

EL4005 Principios de Comunicaciones

Clase No.8: Modulación Angular



Patricio Parada

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

8 de Septiembre de 2010

Contenidos de la Clase (1)

Modulación Angular

- Características Espectrales

- Modulación Angular por Mensajes Arbitrarios

- Demoduladores Angulares

- Aplicaciones de FM

Resumen y Lecturas

Motivación (1)

- Conocemos en forma aproximada cómo funciona un sistema de modulación angular pero quedan varios problemas por resolver:
 - Implementación.
 - Cálculo del ancho de banda efectivo de la señal modulada para mensajes no sinusoidales.

Modulación Angular por Señales Sinusoidales (1)

- El **ancho de banda efectivo** de la señal modulada angularmente, B_c , conteniendo el 98 % de la potencia de la señal, está dado por:

$$B_c = 2(\beta + 1)f_m$$

con β el índice de modulación y f_m la frecuencia del mensaje sinusoidal.

- Es interesante estudiar el efecto de la amplitud y la frecuencia del mensaje sinusoidal en el ancho de banda efectivo y el número de armónicos contenidos en la señal modulada.

Modulación Angular por Señales Sinusoidales (2)

- Para esto, consideremos un mensaje sinusoidal dado por:

$$m(t) = a \cos(2\pi f_m t).$$

- Entonces tenemos que:

$$B_c = 2(\beta + 1)f_m = \begin{cases} 2(k_p a + 1)f_m & \text{PM,} \\ 2\left(\frac{k_f a}{f_m} + 1\right)f_m & \text{FM,} \end{cases}$$

o bien:

$$B_c = 2(\beta + 1)f_m = \begin{cases} 2(k_p a + 1)f_m & \text{PM,} \\ 2(k_f a + f_m) & \text{FM.} \end{cases}$$

Modulación Angular por Señales Sinusoidales (3)

- La relación anterior muestra que un aumento en a , la amplitud de la señal mensaje, tiene casi el mismo efecto en PM y FM en términos de incrementar B_c .
- Por otro lado, el incremento de f_m , la frecuencia de la señal mensaje, tiene un efecto más profundo, en términos de incrementar B_c , en PM que en FM: Proporcional en PM; aditivo en FM (usualmente no substancial cuando β es grande).

Modulación Angular por Señales Sinusoidales (4)

- El número de armónicos M_c presentes en el ancho de banda (efectivo) es, incluyendo la portadora:

$$M_c = 2([\beta] + 1) + 1 = 2[\beta] + 3 \begin{cases} 2[k_p a] + 3 & \text{PM,} \\ 2\left[\frac{k_f a}{f_m}\right] + 3 & \text{FM.} \end{cases}$$

- En ambos casos, un incremento en a aumenta M_c .

Modulación Angular por Señales Sinusoidales (5)

- Un incremento en f_m no afecta M_c en PM
- Disminuye casi linealmente el número de armónicos en el ancho de banda en FM.
- Lo anterior explica la relativa insensibilidad del ancho de banda en FM con f_m :

Modulación Angular por Señales Sinusoidales (6)

- Un aumento en f_m ocasiona una disminución el el número de armónicos presentes en el ancho de banda,
- Al mismo tiempo, un aumento en el espaciado entre ellos (siendo entonces el efecto neto un leve aumento en el ancho de banda).

Modulación Angular por Mensajes Arbitrarios (1)

- Para mensajes generales $m(t)$ resulta difícil calcular el espectro de la señal modulada.
- **Regla de Carson:** relación aproximada para determinar el ancho de banda efectivo de la señal modulada B_c :

$$B_c = 2(\beta + 1)W,$$

con β el índice de modulación:

$$\beta = \begin{cases} k_p \text{ máx}[|m(t)|] & \text{PM,} \\ \frac{k_f \text{ máx}[|m(t)|]}{W} & \text{FM,} \end{cases}$$

y W el ancho de banda de la señal mensaje $m(t)$.

Modulación Angular por Mensajes Arbitrarios (2)

- En FM de banda ancha usualmente $\beta \gtrsim 5$, el ancho de banda de la señal modulada angularmente resulta ser mucho mayor que en el caso de modulación de amplitud (AM), donde éste es W (SSB) ó $2W$ (DSB o AM Convencional).

Acerca de la Implementación de (De)Moduladores Angulares (1)

- Los procesos de modulación/demodulación angulares requieren de la generación de frecuencias que no estaban presentes en la señal de entrada al modulador/demodulador.
- Así, la salida de tales sistemas posee frecuencias que no estaban presentes en la entrada y, por lo tanto, tales sistemas no pueden ser modelados como sistemas LTI (sistemas LTI no pueden producir frecuencias ausentes en su entrada).

Acerca de la Implementación de (De)Moduladores Angulares (2)

- Moduladores angulares son generalmente sistemas no-lineales variantes en el tiempo.
- Una manera de implementar moduladores FM es vía osciladores cuyas frecuencias cambien con los voltajes de entrada.
- Cuando el voltaje de entrada es cero, el oscilador genera una salida sinusoidal de frecuencia f_c ; cuando el voltaje de entrada cambia, la frecuencia de la salida cambia correspondientemente.
- Estos dispositivos son llamados *Osciladores Controlados por Voltaje* (VCOs: Voltage-controlled Oscillators).

Acerca de la Implementación de (De)Moduladores Angulares (3)

- Demoduladores FM pueden ser implementados por ejemplo vía la generación de una señal AM, cuya amplitud es proporcional a la frecuencia instantánea de la señal FM.
- Tal señal es entonces alimentada en un demodulador AM, recuperando así la señal mensaje.

Algunas Aplicaciones de FM: Radio Y TV (1)

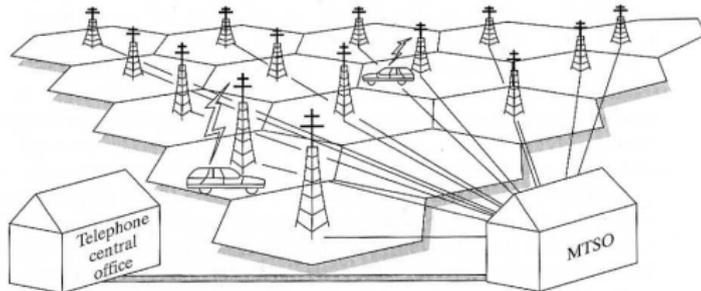
- Transmisión comercial de radio FM utiliza la banda de frecuencias 88 – 108 MHz para la transmisión de señales de voz y música.
- Las frecuencias portadoras están separadas por 200 KHz y la desviación en frecuencia máxima es fijada en 75 KHz.
- Las frecuencias reservadas para la transmisión de TV comercial están en las bandas VHF y UHF.
- El ancho de banda de canal para la transmisión de señales de TV es de 6 MHz.

Algunas Aplicaciones de FM: Radio Y TV (2)

- En contraste con la transmisión de radio, los estándares para la transmisión de señales de TV varían de país en país.
- El estándar americano es definido por la NTSC: National Television Systems Committee.
- La tabla muestra las bandas reservadas de frecuencia para la transmisión de TV comercial en EE.UU.:

Canal	Banda de Frecuencias
VHF 2-4	54-72 MHz
VHF 5-6	76-88 MHz
VHF 7-13	174-216 MHz
UHF 14-69	470-896 MHz

Sistemas Telefónicos de Comunicaciones Móviles Inalámbricas (1)



- BS: Base Station.
- MTSO: Mobile Telephone Switching Office.
- *Hand-off* entre celdas ocurre en una fracción de segundo, siendo por lo general transparente a los usuarios.

Sistemas Telefónicos de Comunicaciones Móviles Inalámbricas (2)

- Para el servicio telefónico radial, la FCC (Federal Communications Commission) asigna en EE.UU. partes de la banda de frecuencias UHF en el rango 806 – 890 MHz.
- Asignaciones similares han sido hechas en Europa y Japón.
- En la transmisión analógica de señales de voz vía radio, entre la estación base y el usuario móvil, la señal de audio de 3 KHz es transmitida vía FM usando un ancho de banda de canal de 30 KHz.
- Lo anterior representa una expansión en ancho de banda por un factor 10.
- Tal expansión es necesaria para obtener un SNR (Signal-to-Noise

Sistemas Telefónicos de Comunicaciones Móviles Inalámbricas (3)

- Sin embargo, el uso de FM no es así eficiente en términos del uso del espectro de frecuencias.
- Las nuevas generaciones de sistemas de comunicaciones telefónicos celulares emplean técnicas de transmisión digital de señales de voz digitalizadas comprimidas.

Resumen



Lecturas

- Salehi & Proakis, *Communication Systems Engineering*, Capítulo 3, secciones 3.2.5, 3.2.6, 3.4.1 y 3.4.2.