

FFT Y EL OSCILOCOPIO DIGITAL

F. Ramón Díaz Villalaz

Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de los Valles
Laboratorio de electrónica
Carretera Guadalajara-Ameca Km 45.5 C.P. 46600,
Apartado postal N° 200 . Ameca, Jal. México
www.cuvalles.udg.mx

RESUMEN

Se describe el uso del osciloscopio digital marca *Tektronix* para determinar los armónicos de una señal periódica, el objetivo principal es facilitar al alumno la aplicación de sus conocimientos teóricos a la parte práctica e incrementar su desempeño con la utilización de una serie de instrumentos de laboratorio.

Se citan además las herramientas que se utilizarán en este tutorial y finalmente ejemplos de aplicación.

1. INTRODUCCIÓN

La transformada de Fourier encuentra su aplicación prácticamente en todas las ramas de la ingeniería, este documento sólo pretende demostrar en un principio, que la parte teórica se verifica con la práctica de laboratorio.

Para su desarrollo será necesario no sólo la utilización y el manejo de las herramientas de cálculo y los conocimientos teóricos necesarios, sino el equipamiento de un laboratorio en donde el alumno realice sus *proyectos de investigación y desarrollo* además de corroborar su comprensión de la parte teórica.

2. OBJETIVOS

Esta serie de tutoriales están diseñados para ilustrar y demostrar los experimentos con señales reales y la utilización de *equipos de laboratorio*.

Los experimentos serán progresivos y el alumno podrá acceder desde cualquier punto que exista una red de Internet.

El *enfoque principal* es que el alumno desarrolle habilidades para crear sus proyectos de investigación utilizando las herramientas disponibles en el laboratorio de electrónica.

3. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para el desarrollo de esta práctica de laboratorio se utilizaran básicamente dos tipos de herramientas; por un lado la herramienta matemática *Mathcad* y por otro lado dos instrumentos de laboratorio; el osciloscopio digital de última generación marca *Tektronix* y el generador de señales marca *Instek*.

3.1 Herramienta Matemática

MathCad. Se trata de un programa para cálculo matemático, el cual se puede obtener de forma gratuita en su versión estudiantil, también se puede adquirir la versión profesional; cuenta además con librerías electrónicas como: procesamiento de señales digitales, teoría electromagnética, circuitos eléctricos etc.

No es necesario aprender ningún lenguaje de programación, ya que Mathcad usa una notación "real" escribiendo las ecuaciones directamente o bien seleccionándolas de las distintas barras y paletas de herramienta. El resultado de las ecuaciones se modifica automáticamente cuando se modifica el valor de alguna variable. También permite la representación gráfica de funciones.

3.2 Conocimientos teóricos

Para realizar la práctica se requiere que el alumno este familiarizado con la *transformada rápida de Fourier* y la utilización del Mathcad, además de los conocimientos básicos del manejo del osciloscopio y generador de funciones.

4. LABORATORIO

4.1 Descripción de la práctica

Este experimento demostrará que una señal periódica cuadrada o rectangular se puede descomponer en infinitos armónicos de acuerdo con la serie de Fourier, para el primer caso demostraremos que se generan armónicos impares, con una amplitud y frecuencia que se calcularán previamente con Mathcad, para el segundo caso la amplitud y numero de armónicos dependerá del ancho del pulso y no será tema de este reporte.

4.2 Parámetros

Para una señal cuadrada con amplitud de 5.0 Vpp y frecuencia de 1 KHz, se pide obtener tanto en forma teórica como práctica lo siguiente:

- Graficar la señal en el dominio del tiempo.
- Hallar la representación de la señal en el dominio de la frecuencia mediante serie de Fourier (trigonométrica o compleja).
- Graficar el espectro de magnitud de la señal identificando las magnitudes de cada armónico.

La estación de trabajo utilizada se muestra en la figura siguiente:



Fig.1. Estación de trabajo: osciloscopio digital, generador de funciones y PC.

4.3 Procedimiento previo

Determinamos los coeficientes de Fourier para una señal cuadrada utilizando Mathcad, de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$c(n) := \text{if} \left(n \neq 0, 2 \cdot \frac{V \cdot \frac{T_b}{T} \cdot \sin\left(n \cdot \pi \cdot \frac{T_b}{T}\right)}{n \cdot \pi \cdot \frac{T_b}{T}}, \frac{V \cdot T_b}{T} \right)$$

Una vez realizados los cálculos de los armónicos y la magnitud de sus coeficientes, se calculan los niveles de los armónicos en decibels; como se puede observar de la figura 2, los armónicos pares no aparecen sólo armónicos impares. (0dB = 1 Vrms)

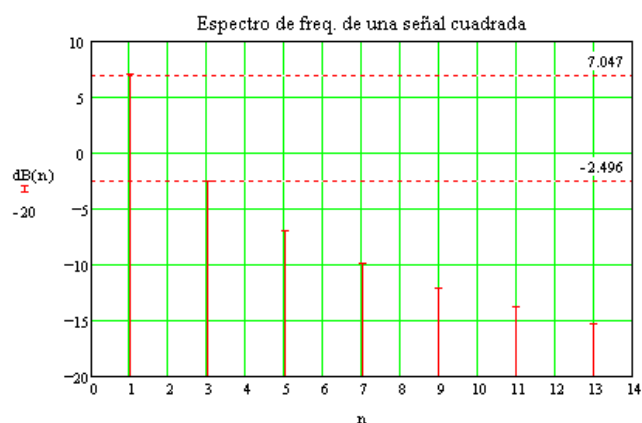


Fig.2. Gráfica en Mathcad del espectro de una señal cuadrada.

Los niveles y frecuencias de los armónicos se detallan en la tabla 1:

Tabla 1

Forma de Onda	Termino de CD	fundamental	3° Armónico	5° Armónico	7° Armónico	9° Armónico	11° Armónico	3° Armónico
Cuadrada		7.05 dB	-2.5 dB	-6.9 dB	-9.8 dB	-12.0 dB	-13.7 dB	-15.2 dB
frecuencia		1 Khz.	3 Khz.	5 Khz.	7 Khz.	9 Khz.	11 Khz.	13 Khz.

4.4 Prueba de laboratorio

4.4.1 Parámetros del generador de señales:

- Forma de onda cuadrada
 - Frecuencia: 1KHz.
 - Vpp: 5.0 V
 - DC Offset: Termino de CD que se añade a la señal (para nuestro caso es de 0 V)
- Importante:* conectar el cable coaxial a el terminal OUTPUT, no utilizar el terminal denominada SYNC.

4.4.2 Parámetros del osciloscopio digital

- Canal 1, *ajustar la punta de prueba (sonda)*, pulse tecla *default setup*, posteriormente presione *Autoset* aparece la figura 3. **Nota:** (un ajuste incorrecto realiza mediciones incorrectas).
- Presione CH1 MENU, asegúrese que en *Coupling* aparezca DC, *BW Limit* ON 20 MHz, *Volts/Div* en Coarse o Fine, probe 10X voltaje y por ultimo *Invert* en off, como se muestra en la figura 4.
- Presione tecla MATH MENU, en el menu *Operation* cámbielo hasta que aparezca la función *FFT*, en *Window* utilice la ventana *Flattop*, *FFT Zoom* debe estar en X1.
- Aparece letrero en la parte superior derecha de la pantalla, *Pos: 125 KHz* esto significa que la frecuencia que se encuentra centrada a la mitad de la retícula esta fija en 125 KHz, observe el puntero en la parte superior, la frecuencia máxima desplegada es de 250 KHz, note además que se cumple la frecuencia de muestreo de Nyquist (500 KS/s) figura 5. **Nota:** esta resolución hace prácticamente difícil las mediciones (25 KHz por recuadro)
- Gire la perilla SEC/DIV hacia el lado izquierdo hasta que aparezca en la parte superior derecha de la pantalla, *Pos: 25 KHz.*, con esto logramos ver en la pantalla hasta 50 KHz, 5KHz por recuadro, ver figura 6.
- Para obtener una mayor definición de los armónicos, observe el puntero *M* (parte izquierda de la retícula) en posición central de la misma, la idea es limitar el piso de ruido bajando ese puntero a un nivel que nos permita hacer nuestras mediciones de forma mas clara.
- Seleccionar el botón CURSORES, presione en la ventana *Source* hasta que aparezca *MATH*.
- En *Type* asegure de tenerlo en *Magnitude* y gire la perilla MANDO MULTIUSO (que está activa cuando enciende el led verde) hasta hacerla coincidir con el puntero *M*, observándose que el nivel es de -14.9 dB. Con ese nivel podemos observar además del término de CD solamente 5 armónicos arriba del mismo. Ver figura 6.
- El cálculo se realizo hasta el armónico 13 sin embargo podemos observar claramente hasta el armónico 29.
- Para mover el puntero *M* utilice el cursor de *posición vertical* para el canal 1 bájelo dos retículas abajo de su posición central, el valor si lo medimos sigue siendo de -14.9 dB como se aprecia en la figura 7.
- En *Type* seleccione hasta que aparezca *Frequency*, aparecen dos cursores que podemos mover cada uno de acuerdo al que se encuentre activo con la perilla MANDO MULTIUSO.
- Si localizo la fundamental con el cursor ésta se amarra con un rectángulo rojo horizontal en la parte máxima del armónico y despliega el valor de 1 KHz a 7.05 dB. El cursor 2 esta en 3 KHz. con un nivel de -2.55 dB. Ver figura 8.
- En 5 KHz, se localiza un nivel de -6.95 dB; en 7 KHz, -9.75 dB; en 9 KHz, -12.1 dB; en 11 KHz. -13.7dB. Finalmente en 13 KHz oscila entre -14.9 a -15.3 dB.

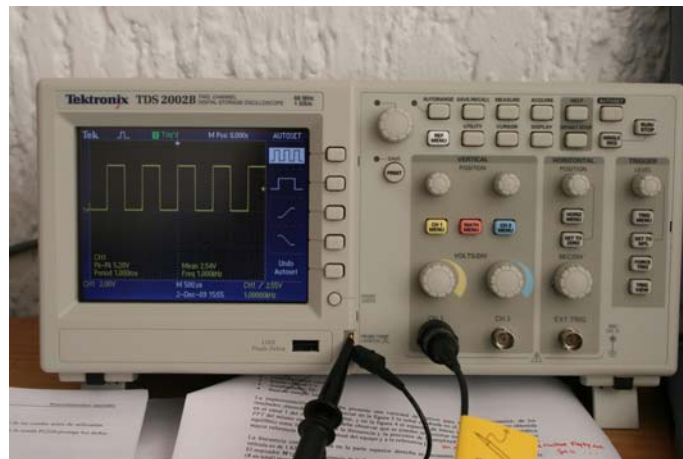


Fig.3. Punta de prueba del osciloscopio ajustada con su propia señal.

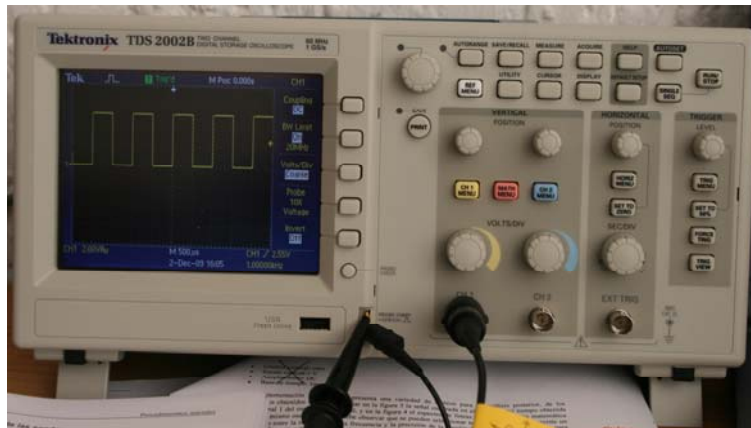


Fig.4. Señal cuadrada en el canal 1.

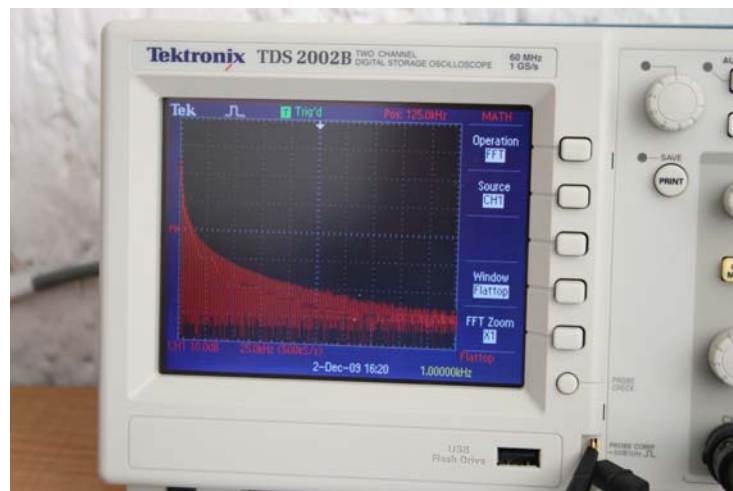


Fig.5. FFT de la señal de la figura 4.



Fig. 6. Armónicos de la señal cuadrada.

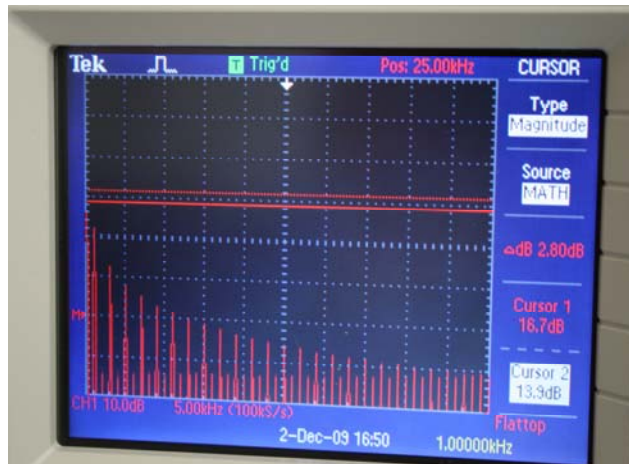


Fig. 7. Puntero M.

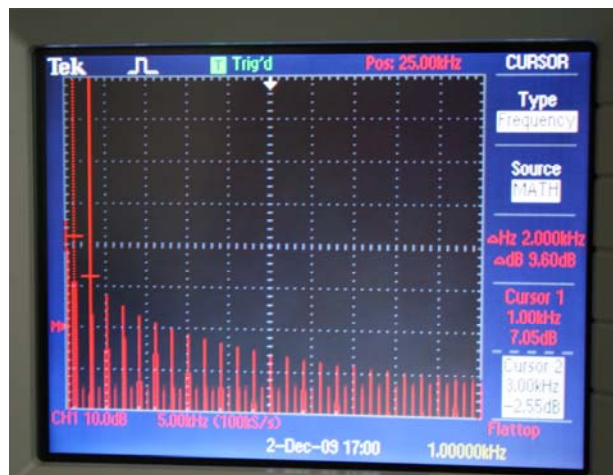


Fig.8. Magnitud de la fundamental y tercer armónico.

Se debe observar que se pueden seleccionar tres tipos de ventanas, existe un equilibrio entre la resolución de la frecuencia y la precisión de la amplitud en cada tipo de ventana, para mayor referencia consulte el manual del equipo y la referencia [3]. **Nota:** En nuestro caso utilizamos la ventana *Flattop* que es la de mejor precisión en magnitud

5.- EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Una vez comprendido este experimento se puede ampliar el conocimiento con las siguientes aplicaciones:

- Determinación de la densidad espectral de potencia de una señal NRZ.
- Convertidores A/D y D/A.
- Patrones de radiación de antenas.
- Análisis de un sistema de comunicación (determinación del ancho de banda).

6. CONCLUSIONES

La realización de la práctica presenta una variedad de tópicos para su análisis posterior, de los resultados obtenidos se concluye que la prueba prácticamente esta apegada al modelo matemático.

Una vez comprendido el aspecto *teorico-practico*, el alumno debe ser capaz de manipular tanto la ecuación como la comprensión del fenómeno, es decir, deberá comprender que una señal periódica cuadrada contiene infinitos términos armónicos los cuales imposibilitan teóricamente la transmisión de esta señal.

Si esta señal es una señal NRZ dentro de una tarjeta electrónica, las pistas de la misma contienen capacitancias parásitas distorsionando la forma de onda original.

En el proceso del diseño de un receptor invariablemente incluye el cuestionamiento del ancho de banda, si el mismo es pequeño los componentes de alta frecuencia de la señal transmitida serán atenuadas y la señal distorsionada, si el ancho de banda es grande, un nivel mayor de ruido será aceptado degradando la relación S/N.

Conociendo el *contenido espectral* de las señales a ser recibidas, la decisión del ancho de banda requerido será en proporción a los componentes críticos (armónicos) de la señal.

Referencias

- [1] Mathcad, Manual de usuario, MathSoft,Inc, <http://www.mathsoft.com/>
- [2] Manual del Usuario Osciloscopio digital series TDS 1000B, TDS 2000B y MSO 4000. www.tektronix.com
- [3] Introducción al análisis espectral, Juan E San Martín
- [4] AN3455 Spectral content of NRZ test patterns, Maxim Integrated Products, Inc.