



Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires

66.44 Instrumentos Electrónicos

Trabajo Práctico N°1: Puntas de osciloscopios

Integrantes:

Padrón	Nombre	Email
92903	Sanchez, Eduardo Hugo	hugo_044@hotmail.com
91227	Soler, José Francisco	francisco._tw@hotmail.com
xxx	Wawrynczak, Claudio	claudiozak@gmail.com

Índice

1. Objetivo	3
2. Introducción	4
3. Desarrollo	5
3.1. Selectividad	5
3.2. Distorsión armónica de un generador de funciones	6
3.3. Distorsión por intermodulación del analizador de espectro	7
3.4. Frecuencia de conversión de un generador digital	7
3.5. Ruido de fase	7
3.6. Modulación AM	7
3.7. Modulación FM	7
3.8. Figura de ruido	9
4. Conclusiones	11

1. Objetivo

El objetivo de este trabajo práctico consiste en conocer el funcionamiento del analizador de espectro y mostrar algunos de sus múltiples usos posibles.

2. Introducción

Un analizador de espectro es básicamente un instrumento que permite visualizar la composición espectral de frecuencias de una señal de entrada. Un diagrama en bloques simplificado puede observarse en la Figura 1. En la Figura se puede observar que la señal de entrada pasa inicialmente por un atenuador y por un filtro pasabajos (cuyo uso determina sin ambigüedad el rango de frecuencias con las que se opera, aunque si se lo elimina permite extender el rango de frecuencias del analizador). Luego pasa a un multiplicador donde se multiplica con la señal generada por un oscilador local estable. A la salida del multiplicador se encuentran señales cuyas frecuencias son sumas y diferencias de las frecuencias del oscilador local y de la señal de entrada. Las componentes más relevantes se encuentran en $f = f_{osc} - f_{señal}$ y $f = f_{osc} + f_{señal}$, pero en general, cuando se utiliza el filtro pasabajo de entrada la componente que interesa es solamente $f = f_{osc} - f_{señal}$. Si alguna de estas señales producidas tiene la frecuencia del filtro pasabanda intermedio, f_{IF} , ésta es luego amplificada logarítmicamente (la escala generalmente utilizada en pantalla es en decibeles), rectificada por un detector de envolvente, filtrada por un filtro de video y es utilizada para establecer la señal vertical de la pantalla. Con respecto al eje horizontal (el de frecuencias), un generador de rampa controla su barrido de izquierda a derecha. A su vez este mismo generador se encarga de controlar la frecuencia del oscilador local, la cual varía proporcionalmente con la tensión de la rampa. De esta forma se pueden barrer las frecuencias presentes en la señal de entrada y mostrarlas en pantalla.

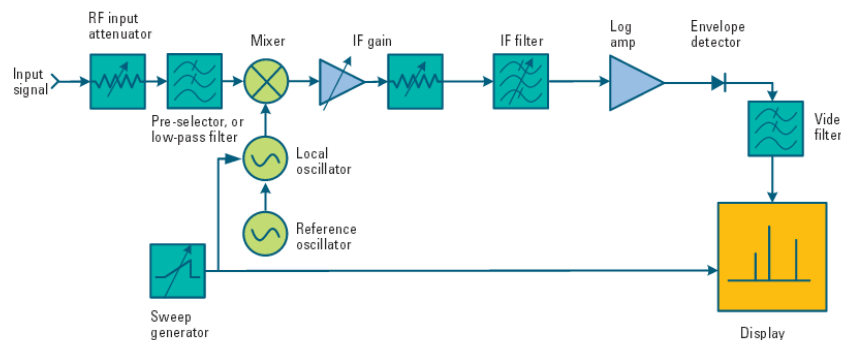


Figura 1: Diagrama en bloques de un analizador de espectro superheterodino

3. Desarrollo

Para llevar a cabo las mediciones, se utilizan los siguientes instrumentos:

- Analizador de espectro HM 5006
- Analizador de espectro PSA 6000
- Generador de funciones Agilent N9310A
- Generador de funciones Siglent SDG1050
- Cable coaxil para conexión de los instrumentos

3.1. Selectividad

La resolución en frecuencia de un analizador de espectro es su capacidad para poder distinguir 2 señales senoidales de la misma amplitud. Este valor se especifica como el ancho de banda de los filtros FI cuando su respuesta cae 3 dB. Sin embargo, si las señales están separadas en la frecuencia de resolución pero con diferente amplitud puede ocurrir que una quede enmascarada dentro de la otra. De esta manera surge otra especificación que es la selectividad, la cual se define como la relación entre el ancho de banda cuando la respuesta cae 60 dB y cuando cae 3 dB. Matemáticamente

$$S = \frac{BW(-60 \text{ dB})}{BW(-3 \text{ dB})}$$

En esta sección se obtiene la selectividad de los analizadores de espectro HM 5006 y PSA 6000 con diferentes resoluciones. Para ello se conectan por medio de un cable coaxil a un generador Agilent N9310A que produce un señal senoidal de 100 MHz. En la Tabla 1 se puede observar los resultados obtenidos. En la Figura 2 se pueden observar los espectros obtenidos por el analizador PSA 6000, utilizando resoluciones diferentes. La incerteza relativa de la frecuencia en el analizador HM 5006 es del 10 %, mientras que la del analizador PSA 6000 sigue la siguiente fórmula

$$\Delta f = \pm (f \cdot \%_{ref} + 3 \% \cdot Span + 50 \% \cdot RBW)$$

Analizador	Resolución	$BW(-60 \text{ dB})$	$BW(-3 \text{ dB})$	Selectividad
HM 5006	250 kHz	300 kHz \pm 30 kHz	900 kHz \pm 90 kHz %	3 \pm 0,6
HM 5006	20 kHz	30 kHz \pm 3 kHz %	160 kHz \pm 16 kHz %	5,33 \pm 1,07
PSA 6000	3 kHz	32,5 kHz \pm %	3,5 kHz \pm ? %	9,29 \pm ?
PSA 6000	300 Hz	3,5 kHz \pm %	250 Hz \pm ? %	14 \pm ?

Cuadro 1: Resultados obtenidos para los analizadores 5066 y PSA 6000

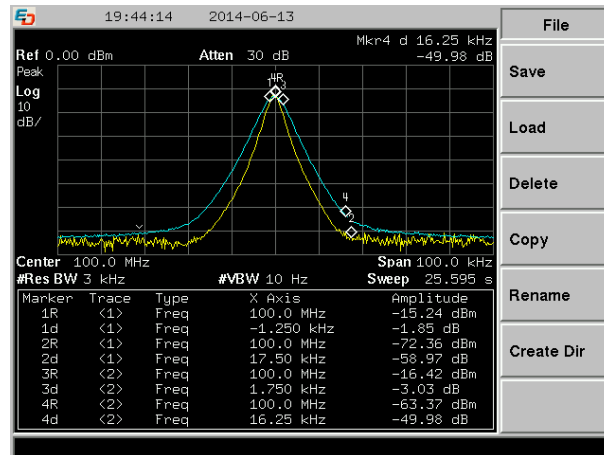


Figura 2: Espectros obtenidos con $RBW = 300 \text{ Hz}$ (en amarillo) y con $RBW = 3 \text{ kHz}$ (en celeste)

3.2. Distorsión armónica de un generador de funciones

Cuando un sistema no lineal tiene una entrada que consiste en una señal senoidal de frecuencia f_0 , a la salida de este sistema las frecuencias presentes son f_0 y múltiplos de esta frecuencia $2f_0, 3f_0$, etc, llamados armónicos de la fundamental f_0 . De esta manera se define la distorsión armónica cuyo valor da una idea de qué tan lineal es el sistema y se define como

$$THD = \frac{\sum_{n=1}^{+\infty} a_n^2}{a_0^2}$$

Donde a_n son los coeficientes de la serie de Fourier de cada componente de frecuencia f_n . En esta sección se mide la THD del generador de funciones N9310A. Para ello se conecta el generador al analizador de espectros PSA 6000 por medio de un cable coaxial. La señal del generador tiene una frecuencia de 500 MHz . En la Figura 3 se puede observar las componentes espectrales de la señal. Con lo cual puede calcularse la distorsión, despreciando los armónicos superiores al segundo

$$THD = \frac{a_1^2 + a_2^2}{a_0^2}$$

$$THD = \frac{10^{\frac{-51,35}{5}} + 10^{\frac{-65,24}{5}}}{10^{\frac{-12,89}{5}}} = 10^{-7}$$

La cual es una distorsión bastante baja. Por otra parte, el fabricante del generador asegura que las amplitudes de los armónicos se encuentran 30 dB por debajo de la amplitud de la fundamental. Esto es fácil de comprobar ya que $A_0 - A_1 = (-12,89 \text{ dB} \pm 1,5 \text{ dB}) - (-51,35 \text{ dB} \pm 1,5 \text{ dB}) = 38,46 \text{ dB} \pm 3 \text{ dB}$, en cuyo peor ($35,46 \pm \text{dB}$) caso es mayor a lo especificado.

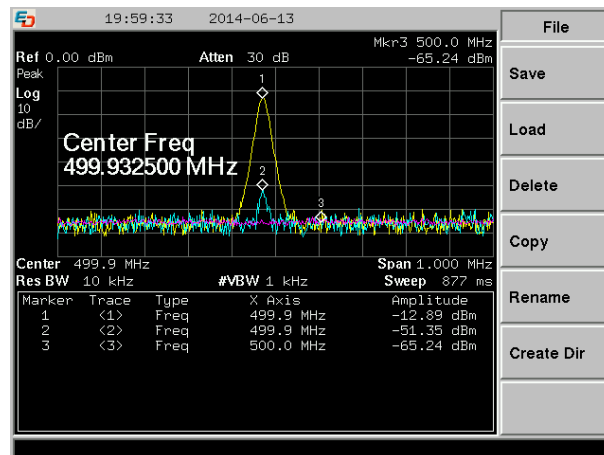


Figura 3: Frecuencia fundamental y primeros dos armónicos de la señal generada por el N9310A.

3.3. Distorsión por intermodulación del analizador de espectro

3.4. Frecuencia de conversión de un generador digital

Un generador de funciones digital, mediante un conversor digital-analógico, transforma una palabra de bits en un valor de tensión. Evidentemente esta conversión la realiza a determinada frecuencia (125 MSa/s), con lo cual es razonable que ésta componente esté presente en el espectro de la señal de salida del generador. En esta sección, se busca obtener la frecuencia de conversión, 125 MHz y su amplitud respecto de la frecuencia de salida. En la Figura 4 se puede ver la presencia de una componente residual que está $88,5 \text{ dB} \pm 1,5 \text{ dB}$ por debajo de la amplitud de la señal de entrada que es de $0 \text{ dB} \pm 1,5 \text{ dB}$. Como se esperaba su frecuencia es de $125 \text{ MHz} \pm ? \text{ MHz}$

3.5. Ruido de fase

3.6. Modulación AM

3.7. Modulación FM

Se puede demostrar que en una modulación FM, si la entrada a modular es del tipo $f_{in} = a \cdot \cos(w_{in} \cdot t)$, la señal modulada es

$$\phi(t) = A \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(m_f) \cos((w_c + n \cdot w_{in}) \cdot t)$$

Donde $J_n(\cdot)$ es la función de Bessel de orden n y m_f es el índice de modulación. En la Figura 5 se puede observar los gráficos de la función de Bessel hasta el orden 5.

Es decir que el espectro de salida ideal consiste en deltas ubicadas en $f = f_c, f_c \pm f_{in}, f_c \pm 2f_{in}, \dots$, cuyo peso está dado por $J_0(m_f), J_1(m_f), J_2(m_f), \dots$

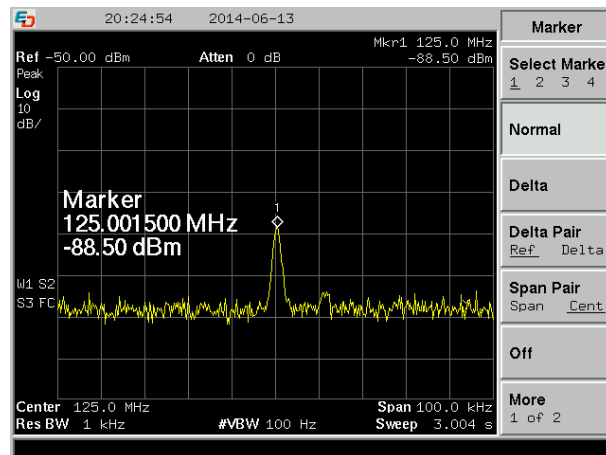


Figura 4: Espectro residual de la frecuencia del convertor digital-analógico del generador de señales.

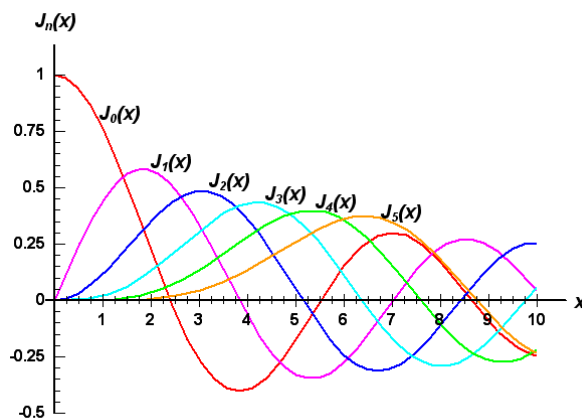


Figura 5: Funciones de Bessel.

respectivamente. Se propone encontrar los primeros dos ceros de la función de Bessel de orden 0. Esto se puede conseguir conectando un generador de modulación FM (Siglent SDG1050) al analizador de espectro PSA 6000 y modificando el índice de modulación hasta que la frecuencia portadora desaparezca (es decir, que $J_0(m_f) = 0$). El primer cero se consigue cuando $f_{\text{desvío}} = 4,8 \text{ kHz}$, es decir cuando $m_f = \frac{f_{\text{desvío}}}{f_{\text{modulación}}} = \frac{4,8 \text{ kHz}}{2 \text{ kHz}} = 2,4$. El cual es un valor bastante exacto, ya que matemáticamente el primer cero se encuentra en $z_1 = 2,4048$. El segundo cero se encuentra cuando $f_{\text{desvío}} = 11,04 \text{ kHz}$, es decir cuando $m_f = \frac{11,04 \text{ kHz}}{2 \text{ kHz}} = 5,52$. También en este caso, el resultado obtenido es muy cercano al real, el cual es de $z_2 = 5,5201$. Por otra parte en esta sección se busca comprobar la ley empírica de Carson, la cual postula que el 98 % de la potencia de una

señal está comprendida dentro de un ancho de banda de

$$BW = 2 \cdot (f_{\text{desvío}} + f_{\text{modulación}})$$

En las Figuras 6, 7 y 8, se pueden ver los espectros obtenidos para modulaciones FM con $f_{\text{desvío}} = 4,8 \text{ kHz}$, $f_{\text{desvío}} = 10 \text{ kHz}$ y $f_{\text{desvío}} = 18 \text{ kHz}$, respectivamente. El analizador de espectro posee una funcionalidad que permite setear un porcentaje de potencia de la señal modulada y devuelve el ancho de banda asociado a esa potencia.

En la Tabla 2, se pueden observar los resultados obtenidos utilizando el analizador de espectro para obtener el ancho de banda que contiene el 95 % de la potencia y el que se obtiene usando la regla de Carson.

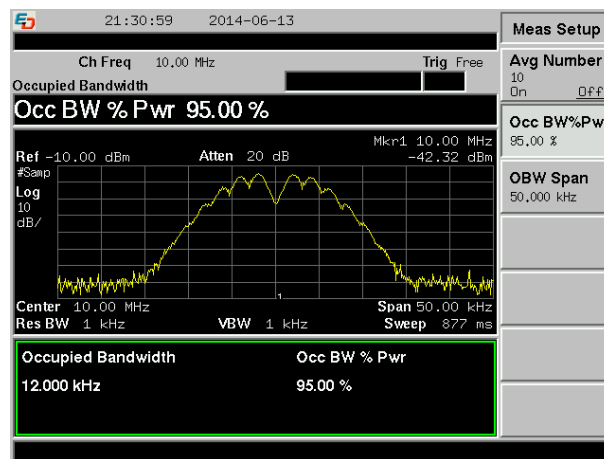


Figura 6: Espectro de una modulación FM, con $f_{\text{modulación}} = 2 \text{ kHz}$ y $f_{\text{desvío}} = 4,8 \text{ kHz}$.

$f_{\text{modulación}}$	$f_{\text{desvío}}$	$BW(\text{Carson})$	$BW(\text{PSA6000})$
2 kHz	4,8 kHz	13,6 kHz	12 kHz
2 kHz	10 kHz	24 kHz	21,6 kHz
2 kHz	18 kHz	40 kHz	37,5 kHz

Cuadro 2: Resultados obtenidos para calcular el ancho de banda de potencia

Como era esperado, de la Tabla puede notarse que el ancho de banda obtenido usando la regla de Carson es próximo al obtenido con el analizador de espectro. Por otra parte, debe notarse que el ancho de banda obtenido usando la regla de Carson es mayor, lo cual es lógico pues la potencia de la señal que abarca (98 %) es mayor que el que se calcula con el analizador de espectro (95 %).

3.8. Figura de ruido

La figura de ruido de un dispositivo se define como la degradación de la relación señal a ruido, que sufre una señal cuando pasa a través de un dispositivo.

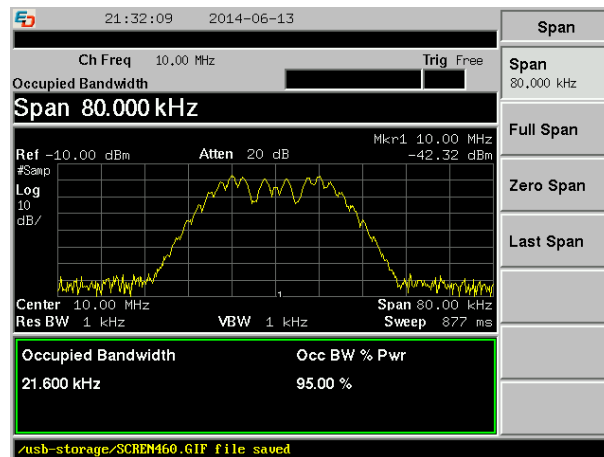


Figura 7: Espectro de una modulación FM, con $f_{\text{modulación}} = 2 \text{ kHz}$ y $f_{\text{desvío}} = 10 \text{ kHz}$.

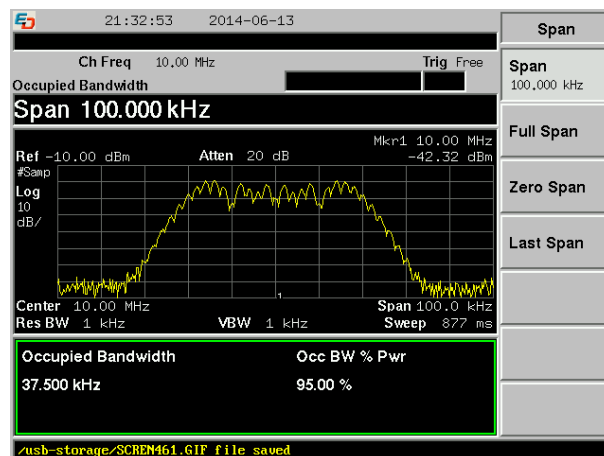


Figura 8: Espectro de una modulación FM, con $f_{\text{modulación}} = 2 \text{ kHz}$ y $f_{\text{desvío}} = 18 \text{ kHz}$.

Matemáticamente puede expresarse como

$$F = \frac{S_i}{N_i} \cdot \frac{N_o}{S_o}$$

Para el analizador de espectro, ésta expresión puede simplificarse ya que la ganancia del analizador es unitaria con lo cual $\frac{S_o}{S_i} = 1$ entonces

$$F = \frac{N_o}{N_i}$$

Colocando a la entrada del analizador de espectro una carga de 50Ω , el ruido a la entrada se convierte en

$$N_i = kTB = -174 \text{ dBm}$$

,

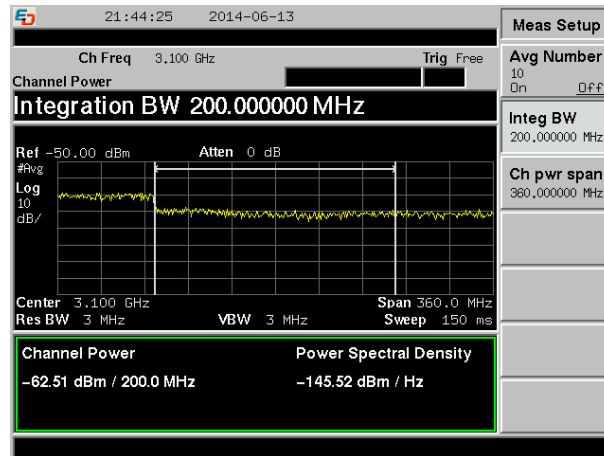


Figura 9: Ruido a la salida analizador de espectro.

4. Conclusiones