

Laboratorio de Comunicaciones Analógicas

Práctica 4: Señales Periódicas Parte 2

OBJETIVO

Analizar el efecto del ciclo de trabajo y del periodo fundamental de una señal puente periódico en el espectro de magnitud.

MATERIAL Y EQUIPO

1 Conector N, 1 cable coaxial con conectores BNC/BNC.
Analizador de espectros, generador de funciones.

INTRODUCCIÓN

En esta práctica se estudia el efecto del ciclo de trabajo, ancho del pulso y periodo fundamental en el espectro de una señal puente periódico. La señal puente periódico se define como sigue:

$$g_p(t) = \begin{cases} A_p & |t| \leq \frac{d}{2} \\ 0 & \frac{d}{2} < |t| \leq T_0 - \frac{d}{2}, \quad g_p(t) = g_p(t + T_0) \text{ con } f_0 = \frac{1}{T_0} \\ A_p & T_0 - \frac{d}{2} < |t| \leq T_0 \end{cases} \quad (1)$$

La transformada de Fourier de la señal puente periódico $g_p(t)$ se determina a través de su versión truncada $g_0(t)$, la cual se define como sigue:

$$g_0(t) = \begin{cases} g_p(t) & \text{para } |t| < T_0/2 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}, \quad (2)$$

Entonces, la transformada de Fourier de la señal puente periódico $g_p(t)$ se expresa como sigue:

$$G_p(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{T_0} G_0(nf_0) \delta(f - nf_0), \quad (3)$$

donde $G_0(nf_0)$ representa la transformada de Fourier de $g_0(t)$ evaluada en $f = nf_0$. De esta forma, la transformada de Fourier de la señal puente periódico está dada por:

$$F_p(f) = \frac{2\pi A_p d}{T_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Sa\left(\frac{n\pi d}{T_0}\right) \delta(f - nf_0), \quad (4)$$

donde $Sa(x)$ representa a la función sampling. Recuerde que $Sa(x) = \text{sen}(x)/x$.

Observe que la señal puente periódico, a diferencia de las señales periódicas estudiadas en la práctica anterior, si tiene componente espectral en $f=0$ Hz. Sin embargo, esta componente no se puede visualizar en los analizadores de espectros del Laboratorio de Comunicaciones ya que estos operan en el intervalo de frecuencias que va de 9 kHz a 1.5 GHz.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Ejercicio 1: Comparando la PSD de señales puente periódico que tienen el mismo valor del periodo fundamental y diferente valor del ancho del pulso.

- a) **Configure el generador de funciones para que tenga una impedancia de salida de 50 ohms.** Conecte en la entrada del analizador una señal puente periódico con ciclo de trabajo de 0.1, frecuencia fundamental $f_0=100$ kHz y valor pico de 1 volt. El ciclo de trabajo (CT) se define como el cociente entre el ancho del pulso y el periodo fundamental ($CT=d/T_0$). (En algunos instrumentos de medición el CT se da en porcentaje).
- b) Ajuste la frecuencia central, el nivel de referencia, y la expansión del analizador de espectros para poder observar de forma clara el espectro de la señal puente periódico. Considere una expansión que abarque 10 armónicos de la señal.
- c) Utilizando la función “**Channel Power Routine**” determine la potencia de esta señal (para esto considere el contenido espectral de los primeros diez armónicos). **No olvide considerar las componentes de frecuencia negativa en la medición de la potencia promedio de la señal.** Observe que en esta medición no se está incluyendo el contenido de potencia de la componente de corriente directa de la señal puente periódico.
- d) Utilizando promediación en el tiempo determine la potencia promedio normalizada de esta señal. Utilizando este resultado y el obtenido en el inciso anterior, y considerando que la impedancia bajo la cual se esta midiendo la potencia de esta señal es de 25 ohms, determine el contenido de potencia de la componente de corriente directa de la señal puente periódico y compárelo con el obtenido en los resultados teóricos de la tarea previa. ¿Qué porcentaje de la potencia promedio total de la señal puente periódico representa la potencia de la componente de corriente directa?
- e) Repita el experimento considerando ciclos de trabajo de 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5, manteniendo los mismos valores de frecuencia fundamental y de valor pico.
- f) Reporte sus resultados en una tabla. Adicionalmente, construya una tabla de tres columnas en las que se indique lo siguiente. En la columna 1 indique los valores del periodo fundamental, ancho del pulso y ciclo de trabajo, en las columnas 2 y 3 dibuje la forma de onda en el tiempo y el espectro de frecuencia correspondiente a cada una de estas señales. ¿Qué efecto tiene el valor del ancho del pulso en el espectro y en la potencia promedio de la señal? Compare la forma de onda del espectro de magnitud obtenido experimentalmente con la forma de onda correspondiente obtenida teóricamente.

Ejercicio 2: Comparando la PSD de señales puente periódico con el mismo valor del ancho del pulso y diferente valor del periodo fundamental.

- g) Conecte en la entrada del analizador una señal puente periódico con ciclo de trabajo de 0.5, frecuencia fundamental $f_0=1$ MHz y valor pico de 1 volt. Determine experimentalmente la PSD de esta señal. Observe que el ancho del pulso tiene un valor de 0.5 microsegundos.

- h) Ajuste la frecuencia central, el nivel de referencia, y la expansión del analizador de espectros para poder observar de forma clara la PSD de la señal periódica. Considere una expansión que abarque 10 armónicos de la señal.
- i) Utilizando la función “*Channel Power Routine*” determine la potencia de esta señal (para esto considere el contenido espectral de los primeros diez armónicos). **No olvide considerar las componentes negativas de frecuencia en la medición de la potencia promedio de la señal.** Recuerde que en esta medición no se está incluyendo el contenido de potencia de la componente de corriente directa de la señal puente periódico.
- j) Utilizando promediación en el tiempo determine la potencia promedio normalizada de esta señal. Utilizando este resultado y el obtenido en el inciso anterior, y considerando que la impedancia bajo la cual se esta midiendo la potencia de esta señal es de 25 ohms, determine el contenido de potencia de la componente de corriente directa de la señal puente periódico y compárelo con el obtenido en los resultados teóricos de la tarea previa. ¿Qué porcentaje de la potencia promedio total de la señal puente periódico representa la potencia de la componente de corriente directa?
- k) Repita el experimento considerando los siguientes casos de frecuencia fundamental y ciclo de trabajo de la señal puente periódico: 1) $f_0=500\text{kHz}$, $CT=0.25$, 2) $f_0=250\text{kHz}$, $CT=0.125$, 3) $f_0=100\text{kHz}$, $CT=0.05$, 4) $f_0=50\text{kHz}$, $CT=0.025$. En todos los casos utilice una amplitud pico de 1 volt. Observe que en los cuatro casos el ancho del pulso permanece a un valor constante de 0.5 microsegundos, mientras que el periodo fundamental va en aumento.
- l) Reporte sus resultados en una tabla. Adicionalmente, construya una tabla de tres columnas en las que se indique lo siguiente. En la columna 1 indique los valores del periodo fundamental, ancho del pulso y ciclo de trabajo, en las columnas 2 y 3 dibuje la forma de onda en el tiempo y el espectro de frecuencia correspondiente a cada una de estas señales. ¿Qué efecto tiene aumentar el valor del periodo fundamental en el espectro y en la potencia promedio de la señal puente periódico?

Tarea Previa.

- (a) Usando promediación en el tiempo [ecuación (4)], encuentre la potencia promedio normalizada para la señal puente periódico definida por la ec. (9). (b) En el intervalo $-3T_0 < t < 3T_0$, dibuje la forma de onda en el tiempo de esta señal. (c) Determine el valor promedio de esta señal, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Valor medio} = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f_p(t) dt \quad . \quad (11)$$

- (d) Encuentre la transformada de Fourier y dibuje el espectro de magnitud de la señal puente periódico. Para esto último considere que $d/T_0=0.1$, $f_0=100\text{ kHz}$ y $A_p=1\text{ volt}$.

Referencias bibliográficas.

- [1] Leon W. Couch, “Sistemas de comunicaciones digitales y analógicos”, Pearson Educación, 5ª ed.1998.
- [2] Hwei P. Hsu, “Análisis de Fourier”, Prentice Hall, págs. 1-5, 52-68, 110-113, 173.