PRÁCTICA 6

ANALIZADOR DE ESPECTROS. MODULACIONES EN AMPLITUD Y FRECUENCIA

Duración estimada:	2 horas.
Objetivos de la práctica:	1. Conocer el funcionamiento básico del analizador de espectros.
	2. Reconocer las distintas señales que ocupan el espectro
	radioeléctrico.
	3. Comprender las ideas básicas de AM, FM y FSK.

6.1 El analizador de espectros.

El analizador de espectros muestra el espectro de la señal introducida, es decir, las componentes en frecuencia de ésta. Una señal sinusoidal pura tendrá un pico de amplitud en la frecuencia de dicha señal. Sin embargo, una señal cuadrada, por ejemplo, no es una señal sinusoidal pura, por lo que tendrá más componentes en frecuencia, justificadas con el desarrollo en serie de Fourier. Señales más complejas, como puede ser una canción, tendrán un espectro aproximadamente continuo en un determinado ancho de banda.

Aunque hay muchos tipos de analizadores de espectros, la mayoría de ellos utilizan tres funciones principales: un mando de CENTRADO DE FRECUENCIA, que nos dice cuál es la frecuencia del centro del visor; el SPAN, que es el rango de frecuencias que aparece en pantalla; y la AMPLITUD o INPUT LEVEL, que es el nivel de referencia de entrada: a las señales que llegan con un nivel más bajo, se les ajustará una AMPLITUD menor.

- 4.1.a) Seleccione una señal sinusoidal, de amplitud 2 V y frecuencia 500 kHz, y llévela al analizador de espectros empleando el cable BNC-BNC. Centre la frecuencia en cero y haga un SPAN de algo más del doble de la frecuencia de la señal (2 MHz), de forma que se vea claramente. Nótese que la imagen que nos interesa es la de las frecuencias positivas (el analizador muestra el rango de frecuencias negativas, además de un pico de gran amplitud en frecuencia cero). Varíe la frecuencia central para comprobar que efectivamente es la señal que se está introduciendo. Dibuje el espectro obtenido y el esperado teóricamente.
- 4.1.b) Seleccione ahora un SPAN de 5 MHz. Manipule el mando INPUT LEVEL y la amplitud de la señal del generador para ver más claramente los armónicos, que, lógicamente, tienen menor potencia que la señal principal. Esto demuestra que es muy difícil generar un tono puro. Dibuje el resultado.

6.2. Visualización del espectro radioeléctrico.

El analizador de espectros que se va a emplear para la práctica permite visualizar los picos de frecuencia de la señales radioeléctricas que utilizan el espacio como medio de transmisión a lo largo de una banda espectral que va hasta 1.5 GHz. Sólo pueden visualizarse aquellas señales que lleguen con una mínima potencia al receptor. Este nivel de potencia debe ser superior al nivel de ruido del propio aparato analizador (es la línea horizontal "ruidosa" que aparece como base del espectro en la pantalla).

Para ver el espectro puede utilizarse como antena un cable BNC-bananas, acoplado a la entrada de RF del analizador. Si no es suficiente, pruebe a acoplar una sonda de osciloscopio con un cocodrilo del generador de funciones. La calidad no será muy buena, sobre todo teniendo en cuenta las interferencias que van a producir los aparatos del laboratorio, pero es suficiente para ilustrar la ocupación del espectro radioeléctrico. En él pueden distinguirse varias bandas:

- i) De 88 a 108 MHz: banda comercial de FM.
- Alrededor de 150 MHz: emisiones no continuas (canales sin ocupación continua y sin frecuencia fija. Por ejemplo, policía). En la banda de 450 también se pueden observar estas emisiones.
- iii) Alrededor de 700 MHz: canales de TV, cada uno con la señal de video y audio. Alguna de este tipo de emisiones recibidas en el laboratorio 5 son:
 - TVE 1 con una frecuencia central de 674 MHz.
 - Antena 3 con una frecuencia central de 706 MHz.
 - Tele5 con una frecuencia central de 730 MHz.
- iv) Alrededor de 900 MHz: Banda de telefonía móvil GSM.
- 4.2.a) Sitúe el pico de continua del analizador en el extremo izquierdo para ver sólo las frecuencias positivas. Observe el espectro con el mayor SPAN posible (Full Span) después de colocar la antena. El nivel de AMPLITUD debe ser bajo, pues las señales llegan muy débiles. Realice un dibujo aproximado identificando alguna de las bandas frecuenciales.
- 4.2.b) Visualice la banda de frecuencias comerciales de FM. Para ello seleccione como frecuencia central la de la mitad de la banda de FM y un SPAN para visualizar toda la banda. ¿Cuántas emisoras puede visualizar?.
- 4.2.c) Trate de escuchar una emisora de la banda de FM comercial. Para ello, pulse el botón <u>Det/Demod</u> del analizador de espectros y después <u>Demod</u>> en el menú que aparece en pantalla. Seleccione la opción AM y gire el mando giratorio en sentido horario hasta que la inscripción en la pantalla sea <u>Dwell Time 100 sec</u>. Con el control situado en la parte inferior derecha del analizador puede regular el volumen del altavoz. Moviendo la frecuencia central del analizador podemos seleccionar una emisora u otra y modificando el SPAN mejoraremos la calidad del

audio porque filtraremos más la banda frecuencia que le pasamos al demodulador. Identifique la cadena que está escuchando ¿En que frecuencia se encuentra situada su portadora?.

- 4.2.d) A continuación vamos a ver el espectro de una señal de TV. Seleccione como frecuencia central cualquiera de los canales que se han comentado con anterioridad. Seleccione un SPAN de 8 MHz. La señal que se encuentra visualizando corresponde a un canal de televisión. Dibuje el espectro de la señal. El pico de frecuencia que se encuentra a en la parte izquierda de la pantalla corresponde a la portadora de video de la señal y el de la parte derecha la portadora de audio. ¿Cuánto están separadas ambas portadoras?. Intente escuchar la portadora de audio de la señal que está visualizando situando la portadora de audio en el centro de pantalla.
- 4.2.e) (OPTATIVO) ¿Qué ancho de banda tiene una señal de TV?. Además del ancho de banda que presentan los canales de TV tienen a ambos lados del espectro una banda de guarda para evitar que se solapen distintas emisiones. Seleccionando las bandas de TVE1 y Tele5 presentan una emisión en canal inmediatamente superior. ¿Cuánto mide la banda de guarda?

El sistema GSM es un sistema FDD/FDMA/TDMA con duplexado de las comunicaciones en frecuencia. Las bandas de operación del sistema GSM son dos, la banda de 900 MHz y la banda de 1800 MHz. Es sistema GSM de operación en la banda de 1800 MHz se denomina DCS-1800 y su comportamiento es idéntico al sistema GSM-900. Puesto que el analizador de espectros que vamos a emplear para la práctica tiene un rango que llega hasta 1,5 GHz, no nos va a ser posible visualizar la banda de 1800 MHz. El ancho de banda ocupado por el sistema GSM-900 es de 50 MHz, 25 MHz para el canal de subida, uplink, del terminal móvil a la estación base y 25 MHz para el canal de bajada, downlink, en sentido opuesto. Además ambas bandas se encuentran separadas por una banda de 20 MHz destinada a otros usos. Ver figura 1.





Figura 1: Ancho de banda del sistema GSM

Los 25 MHz de ancho de banda del sistema GSM-900 para cada sentido de la comunicación se subdividen en 124 canales de 200 kHz. Los dos canales de los extremos no se utilizan porque cada uno de los 124 canales ocupa en la práctica 270 kHz por el tipo de modulación utilizada, esto da lugar al efecto *aliassing*. El *aliassing* provocado por los canales de los extremos se produciría fuera de la banda asignada y esto no está permitido. Estos 122 canales multiplexados en frecuencia se subdividen, a su vez,

en 8 *slot* temporales. El multiplexado temporal da lugar a un total de 976 canales lógicos. Estos canales lógicos se reparten entre las estaciones bases y los terminales móviles para enviar el tráfico de control y de información.

- 4.2.f) (OPTATIVO) Centre la frecuencia en 925 MHz y haga un SPAN de 100 MHz. Identifique cuál de las bandas corresponde al canal ascendente y cual al canal descendente. Explique el razonamiento que ha seguido.
- 4.2.g) (**OPTATIVO**) Intente explicar que está visualizando. Pruebe a realizar una llamada con un terminal móvil cerca de la antena empleada. ¿Qué ocurre ahora?

6.3 Modulación en amplitud (AM)

La modulación AM se basa en que una señal de baja frecuencia (llamada *moduladora*) controle la amplitud de una señal de alta frecuencia (llamada *portadora*). La señal moduladora es la que contiene la información, mientras que la señal portadora de alta frecuencia tiene potencia pero no información. La modulación AM comienza con una señal portadora sinusoidal v_p, de frecuencia f_p y amplitud A_p:

$$v_p(t) = A_p \sin(2\pi f_p t)$$

Sin modulación, esta señal no transportaría ninguna información. El proceso AM modifica la amplitud constante A_p mediante una señal que transporte información de, por ejemplo, música, voz o datos. Como resultado, la portadora ya no será una onda de amplitud constante. Consideremos el caso en que la moduladora sea un tono de frecuencia constante f_m y amplitud A_m :

$$\mathbf{v}_{\mathrm{m}}(t) = \mathbf{A}_{\mathrm{m}} \sin\left(2\pi \mathbf{f}_{\mathrm{m}} t\right)$$

 $La \ amplitud \ de \ la \ señal \ modulada \ A_{AM} \ vendrá \ determinada \ por \ la \ amplitud \ de \ la \ portadora \ A_p \ con \ las \ fluctuaciones \ de \ la \ moduladora \ A_m:$

$$A_{AM} = A_p + v_m(t) = A_p + A_m \sin(2\pi f_m t) = A_p(1 + m \sin(2\pi f_m t))$$

Donde hemos definido *m* como el índice de modulación: $m = A_m/A_p$ y que normalmente se expresa en porcentaje. La señal modulada completa v_{AM} vendrá pues determinada por:

$$v_{AM}(t) = A_p(1 + m \sin(2\pi f_m t)) \sin(2\pi f_p t)$$

De esta expresión es fácilmente deducible que el espectro de una señal modulada en AM contiene tres componentes frecuenciales. Cuando la señal moduladora no es un tono puro sino que se trata de una señal con un cierto ancho de banda, la representación espectral que se obtiene es la siguiente:



Señal moduladora

Señal portadora

Señal modulada



- 4.3.a) (OPTATIVO) Halle las tres componentes frecuenciales de una señal modulada en AM cuando la moduladora es un tono puro. Dibuje su espectro frecuencial. Le puede ser útil la expresión $\sin(a)\cdot\sin(b) = \frac{1}{2}\cos(a-b) - \cos(a+b)$.
- 4.3.b) Conecte haciendo uso de una T BNC y dos cables BNC-BNC la salida del generador de funciones al osciloscopio y al analizador de espectros. Seleccione en el generador de funciones una modulación AM con una portadora de 100 kHz y una amplitud de 2 V_{pp}, y una señal moduladora de 20 kHz con un índice de modulación del 70 %. Esta señal se encuentra ya introducida en la memoria del generador de funciones, pregunte al profesor como rescatar dicha configuración. Ajuste en el osciloscopio una sensibilidad de 500 mV/div y 20 µs en la base de tiempos. En el analizador de espectros seleccione una frecuencia central de 100 kHz y un span de 100 kHz. Dibuje las salidas que obtiene en el osciloscopio y en el analizador de espectros. Comente los resultados. ¿Coincide la respuesta frecuencial con lo esperado teóricamente?
- 4.3.c) (**OPTATIVO**) Cuente el número de máximo o mínimos que alcanza la señal en el periodo de la señal moduladora, 50 μs, empleando el osciloscopio. ¿A que se debe este número?.
- 4.3.d) (OPTATIVO) Varíe el índice de modulación al 30 % y al 100 %. Dibuje los resultados obtenidos en el osciloscopio y en el analizador de espectros. Comente el efecto que tiene el índice de modulación en las señales y en sus componentes frecuenciales.
- 4.3.e) (OPTATIVO) Con un índice de modulación del 70 %, varíe la frecuencia de la señal moduladora a 10 kHz y a 1 kHz. Dibuje los resultados obtenidos en el osciloscopio y en el analizador de espectros. Comente los resultados.

6.4 Modulación FM

La modulación en frecuencia consiste en variar la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la frecuencia de la onda moduladora, permaneciendo constante su amplitud. La señal moduladora es la que contiene la información, mientras que la señal portadora de alta frecuencia tiene potencia pero no información.

A diferencia de la AM, la modulación en frecuencia crea un conjunto de complejas bandas laterales cuya profundidad dependerá de la amplitud de la onda moduladora. Como consecuencia del incremento de las bandas laterales, la anchura del canal de la FM será más grande que el tradicional de la onda media.

La principal consecuencia de la modulación en frecuencia es una mayor calidad de reproducción como resultado de su casi inmunidad hacia las interferencias eléctricas. En consecuencia, es un sistema adecuado para la emisión de programas (música) de alta fidelidad.

- 4.4.a) Conecte la salida del generador de funciones al osciloscopio y al analizador de espectros. Seleccione en el generador de funciones una modulación FM con una portadora de 100 kHz y una amplitud de 2 V_{pp}, y una señal moduladora de 1 kHz con una desviación en frecuencia de 20 kHz. Esta señal se encuentra ya introducida en la memoria del generador de funciones, pregunta al profesor como rescatar la configuración. Ajuste en el osciloscopio una sensibilidad de 500 mV/div y 5 µs en la base de tiempos. En el analizador de espectros seleccione una frecuencia central de 100 kHz y un span de 100 kHz. Dibuje las salidas que obtiene en el osciloscopio y en el analizador de espectros. Comente los resultados. ¿Qué diferencias observa con respecto a una modulación en amplitud?
- 4.4.b) (OPTATIVO) Seleccione el modo de medida automática de frecuencia en el osciloscopio pulsando el botón *Time* y después *Freq* en el menú que aparece por pantalla. Para señales que varían con el tiempo como las que usted está midiendo, está medida no es muy exacta, pero sí nos da una idea de la variación de la señal en frecuencia. ¿Entre qué valores varía la frecuencia? ¿Coincide con lo que muestra el analizador de espectros? ¿Y con lo esperado teóricamente?
- 4.4.c) (OPTATIVO) Varíe la desviación en frecuencia a 50 kHz y a 1 kHz. Dibuje los resultados obtenidos en el osciloscopio y en el analizador de espectros. Comente el efecto que tiene la desviación en frecuencia en las señales temporales y en sus componentes frecuenciales.
- 4.4.d) (OPTATIVO) Con una desviación en frecuencia de 20 kHz, varíe la frecuencia de la señal moduladora a 10 kHz y a 100 Hz. Dibuje los resultados obtenidos en el osciloscopio y en el analizador de espectros. Comente los resultados.

FSK (*Frequency Shift Keying*) es una modulación digital de frecuencia, en la cual la señal modulada alterna su frecuencia entre unos valores determinados, es decir, la frecuencia de la señal portadora varía de acuerdo con la señal a transmitir. En este caso, la amplitud de la señal modulada es constante, y la información la contiene su frecuencia. Es una modulación digital porque la frecuencia de salida sólo varía entre dos valores determinados y no entre un continuo de valores como lo haría en una modulación analógica de frecuencia FM.

El generador de funciones nos permite generar señales FSK. Los parámetros *FREQ* y *FSK-FREQ* son los dos posibles valores de frecuencia de la señal modulada. La tasa de cambio entre ambas, es decir, la frecuencia con que la señal de salida conmuta entre las dos frecuencias constituye la señal moduladora y puede ser generada internamente como una señal cuadrada de frecuencia *PSK-RATE* o bien una señal externa que le introduzcamos por la entrada que se encuentra en la parte posterior

4.5.a) (OPTATIVO) Conecte la salida del generador de funciones al osciloscopio y al analizador de espectros. Seleccione en el generador de funciones una modulación FSK con frecuencias F0 y F1 de 50 kHz y 100 kHz respectivamente y una amplitud de 2 V_{pp}, y una señal moduladora con una tasa de cambio de 1 Hz. Esta señal se encuentra ya introducida en la memoria del generador de funciones, pregunta al profesor como rescatar la configuración. Ajuste en el osciloscopio una sensibilidad de 500 mV/div y 5 µs en la base de tiempos. En el analizador de espectros seleccione una frecuencia central de 100 kHz y un span de 200 kHz. Comente que está observando. ¿Coincide con lo esperado teóricamente?. Mida la frecuencia con el osciloscopio ¿Qué valores obtiene?

6.6. Comentarios y sugerencias

Indiquen aquí aspectos que se podrían mejorar, nuevas ideas o propuestas (que se valorarán especialmente), o aportaciones que consideren de interés.