

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

22.42 LABORATORIO DE ELECTRÓNICA

Trabajo Práctico N°5

Grupo 3

BERTACHINI, Germán	58750
LAMBERTUCCI, Guido Enrique	58009
LONDERO BONAPARTE, Tomás Guillermo	58150
MECHOULAM, Alan	58438
SCAPOLLA, Franco	58465

Profesores

COSSUTTA, Pablo Martín
WEILL, María Alejandra
SALVATI, Matías

Presentado: 19/11/19

Índice

1. Medición de distorsión armónica	2
1.1. Introducción	2
1.2. Medición de distorsión armónica	2
1.3. Conclusiones	4
2. Análisis de señales	4
2.1. Señal Cuadrada	4
2.1.1. Cálculo Analítico	4
2.1.2. Simulación del Espectro	4
2.1.3. Medición	5
2.1.4. Cálculo del Duty-Cycle	5
2.2. Señal Triangular	5
2.2.1. Cálculo Analítico	5
2.2.2. Simulación del Espectro	6
2.2.3. Medición	6
2.3. Tren de Pulso	6
2.3.1. Cálculo Analítico	6
2.3.2. Simulación del Espectro	6
2.3.3. Medición	7
2.4. Conclusiones	7

1. Medición de distorsión armónica

1.1. Introducción

En el presente trabajo de laboratorio se realizaron distintas mediciones utilizando el analizador de espectros. En primer lugar se compararó la distorsión armónica presente en distintos generadores de funciones; se procedió al análisis del espectro de algunas formas de ondas conocidas, como la cuadrada con duty cycle de 50 %, la triangular y el tren de pulsos; posteriormente se modularon señales en AM y en FM y se observaron los espectros resultantes; por último se analizó el espectro de un sinc y un tren de deltas.

1.2. Medición de distorsión armónica

Como primera experiencia se midió la distorsión armónica (THD) de distintos generadores de funciones disponibles en el laboratorio. Para esto se generó una señal senoidal de 1 MHz y 350 mVpp de amplitud, con el OUT TERM en HiZ; como la impedancia del analizador de espectros es de 50Ω , la señal que llegó al analizador fue de aproximadamente 175 mVpp ya que la mitad de la tensión cae sobre la impedancia del generador utilizado de 50Ω . Una vez realizadas las mediciones, se compararon los valores de THD obtenidos con los recuperados de las hojas de datos de los fabricantes. Para el cálculo, se tomó la definición de THD como:

$$THD = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_i}{P_0} \quad (1)$$

donde P_0 representa la potencia del armónico fundamental, y P_i la potencia del i-ésimo armónico.

Generador	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Picotest	-10dBm	-65dBm	-85dBm	NOAPR	NOAPR	NOAPR
Agilent	-11.4dBm	-55dBm	NOAPR	NOAPR	NOAPR	NOAPR
GW	-12.4dBm	-30dBm	-40dBm	-51dBm	-58dBm	-60dBm

Tabla 1: Tabla de mediciones realizadas. NOAPR significa potencia no apreciable o por debajo del piso de ruido del analizador de espectros.

Luego de medir todas las potencias de los fundamentales y armónicos de los generadores *Agilent3320a*, *PicotestG5100a* y *GWGFGG8019G* se calcularon las distorsiones armónicas de cada uno, resultando:

Picotest	THD
Datasheet	$\leq 0.06\%$
Medido	0.000319 %

(a) Mediciones del THD del picotest.

Agilent	THD
Datasheet	$\leq 0.04\%$
Medido	0.0044 %

(b) Mediciones del THD del agilent.

Agilent	THD
Datasheet	—
Medido	0.0044 %

(c) Mediciones del THD del GW.

Figura 1: Mediciones de la distorsión armónica total de los generadores. No se encontró hoja de datos para el generador GW.

A continuación se incluyen algunas imágenes de lo observado en el analizador de espectros. En las Figuras (2), (3) y (4) se presentan los picos para el generador Agilent; notamos que ya el segundo armónico es indistinguible. En las Figuras (5) se puede observar el espectro del generador Picotest, donde se aprecia que ya el segundo armónico tiene una amplitud muy Baja. No se puede observar un tercer armónico. Para el generador marca GW pudieron observarse más armónicos. En las Figuras (6) y (7) se observan el segundo y tercero armónico, respectivamente.

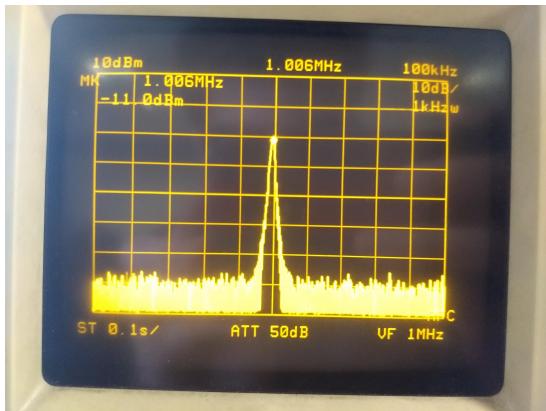


Figura 2: Armónico fundamental para el generador Agilent

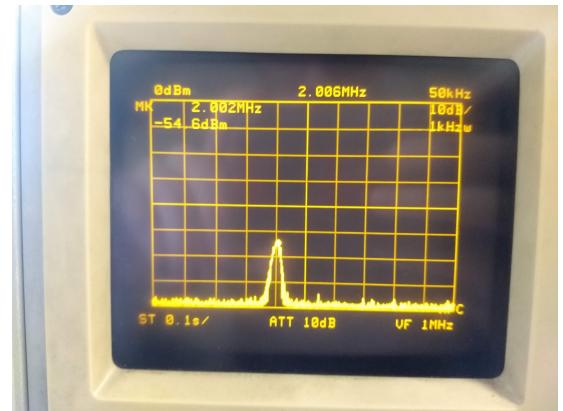


Figura 3: Primer armónico para el generador Agilent

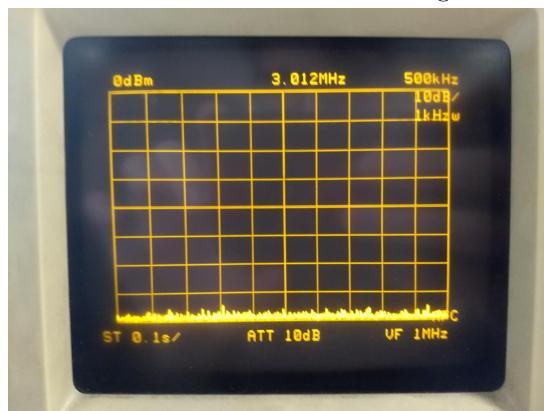


Figura 4: Segundo armónico para el generador Agilent

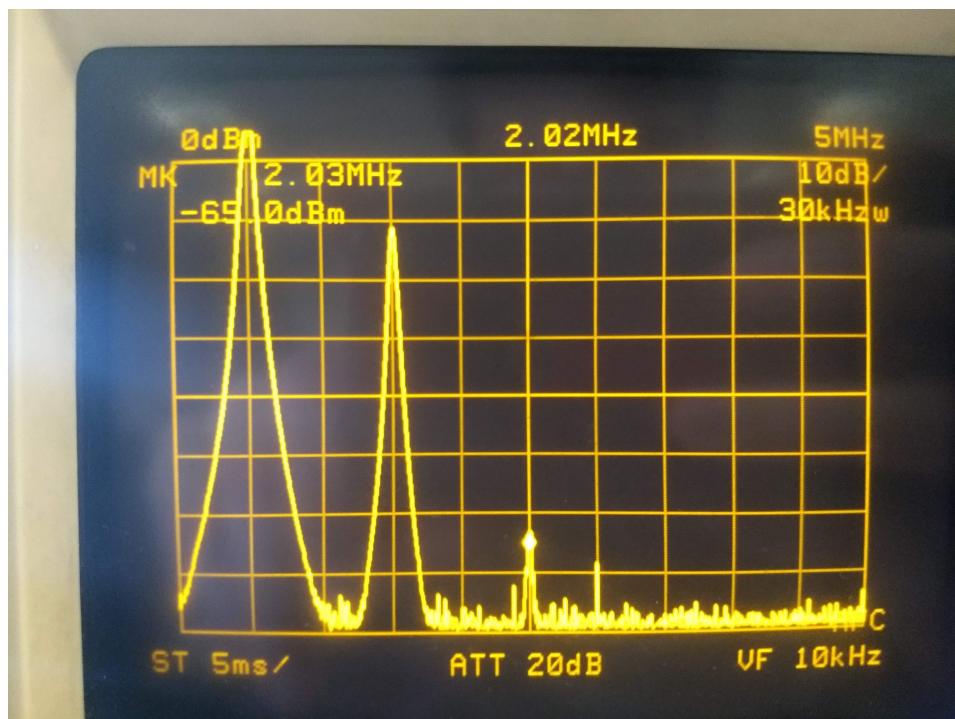


Figura 5: Espectro para el generador Picotest



Figura 6: Segundo armónico para el generador GW

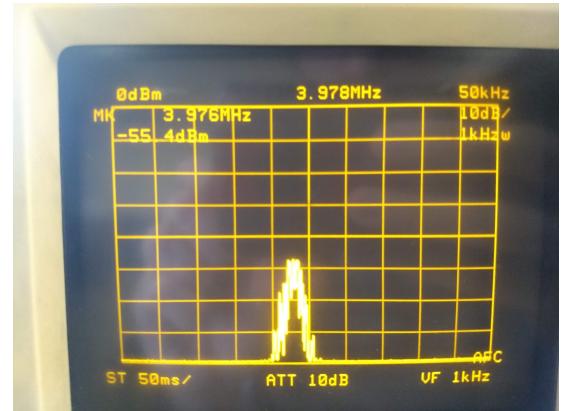


Figura 7: Tercer armónico para el generador GW

1.3. Conclusiones

Se puede concluir mediante las mediciones tomadas de los tres generadores de la distorsión armónica total que en este aspecto el generador de mayor calidad es el Agilent ya que no solo la distorsión armónica total calculada es menor a la de los otros tres tanto en la hoja de datos como efectivamente en la medición realizada. En este generador no eran apreciables los armónicos de orden mayor al primero debido al piso del ruido del analizador de espectros aún así con el atenuador en su mínima configuración. Luego, el generador cuya calidad se encuentra entre los otros dos es el Picotest, mientras que por un gran margen el generador GW es el de menor calidad.

2. Análisis de señales

2.1. Señal Cuadrada

Para esta sección se utilizó una señal cuadrada de $350mV$ y con un DC del 50% . Esta señal fue generada con el generador de señales Agilent.

2.1.1. Cálculo Analítico

Sea una señal cuadrada $f(t)$ de amplitud A y frecuencia f_0 , el desarrollo en serie de Fourier para esta señal es:

$$f(t) = \frac{A}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2A}{n\pi} \sin(2\pi n f_0 t) \quad (2)$$

Luego, $X_n = \frac{2A}{n\pi}$ representan los coeficientes de la serie de Fourier de la onda cuadrada para $n > 1$. Notemos, además, que para múltiplos pares de la frecuencia fundamental la señal se anula. Luego se verán únicamente armónicos impares en el espectro.

2.1.2. Simulación del Espectro

Se realizó una simulación del espectro de una señal cuadrada con frecuencia $1MHz$ y amplitud $350mV_{pp}$. En la figura (8) se puede observar el resultado de dicha simulación. Nótese que efectivamente no hay presentes armónicos pares.

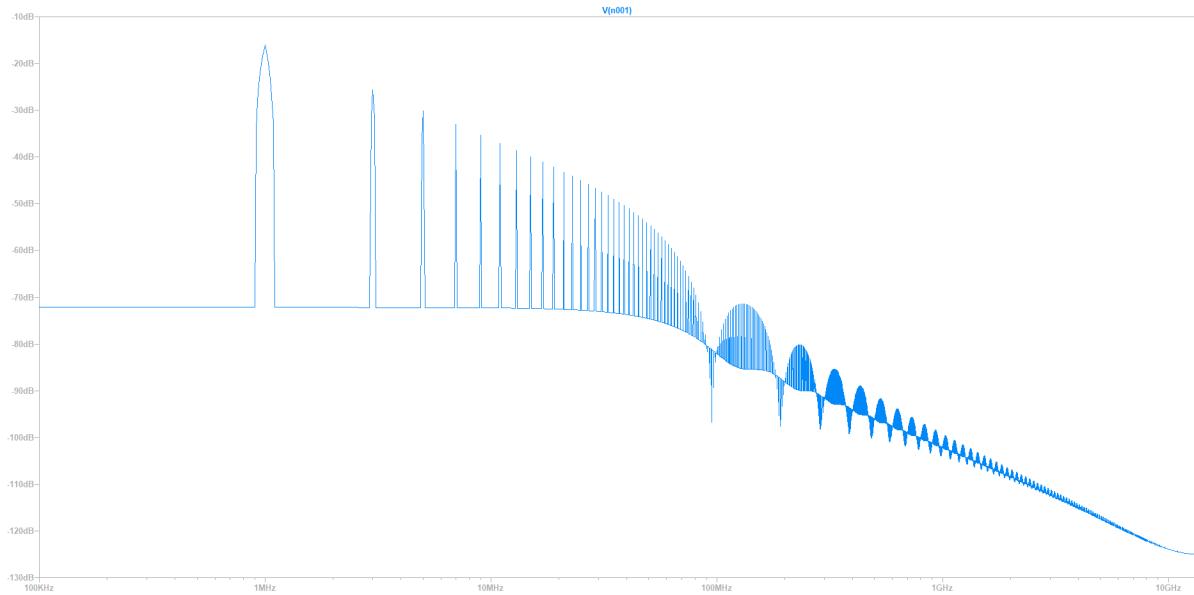


Figura 8: Simulación del espectro de una señal cuadrada.

2.1.3. Medición

Las mediciones se llevaron a cabo utilizando el marcador del dispositivo el cual al posicionarlo sobre el armónico que se quiere medir muestra la frecuencia y la potencia de este en dBm . A continuación se presentan las mediciones realizadas con el analizador de espectro:

0,982MHz	1,981MHz	2,98MHz	3,98MHz	4,98MHz	5,979MHz	6,979MHz	7,978MHz	8,979MHz	9,979MHz	10,978MHz
-11.2dBm	-63dBm	-18.2dBm	-62.8dBm	-22.6dBm	-63.8dBm	-30.2dBm	-63.4dBm	-27.6dBm	-61.4dBm	-32.6dBm

Puede observarse cómo los armónicos múltiplos pares de la frecuencia fundamental tienen una potencia muy baja comparado con los impares. Esto se corresponde con la teoría.

2.1.4. Cálculo del Duty-Cycle

Se entiende por duty cycle o ciclo de trabajo a la relación entre el tiempo en que la señal está activa y el período de dicha señal. Expresado en porcentaje, puede variar desde 0 % hasta 100 %. Matemáticamente, para una señal cuadrada el ciclo de trabajo D puede expresarse como $D = \frac{\tau}{T} \cdot 100\%$, donde τ es el tiempo en que la señal está activa y T es el período.

Luego, podemos escribir el pulso cuadrado con un Duty Cycle determinado por τ como

$$x(t) = A\Pi(t - \frac{\tau}{T}) \quad (3)$$

cuya serie de Fourier puede expresarse como

$$x(t) = \sum_{n \text{ impar}} \frac{2A}{\pi n} \sin\left(\frac{\pi n \tau}{T}\right) \quad (4)$$

Luego, como los armónicos pares se anulan, tenemos $\sin\left(\frac{\pi n \tau}{T}\right) = 0$ si $n = 2k$ con k entero. De ahí se deduce que $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{2}$, de donde el Duty Cycle es del 50 %

2.2. Señal Triangular

Para esta sección se generó una señal triangular con DC del 50 % utilizando el generador GW.

2.2.1. Cálculo Analítico

Para una señal triangular $x(t)$ con amplitud A y frecuencia f_0 , se tiene que los coeficientes de la serie de Fourier son:

$$|X_n| = \begin{cases} \frac{4A}{\pi^2 n^2}, & \text{si } n \text{ es impar} \\ 0, & \text{si } n \text{ es par} \end{cases} \quad (5)$$

Se observa nuevamente que los armónicos pares valen cero.

2.2.2. Simulación del Espectro

Se simuló el espectro de una señal triangular. Dicho espectro puede observarse en la figura (9)

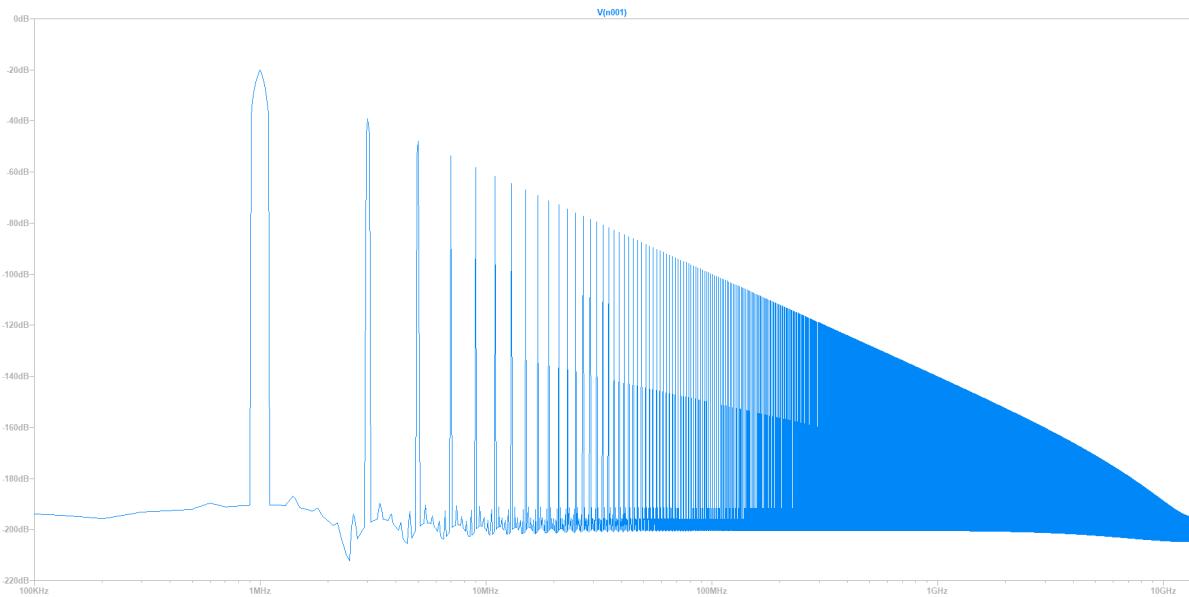


Figura 9: Simulación del espectro de una señal triangular.

2.2.3. Medición

De forma similar al caso anterior, se midieron algunos armónicos junto con sus potencias correspondientes (en dBm) A continuación se presenta una tabla con las mediciones.

$1,028MHz$	$2,027MHz$	$3,014MHz$	$4,012MHz$	$5,026MHz$	$6,004MHz$	$7,037MHz$	$8,007MHz$	$9,047MHz$	$10,029MHz$
$-13,6dBm$	$-55dBm$	$-34dBm$	$-70dBm$	$-44,2dBm$	$-89,6dBm$	$-53dBm$	—	$-53,2dBm$	—

Notemos cómo nuevamente los armónicos pares tienen potencia mucho más baja que los impares. De hecho, los correspondientes a frecuencias de $8,007MHz$ y $10,029MHz$ no pudieron medirse por ser demasiado tenues.

2.3. Tren de Pulses

Se generó un tren de pulsos con un DC del 33,3%.

2.3.1. Cálculo Analítico

De forma análoga a lo desarrollado en la sección de la onda cuadrada, como el DC es del 33,3% se verifica que $\sin(\frac{n\pi}{3}) = 0$, de donde los armónicos múltiplos de 3 se anularán.

Haciendo el desarrollo en serie de Fourier se encuentra que $|X_n| = \frac{A\sqrt{3}}{n\pi}$ para todo n que no sea múltiplo de 3

2.3.2. Simulación del Espectro

Se simuló el espectro del tren de pulsos. El resultado puede observarse en la figura (10)

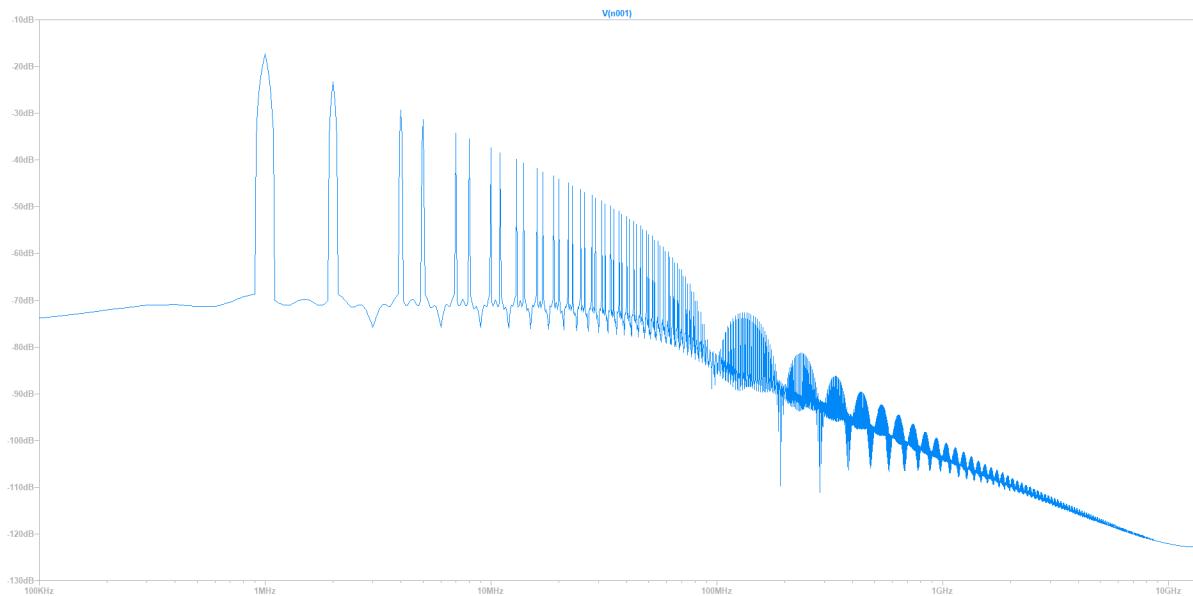


Figura 10: Simulación del espectro del tren de pulsos

2.3.3. Medición

Se midieron los primeros armónicos con sus correspondientes potencias. Se presentan los resultados en la siguiente tabla:

1,018MHz	2,018MHz	3,015MHz	4,011MHz	5,009MHz	6,004MHz	7,009MHz	8,007MHz	9,002MHz	9,999MHz	10,998MHz
-10,2dBm	-16,2dBm	-63dBm	-25,4dBm	-26,1dBm	-81dBm	-32,2dBm	-34,4dBm	-84,8dBm	-36,8dBm	-31,6dBm

Las mediciones corresponden con la teoría. Se puede observar cómo en los armónicos múltiplos de 3 la potencia cae considerablemente.

2.4. Conclusiones

En los tres casos se puede observar que hubo correspondencia entre la teoría y la práctica. Tanto en la cuadrada con DC del 50 % como en la triangular la potencia en los armónicos pares decayó considerablemente. Por supuesto, no fue exactamente cero porque el generador es incapaz de crear una onda cuadrada o triangular perfecta; de hecho en el primer ejercicio se vio que tanto el generador Agilent como el GW poseen en mayor o menor medida un grado de distorsión armónica. Una conclusión similar se puede confeccionar para el tren de pulsos: los armónicos múltiplos de tres resultaron tener una potencia que, aunque no fue cero, resultó muy baja comparada con el resto de los armónicos. El analizador de espectros resulta un elemento muy útil a la hora de analizar espectros de señales. No obstante, pueden surgir complicaciones si se intentan medir potencias muy pequeñas, ya que éstas se pueden confundir con el piso de ruido.