

Informe de laboratorio

Medición de parámetros de transformador



Instrumentos y Mediciones Electrónicas, Ingeniería de
Sonido, UNTREF

Profesor: David Kadener

Ayudante: Leandro Roldan

Estudiantes: Lautaro Filgueira
 Jonathan Freidkes

1^{er} Cuatrimestre 2017 - Caseros, Buenos Aires, Argentina.

Introducción y objetivos

El presente informe trata las experiencias de medición de transformadores de audio en el marco de prácticas realizadas en la materia. Es conocido que para mayor facilidad de diseño de circuitos, los componentes electrónicos involucrados son idealizados en cuanto a su comportamiento, con el fin de simplificar el análisis y cálculo, válido en la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo es importante evaluar que los elementos involucrados presentan variaciones respecto de los componentes considerados ideales, a nivel teórico. Es decir, un resistor es analizado por su magnitud principal (resistencia eléctrica) pero también físicamente presenta inductancia y capacidad parásita, efectos que generalmente se buscan minimizar eligiendo la tecnología adecuada según la aplicación.

El objetivo principal de este trabajo consiste en la medición de estos fenómenos parásitos en transformadores comerciales a través de distintos métodos, correspondientes a cada variable involucrada. En los casos posibles, se mide en 3 frecuencias representativas del rango de aplicación de este componente con el fin de ver su accionar en baja, media y alta frecuencia. Se analiza el funcionamiento de un transformador de 600 Ω para líneas de audio, principalmente aplicado en adaptación de impedancias.

El transformador de tensión es un elemento electromagnético que a partir de la generación de un campo magnético por inducción a través de la circulación de corriente alterna en un bobinado primario genera una tensión alterna proporcional a la cantidad de vueltas en el bobinado secundario. Estos bobinados se montan generalmente sobre un núcleo de hierro que ayuda a direccionar el campo magnético presentado.

Es amplia la aplicación de transformadores en la electrónica de audio, tanto en balanceo o desbalanceo de señales, como en acoplamiento eléctrico mediante inducción magnética, entre otras. Es importante entonces conocer el accionar de este componente clave en varias etapas, con el fin de poder analizar cómo afectará la respuesta en frecuencia del circuito, su distorsión y funcionamiento, mínimamente en el rango buscado en audio de 20 Hz a 20 KHz.

Este trabajo unifica conocimientos desarrollados y adquiridos durante los pasados meses en la materia y en otras anteriormente cursadas y es fruto de un proceso de aprendizaje en teoría electrónica y en mediciones de sistemas y circuitos.

Instrumentos y materiales utilizados

Generador de señales

Dispositivo analógico o digital que se utiliza para proveer la señal de entrada al circuito de forma de onda senoidal con amplitud y frecuencia variable. Se utilizó para las mediciones tonos de 100 Hz, 1 KHz y 10 KHz cuya amplitud varía en función del experimento utilizado, generados por un GW Instek GAG-810.

En la Figura 1, se ven los valores de distorsión provistos por el fabricante:

GAG-810:

500Hz-20kHz:	0.02 % or less
100Hz-100kHz:	0.05 % or less (× 10 range for 100Hz, × 1K range for 100kHz)
50Hz-200kHz:	0.3 % or less
20Hz-500kHz:	0.5 % or less
10Hz-1MHz:	1.5 % or less

Figura 1: Valores de distorsión de GW Instek GAG-810 dados por fabricante.

Osciloscopio

Instrumento analógico digital que contiene entradas de análisis alimentadas con puntas de osciloscopio en la posición 10x. Permite analizar señales en variedad de dimensiones e incluso realizar cálculos matemáticos y funciones como FFT (Transformada rápida de Fourier). En este caso, se utilizó un Tektronix TDS 2004B, osciloscopio digital de 4 canales de entrada.

Multímetro

Instrumental que permite medir varios parámetros eléctricos, principalmente tensión, corriente y resistencia. El multímetro estándar tiene cuatro entradas: una común (referencia), una para medir tensión y resistencia y dos que permiten medir corriente con distintos valores. En este caso, el principal uso fue para medir resistencia a través de un instrumento UNIT UT-61D.

En la Figura 2 se ven las especificaciones provistas por el fabricante:

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection	Remark
600Ω	0.1Ω	±(1.2%+2)	1000V dc / 750V ac	When measuring below 2kΩ, apply REL Δ to ensure measurement accuracy.
6kΩ	0.001kΩ	±(1.0%+2)		
60kΩ	0.01kΩ			
600kΩ	0.1kΩ			
6MΩ	0.001MΩ	±(1.2%+2)		
60MΩ	0.01MΩ	±(1.5%+2)		

Figura 2: Especificaciones de UNIT UT-61D dados por fabricante.

Distorsímetro

Dispositivo utilizado para analizar la distorsión presentada por un sistema electrónico. A través de una señal senoidal en la entrada, se afina el filtro del instrumento con el fin de observar la modificación en frecuencia proporcionada por el circuito analizado. Al manejar una única frecuencia en la entrada del sistema, en la salida es posible generar un filtro muy puntual que rechace la misma y analice el comportamiento de frecuencias espurias, producto de la distorsión atribuible al sistema. En este caso se utiliza un GW Instek GAD-201G que en la salida posee un indicador de aguja que da el valor en porcentaje de la distorsión armónica total del circuito evaluado.

En la Figura 3 se ven las especificaciones del equipo provistas por el fabricante:

Distortion Measurements	
Measure Range	0.1% to 10% full scale in 7 ranges by auto ranging
Fundamental Frequency range	20Hz to 20kHz 3 ranges continuous fine adjustment, 3 spot frequency: 400Hz, 1kHz, and 10kHz \pm 1% only
Input level	100mVrms to 300Vrms
Fundamental Harmonic Rejection Ratio	80dB above
Secondary Harmonic Accuracy	Within \pm 1dB at a basic frequency of 20Hz to 20kHz.
Residual Distortion	Less than 0.03% (including hum and noise)
Maximum Input Voltage	DC +AC peak, 400V or less
AC Voltage Measurements	
Level measurement on AC voltage ranges	1mVrms to 300Vrms full scale in 12 ranges by auto ranges
Decibel range	-60dB to +50dB in increments of 10dB -60dBm to +50dBm in increments of 10dBm
Decibel scale	-20dB to +1dB (0dB=1V) -20dBm to +3.2dBm (0dBm=1mW, 600 Ω)
Accuracy	Within \pm 3% of full scale (at 1kHz)
Frequency response	Within \pm 0.5dB, 20Hz to 200kHz for 100mV to 300mV ranges Within \pm 1dBm, 20Hz to 200kHz for 1mV to 30mV ranges
Residual noise	Less than 10 μ V with input short circuit
Input impedance	100k Ω \pm 10%, 70pF or less (unbalance)

Figura 3: Especificaciones de GW Instek GAD-201G dados por fabricante.

Puente RLC

Dispositivo utilizado para la medición de parámetros reactivos de componentes, tanto capacidad como inductancia y sus resistencias equivalentes, en modo serie o paralelo. Se puede definir la frecuencia de análisis, la tensión aplicada y el modo lento, medio o veloz. En este caso se utiliza un GW LCR-819.

Parámetros analizados

Se muestra a continuación en la Figura 4 el circuito equivalente de un transformador, teniendo en cuenta los elementos parásitos.

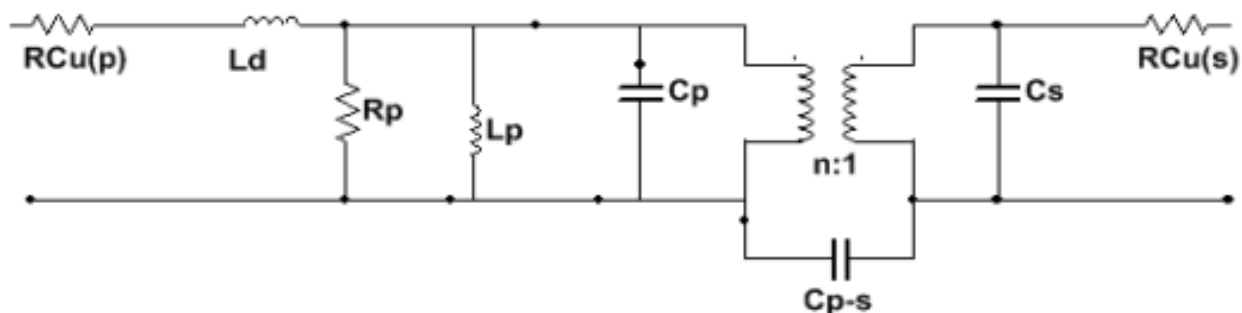


Figura 4: Circuito equivalente de transformador no ideal.

$R_{Cu(p)}$: Resistencia del alambre de cobre en el bobinado primario.

$R_{Cu(s)}$: Resistencia del alambre de cobre en el bobinado secundario.

L_D : Inductancia de dispersión de flujo magnético. Cierta cantidad de flujo magnético del núcleo escapa al circuito magnético, lo que genera pérdidas por flujo disperso.

R_p : Resistencia de pérdidas en el núcleo. Es importante aclarar que se idealiza como un resistor, pero dista de serlo, su comportamiento es variable con la frecuencia, cosa que no debiera ocurrir en una resistencia ideal. Este componente incluye el efecto de corrientes de magnetización, corrientes de Foucault (dadas en el núcleo) y pérdidas por histéresis.

L_p : Inductancia en bobinado primario o de magnetización.

C_p : Capacidad en bobinado primario.

C_s : Capacidad en bobinado secundario.

C_{p-s} : Capacidad entre bobinados primario y secundario.

n : Relación de transformación. Representa el cociente entre cantidad de vueltas del bobinado primario y el secundario.

Procedimientos

\underline{n} : Se conecta el generador de señales en el bobinado primario y se mide en vacío (circuito abierto) la diferencia de potencial entre bornes del bobinado secundario. La intención de medir sin carga es con el fin de evitar que la misma haga de divisor resistivo con la resistencia interna del transformador. Se utiliza el osciloscopio para el análisis de tensión, ya que a pesar de no ser el mejor instrumento para esta medición, permite observar las diferencias de potencial en ambos bobinados en forma simultánea.

$\underline{R_{Cu(p)}}$ y $\underline{R_{Cu(s)}}$: Es la única medición que se realiza en corriente continua, ya que el resto de los parámetros analizados son reactivos y puedo en esta condición aislar las resistencias del resto de los componentes. Para ello se utiliza el multímetro en modo de medición de resistencia.

$\underline{L_p}$: Como debiera ser mayor a L_D se puede medir con tensión alterna en la entrada, donde C_p se vuelve despreciable si se mide en vacío en el bobinado secundario, evitando también así la circulación de corriente. Se utiliza una frecuencia no muy baja con el fin de que la reactancia no sea baja y supere el valor de $R_{Cu(p)}$, en este caso 1 KHz por la aplicación del transformador analizado.

$\underline{R_p}$: Al ser un valor virtual, no puramente resistivo, aparece con la aplicación de corriente alterna, donde existe flujo magnético en el transformador. Por lo tanto, se mide con el puente RLC los valores de L y Q (en paralelo, que es más representativa del fenómeno real). Se mide así en baja frecuencia, donde el flujo es mayor y es máximo el efecto de L_p , en condición de vacío para evitar circulación de corriente que sea disipada por $R_{Cu(p)}$. Con la medición de L y Q se logra obtener el valor de R_p mediante cálculo.

$\underline{L_D}$: Si se cortocircuita el secundario, la corriente circulará por $R_{Cu(p)}$, L_D y $R_{Cu(s)}$. Como las resistencias son valores fácilmente mensurables, se puede calcular el valor de L_D fácilmente. Para que el componente de inducción tenga la mayor magnitud posible en reactancia, se utiliza alta frecuencia, dentro del rango de uso del transformador para que el valor de L_D predomine sobre los resistores. En este caso se usa 10 KHz, con el generador de señales conectado a la entrada y se mide L y Q en serie en el primario. Teniendo $R_{Cu(p)}$ y $R_{Cu(s)}$, se puede calcular el valor de L_D .

\underline{THD} : Se conecta el generador de señales en el bobinado primario con frecuencia de 1 KHz, se conectan los terminales del bobinado secundario a la entrada del distorsímetro, se sintoniza el filtro del distorsímetro para rechazar la señal de entrada y se lee el indicador del instrumento, una vez adaptado el rango de medición a los valores dados.

Resultados y análisis de incertidumbre

Parámetro	Frecuencia [Hz]	Vp [v]	Valor
$R_{Cu(p)}$	-	-	$57,5 \Omega \pm 1\Omega$
$R_{Cu(s)}$	-	-	$45\Omega \pm 0,9\Omega$
L_D	10K	1	$6,73mH \pm 0,01mH$
	20K	1	$6,77mH \pm 0,02mH$
	10K	0,2	$6,73mH \pm 0,2mH$
	20K	0,2	$6,77mH \pm 0,03mH$
n	100	1,03	$1,02 \pm 0,13$
	1K	0,763	$1,03 \pm 0,16$
	10K	1,04	$1,02 \pm 0,13$
L_P	100	1	$1226mH \pm 1,4mH$
	1K	1	$709,3mH \pm 0,8mH$
	100	0,5	$1071,9mH \pm 1,3mH$
	1K	0,5	$670,9mH \pm 0,8mH$
	100	0,2	$915mH \pm 1,1mH$
	1K	0,2	$640,7mH \pm 0,8mH$
R_P	100	1	$49.311,1\Omega \pm 2,5\Omega$
	1K	1	$46.265,8\Omega \pm 2,2\Omega$
	100	0,5	$27.738,4\Omega \pm 2,3\Omega$
	1K	0,5	$31.766,5\Omega \pm 2,1\Omega$
	100	0,2	$38.243,9\Omega \pm 2,1\Omega$
	1K	0,2	$37.910,7\Omega \pm 2,4\Omega$
C_{p-s}	10K	0,2	$0,10nF \pm 0,12pF$
	20K	0,2	$0,07nF \pm 0,08pF$
	50K	0,2	$0,06nF \pm 0,07pF$
	100K	0,2	$0,05nF \pm 0,06pF$
THD+N	100	1	$0,92\% \pm 0,04\%$
	1k	1	$0,04\% \pm 0,04\%$
	10k	1	$0,014\% \pm 0,04\%$
	100	0,5	$0,9\% \pm 0,04\%$
	1k	0,5	$0,027\% \pm 0,04\%$
	10k	0,5	$0,012\% \pm 0,04\%$
	100	0,2	$0,68\% \pm 0,04\%$
	1k	0,2	$0,034\% \pm 0,04\%$
	10k	0,2	$0,03\% \pm 0,04\%$
Respuesta en frecuencia	100	0,48	$-1,6 \text{ dB} \pm 0,4 \text{ dB}$
	1k	0,55	$-1,5 \text{ dB} \pm 0,4 \text{ dB}$
	10k	0,60	$-2,9 \text{ dB} \pm 0,3 \text{ dB}$
	100	0,09	$-1,6 \text{ dB} \pm 1,4 \text{ dB}$
	1k	0,10	$-1,5 \text{ dB} \pm 1,3 \text{ dB}$
	10k	0,12	$-2,9 \text{ dB} \pm 1,1 \text{ dB}$

Tabla 1: Resultados e incertidumbre.

Conclusiones

Se logró de forma exitosa la medición completa de un transformador comercial con aplicación en circuitos electrónicos de audio. Se pudo caracterizar su comportamiento en frecuencias representativas del espectro audible y obtener datos sobre el elemento en cuestión.

Es destacable el hecho de haber encontrado la región donde comienza a saturar el dispositivo, visualizable en los resultados de THD+N obtenidos con señal de 1 V, donde se nota que el valor se incrementa mucho en comparación con señales de entrada de menor magnitud, entendiendo así que la aplicación de este transformador será para niveles bajos de señal, en el orden de los pocos cientos de milivolt.

Se realizó el análisis de incertidumbre correspondiente, mostrando que más allá de la cantidad de dígitos que puedan mostrar los displays electrónicos, hay un grado de desconfianza en el valor que se obtiene, ya que se conoce el accionar de los elementos involucrados en la obtención de los parámetros.

Es así, como con los valores obtenidos, al utilizar este dispositivo, es posible tener en cuenta todos los parámetros que influyen en su comportamiento y la influencia que tendrá al ser puesto en un circuito junto a otros componentes.