X=fftshift(fft(Fi,N))/N;
% Frecuencia discreta
w=linspace(-N/2,(N/2),N);
% Visualiza resultados
subplot(3,2,5)
plot(w,abs(X))
title('Espectro discreto de Fi[w] mf=10')
```

RESULTADOS.

Para el punto No 1:



Para el punto No 2:



CONCLUSIONES.

En esta practica se encontró que el espectro de frecuencias de una señal es muy importante y útil al analizar este tipo de casos ya que se observa gráficamente en el espacio de frecuencias la señal y podemos analizar si es una señal de FM de banda ancha o de banda angosta, se observo muy fácilmente que un cambio en el parámetro m_f (índice de modulación) afecta en gran medida el ancho de la banda de la señal, también se observo que en Matlab se obtienen graficas idénticas del espectro de la señal mediante el comando prediseñado fmmod y el método manual. Se observa también que cuando el índice de modulación es muy pequeño la potencia de la portadora es grande y que como prueba adicional tomamos valores donde las funciones de Bessel nos daban un cero en la potencia de la portadora lo cual representaba un aprovechamiento de la potencia en las bandas laterales.

BIBLIOGRAFÍA

http://www.monografias.com/trabajos52/modulacion-angular-y-am/modulacion-angular-y-am3.shtml#lafrecuenc

http://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_Modulada