UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Escuela Técnica Superior de

Ingeniería Informática

PRÁCTICA 5:

DISEÑO DE MODULADORES (FSK), DEMODULADORES (ASK)

Tecnología Básica de las Comunicaciones
(Ingeniería Técnica Informática de Sistemas)

Departamento de Tecnología Electrónica

PRACTICA 5
DISEÑO DE MODULADORES (FSK), DEMODULADORES (ASK)

1.-OBJETIVOS

El alumno debe ser capaz de :

a) **Analizar y medir** señales moduladas en amplitud para señales analógicas y señales digitales (AM y ASK) tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia.

b) **Diseñar y medir el comportamiento** de un demodulador de envolvente para señales moduladas en amplitud (AM y ASK), verificando su correcto funcionamiento.

c) **Analizar y comprobar el comportamiento del receptor superheterodino.**

2.- ESTUDIO TEORICO

2.1-RAZONES DE LA MODULACION

Para desplazar el espectro a las frecuencias que nos facilitan los canales de comunicaciones que tiene una **característica paso banda**, por ejemplo el canal vocal telefónico que es la asignación de frecuencias entre 300-3400 Hz, la asignación de espectros de las emisoras de FM entre 88 a 108 MHz, las emisoras de AM entre 540 KHz y 1600 KHz, los teléfonos móviles alrededor de los 900 MHz y 1800 MHz, sabemos que **la frecuencia central del espectro esta situada a la frecuencia de la onda portadora**.

Para facilitar la radiación de la señal con una longitud de antena realizable que debe ser del orden de la longitud de onda (por ejemplo para antenas radiantes de AM o FM su longitud es de $\lambda/2$), debemos trasladar el espectro a frecuencias de portadora que usualmente son mas altas; por ejemplo 100 MHz en FM o 1000 KHz en AM.

Por otra parte si por un canal queremos transmitir: TV analógica y señales de datos como es el caso de modems de cable debemos procesar adecuadamente las señales de datos, canal de subida y de bajada usando moduladores digitales (por ejemplo moduladores QAM de 16 niveles) y trabajando con portadoras a diferentes frecuencias **para multiplexar en la frecuencia** los canales de Datos y la Televisión analógica. En los modems ADSL en que se transmite voz y datos a través de un canal ascendente (por ejemplo 128 Kbits/seg) y canal descendente (por ejemplo a 512 Kbits/seg), las señales de datos antes de transmitirlas se deben procesar digitalmente de forma adecuada para obtener una buena eficacia (bits/seg/Hz) y con buena calidad en la recepción en un

rango de frecuencias para canal ascendente y otro diferente para el descendente, a parte de la voz que estará en la parte baja del espectro (de 0 a 4KHz) y estarán **multiplexadas en la frecuencia** para acceder al par de hilos telefónico de nuestra casa.

Para facilitar el diseño de los equipos, por ejemplo en los receptores de radio y TV analógica, que reciben las señales moduladas, en la radio en AM o FM y en la TV:la imagen esta modulada en BLV y el sonido en FM, el sistema básico receptor es "**el receptor superheterodino"**, trasladando la señales de radiofrecuencia que recibimos a frecuencia intermedia que facilita el diseño de los amplificadores selectivos de frecuencia intermedia (cuya característica más significativa es mejorar la relación señal ruido).

En los receptores de señales radioastronómicas, uno de los primeros pasos es bajar las frecuencia de las ondas recibidas a frecuencias más bajas. Los primeros pasos de amplificación deben introducir muy poco ruido (no debemos olvidar que la señal recibida es de muy baja potencia), para conseguirlo los amplificadores deben tener un cuidadoso diseño y trabajar refrigerados con helio líquido a muy bajas temperaturas, para que el ruido térmico que introduce el equipo sea lo más bajo posible (recordar que el ruido térmico dependía de la temperatura y del ancho de banda)

2.2-MODULACION, DEMODULACION DE AMPLITUD Y DISEÑO DE UN DEMODULADOR ASK.

La modulación de amplitud se caracteriza por variar la amplitud de la onda portadora de acuerdo con la amplitud del mensaje, recordemos la expresión analítica:

$$g(t) = A_1 \cos w_c t + A_2 f(t) \cos w_c t = A_1 \left[1 + \frac{A_2}{A_1} f(t \right] \cos w_c t$$

siendo $m = \frac{A_2}{A_1}$ el índice de modulación, que **debe ser siempre menor o igual a 1 para poder recuperar la señal original (o mensaje) con un detector de envolvente,** (detector asíncrono).

El espectro de la señal modulada se desplaza alrededor de la frecuencia de portadora y su ancho de banda es el doble de la señal mensaje (sin modular, también llamada señal en banda base).

Hay dos tipos de **demoduladores**: **los síncronos y los asíncronos (detector de envolvente)**

Analizar el funcionamiento del **detector síncrono** es básico para comprender el receptor superheterodino, que se basan en la utilización de un multiplicador (mezclador) seguido de un filtro paso bajo.

En la figura 1 se observa que entra la señal modulada en AM y que se multiplica con la sinusoidal que genera el oscilador y se producen dos productos de la mezcla a la salida del multiplicador que son la señal f(t) mensaje y otra señal situada en $2f_c$.(Demostrado en la clase de teoría).

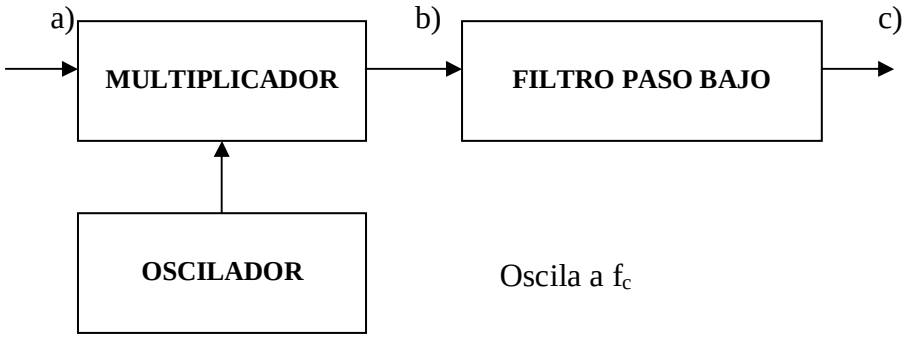

Fig 1: En a) Entra la señal modulada recibida en AM .
En b) Están los productos de la mezcla.
En c) Recupero la señal f(t) transmitida.

Detector de envolvente

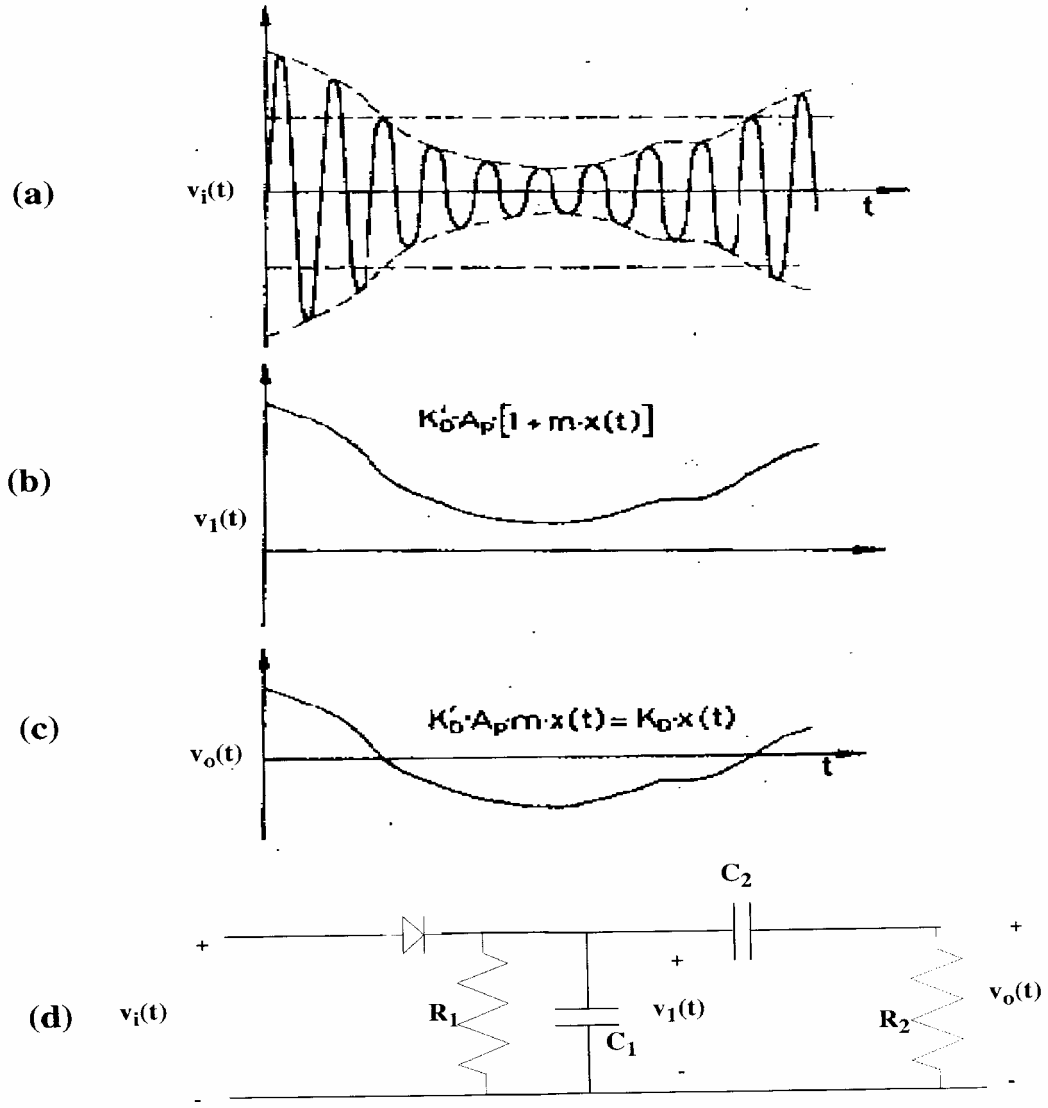

Figura 2: a) Señal modulada en AM b) Señal detectada , con nivel de continua.c) Señal original (mensaje) c) Circuito demodulador de envolvente.

En el detector de envolvente de la figura 2 se puede observar que en un primer paso realiza la detección de envolvente propiamente dicha y el filtro paso alto C_2, R_2 elimina la componente continua.

Para el diseño se deben elegir los condensadores y las resistencias de forma adecuada, **la constante de tiempo R_1C_1 debe ser mayor que $1/f_c$ y debe ser menor que la inversa de la frecuencia máxima de la señal.**

2.3-MODULACION, DEMODULACION DE FRECUENCIA Y DISEÑO DE UN DEMODULADOR FSK.

<u>En la modulación de frecuencia</u>: la amplitud de portadora permanece constante, lo que varía es la frecuencia instantánea de la señal modulada de acuerdo con la amplitud de la señal moduladora (o mensaje: f(t)).

$$\omega_i(t) = \omega_c + k_2 f(t)$$

si lo expreso en función de la frecuencia instantánea queda:

$$f_i(t) = f_c + kf(t)$$

<u>Para una señal sinusoidal</u> f(t), el **espectro de la señal** se representa en función de las funciones de Bessel, siendo $\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$.

La potencia total de la señal es $P_m = \frac{A^2}{2}$, siendo A la amplitud constante de la portadora.

El ancho de banda teórico es infinito, a mayor ancho de banda tendremos más calidad de señal, uno de los criterios es que la potencia de la señal transmitida (es decir filtrada por la emisora antes de ser emitida) contenga el 98% de la potencia media total, determinándose así las rayas espectrales significativas: $B_G = 2n_s fm$, siendo n_s el número de rayas espectrales significativas y f_m : la frecuencia de la señal sinusoidal.

<u>Para una señal de datos cuadrada</u> f(t) de amplitud +A y –A, se puede comprobar que:

$kA = \Delta f$ y $-kA = -\Delta f$ por tanto la señal modulada en FSK para la señal de datos será para: $+A \Rightarrow f_i = f_c + \Delta f$ y para $-A \Rightarrow f_i = f_c - \Delta f$

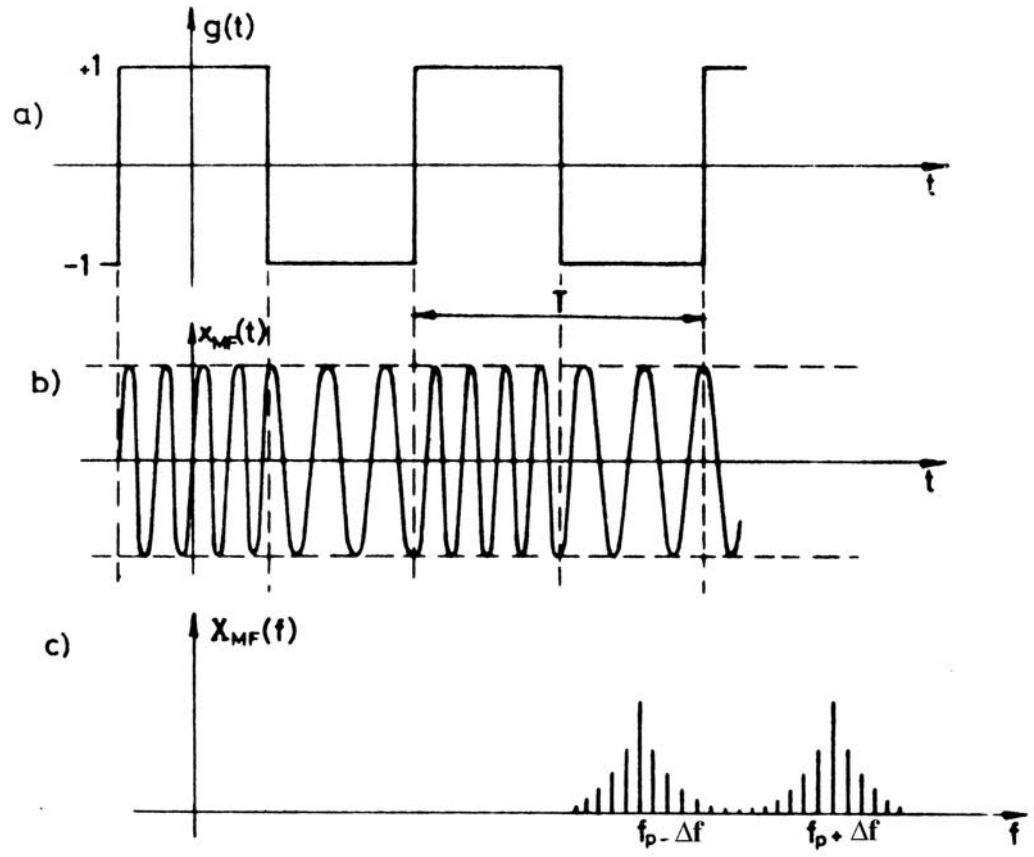

Figura 3: a) Señal digital cuadrada de+1 , -1 V de amplitud de período T.
b) Señal modulada en FSK en el dominio temporal .
c) Espectro de la señal FSK (con las rayas más significativas)

El **ancho de banda** para la señal digital de prueba (cuadrada) se puede calcular de acuerdo con diferentes criterios:

En teoría se han visto dos:

a) Por un criterio de potencia: $B_G = 2\Delta f + 2B_F$, siendo B_F el 2º cruce por cero de la señal digital de entrada.

b) Por el criterio de Nyquist : $B_G = 2\Delta f + 2B_F$, siendo $B_F = \frac{V_{simbolos}}{2} = \frac{v_b}{2}$, recordemos que esta era la condición para que no hubiera interferencia entre símbolos para la señal sin modular (señal digital de entrada del modulador).

Diseño del modulador

Si deseamos generar un modulador que genere la señal modulada en FSK de la figura 3, debemos generar dos señales sinusoidales con las frecuencias de oscilación siguientes:

$$Para + 1V \Rightarrow f_1 = f_p + \Delta f$$
$$Para - 1V \Rightarrow f_2 = f_p - \Delta f$$

Debemos por tanto usar un circuito, que conmute de acuerdo con la señal digital (de prueba) a las frecuencias f_1 y f_2.

3.-ESTUDIO PREVIO

1) Calcular y representar las señales en el dominio del tiempo y la frecuencia:
    a) Para una señal modulada en amplitud por una señal moduladora sinusoidal de 10 KHz, siendo la onda portadora de amplitud 1V y frecuencia 400KHz, siendo el índice de modulación de 0,5.
    b) Para una señal modulada en amplitud por una señal moduladora cuadrada de 1KHz y 1V pico a pico, siendo la portadora de amplitud 1V y frecuencia 400MHz, siendo el índice de modulación o profundidad de modulación de 1. Calcular el ancho de banda.

2) Calcular y representar las señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia:
    a) Para una señal modulada en frecuencia por una señal sinusoidal de 15KHz, con una onda portadora de 1V de amplitud y frecuencia 1MHz., siendo la desviación de frecuencia del modulador de 75KHz. Calcular el ancho de banda para las 3 primeras funciones de Bessel.
    b) Para una señal modulada en frecuencia por una señal digital (FSK) por una señal cuadrada de 2V pico a pico y frecuencia 10KHz, con una señal portadora de amplitud 1V y frecuencia 2MHz, siendo la desviación de frecuencia de 75 KHz. Calcular el ancho de banda.

3) Diseñar el detector de envolvente para una señal modulada por una señal moduladora sinusoidal de frecuencia 10KHz y siendo la señal portadora de amplitud 1V y frecuencia 100KHz, con un índice de modulación de 1.

4- MEDIDAS EXPERIMENTALES

1) Representar y medir las señales moduladas en amplitud del apartado 1) del estudio previo en el osciloscopio y en el analizador espectral.

2) Representar y medir las señales moduladas en frecuencia del apartado 2) del estudio previo

2) En el diseño del detector de envolvente, efectuar las medidas de las diferentes en los diferentes puntos del circuito, comprobando el correcto funcionamiento.

3) En el diseño del modulador FSK, comprobar el funcionamiento para la señal digital de entrada.