

Caracterización de un resonador piezoeléctrico.

Javier Garcia Cueto
javigarcia2909@gmail.com

Jorge Theodorou
jorgetheodorou@gmail.com

Marcos Ruben Sidoruk
marcsid2003@gmail.com

24 de abril de 2023

Resumen

A lo largo de este informe se estudia el comportamiento de un resonador piezoeléctrico. Se lo caracteriza como un circuito RLC serie con una capacitancia en paralelo al mismo, encontrando sus frecuencias de resonancia y antirresonancia en $\omega_R = (50082 \pm 1)$ Hz y en $\omega_A = (50280 \pm)$ Hz al alimentarlo con una fuente de corriente alterna. Se observa que, de acuerdo a lo esperado, la impedancia equivalente del circuito se minimiza cuando la frecuencia es igual a ω_R , y se maximiza cuando es igual a ω_A . Para finalizar, se observa que el modelo anteriormente mencionado se ajusta correctamente a la señal medida a la salida del circuito.

1. Introducción

Un material piezoeléctrico se caracteriza por producir una polarización eléctrica (y por lo tanto, un campo eléctrico) al ser sometido a compresiones mecánicas [1]. De modo inverso, si se le aplica un campo eléctrico este responderá con una deformación mecánica. Entonces, si se coloca un piezoeléctrico entre dos placas metálicas y se varía la diferencia de potencial entre las mismas, este responde de manera análoga a un oscilador forzado, pensado como circuito eléctrico se lo puede modelar como un circuito RLC. Sin embargo, debido a que como ya se dijo la construcción del sistema consiste en colocar al material entre dos placas conductoras, es esperable que la capacidad entre dichas placas no sea despreciable; es por este motivo que si se pretende modelar el sistema como un circuito mediante un modelo de parámetros concentrados esta debe ser considerada. Se puede apreciar una esquematización de dicho circuito en la figura 1.

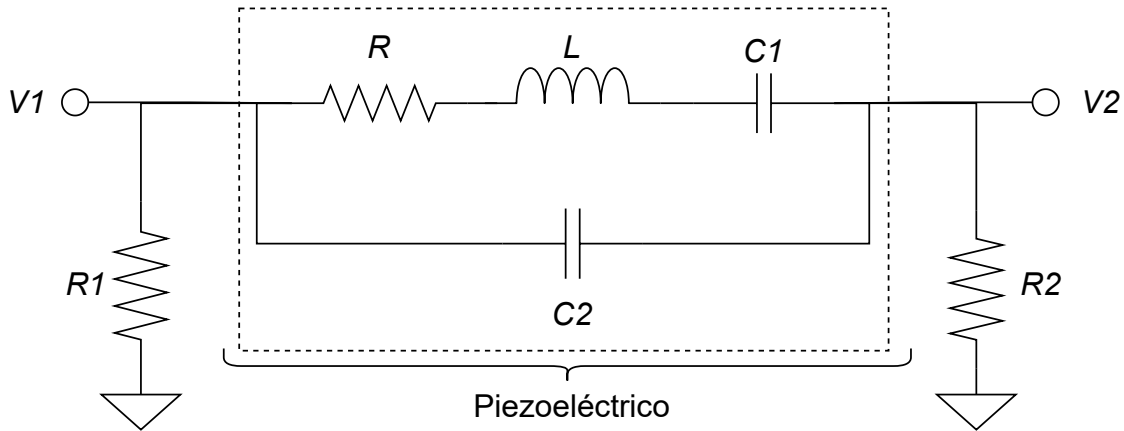


Figura 1: Circuito equivalente del piezoeléctrico, considerando los electrodos de contacto.

El módulo cuadrado de la impedancia de este circuito resulta ser:

$$|Z|^2 = \frac{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_1}\right)^2}{\omega^2 C_2^2 R^2 + \left[1 - \omega C_2 \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_1}\right)\right]^2} = A \frac{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_R} - \frac{\omega_R}{\omega}\right)^2}{\frac{\omega^2}{\omega_R^2} + Q^2 \left(\frac{\omega_A^2}{\omega_R^2} - \frac{\omega^2}{\omega_R^2}\right)^2}, \quad (1)$$

donde $Q = \frac{L}{R} \omega_R$ es denominado el factor de calidad del circuito y es una medida de la calidad del circuito como filtro pasa banda, $\omega_R = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}$ es la frecuencia angular de resonancia, $\omega_A = \sqrt{\frac{1}{L} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)}$ la frecuencia angular de antirresonancia, mientras que $A = \frac{1}{C_2^2 \omega_R^2}$ es un parámetro definido de manera arbitraria. Si además se tienen en cuenta las resistencias R_1 y R_2 (Necesarias para no dañar el piezoeléctrico), y se busca la resistencia equivalente entre V_1 la tierra se tiene que esta está dada por la ecuación 2.

$$|Z_{eq}| = \left[\frac{1}{R_1} + \left[R_2 + \sqrt{A \frac{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_R} - \frac{\omega_R}{\omega}\right)^2}{\frac{\omega^2}{\omega_R^2} + Q^2 \left(\frac{\omega_A^2}{\omega_R^2} - \frac{\omega^2}{\omega_R^2}\right)^2}} \right]^{-1} \right]^{-1}, \quad (2)$$

Entonces si se midiese la caída de tensión sobre R_2 se tendrí

2. Procedimiento experimental

El piezoeléctrico estudiado es un monocristal de cuarzo cortado a $+5^\circ$ de uno de los ejes cristalinicos en forma de prisma de base cuadrada de 4 mm de lado y 50 mm de longitud, con dos de sus caras laterales metalizadas. Se conectaron las placas metálicas a ambos extremos del piezoeléctrico a un circuito electrónico tal como indica la figura 2. Como instrumento de medición se utilizó primero un osciloscopio y luego se repitió el experimento con un lock-in en su lugar. Se utilizó un voltímetro Amprobe 38XRX-A para medir las resistencias R_1 y R_2 , obteniendo un valor de $(9,80 \pm 0,20) \text{ k}\Omega$ para ambas. La amplitud de la tensión del generador de funciones fue de $(1,000 \pm 0,011) \text{ V}$.

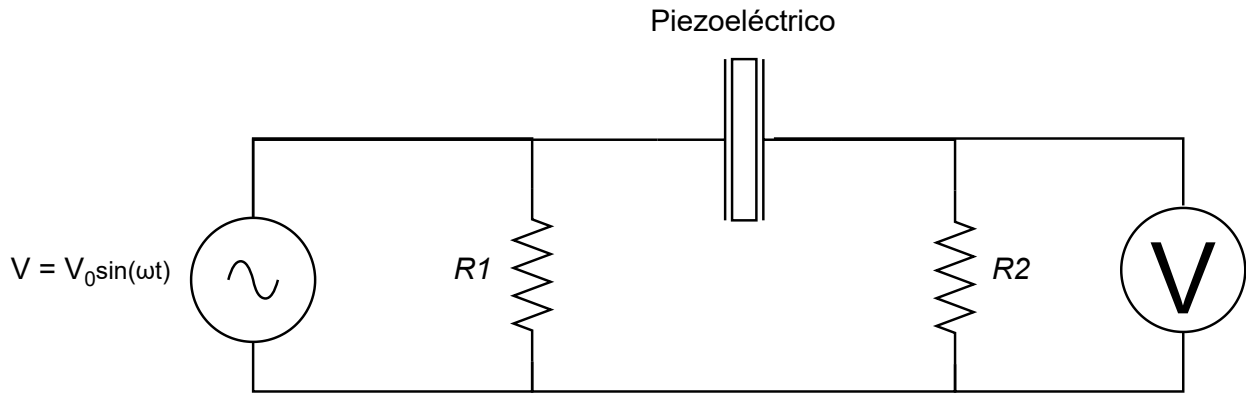


Figura 2: Circuito utilizado para esta experiencia.

El procedimiento experimental consistió en variar la frecuencia de emisión del generador de funciones de manera discreta entre los 49 000 Hz y 51 600 Hz y realizar una medición para cada frecuencia.

3. Resultados

Tras realizar las mediciones se realizó un ajuste por medio de la ecuación 2 tal como se puede apreciar en la figura 3

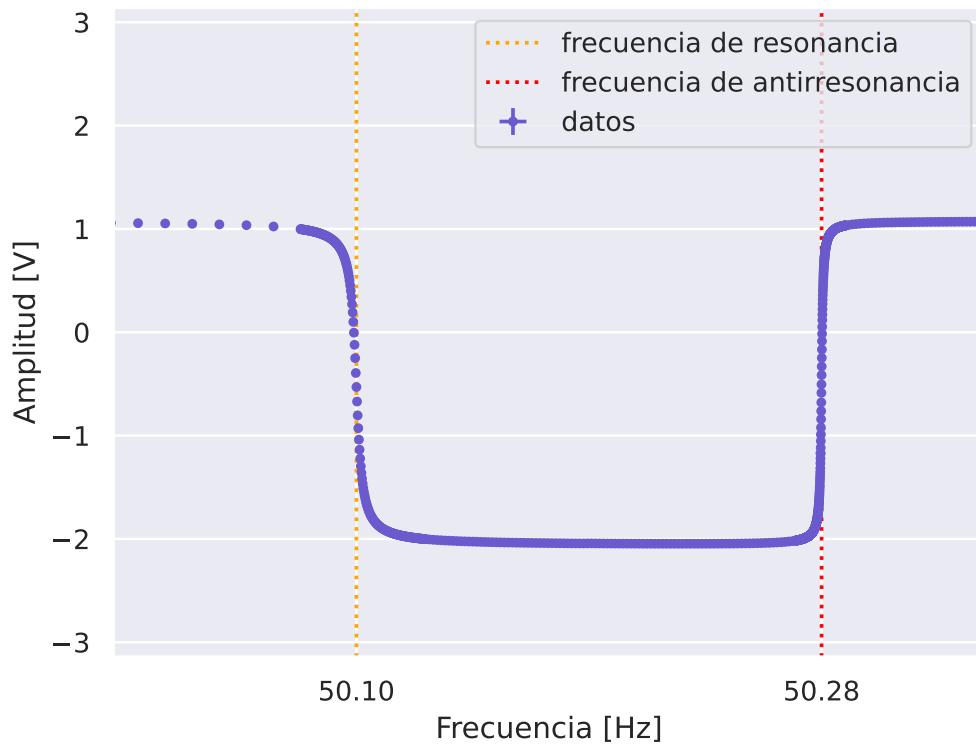
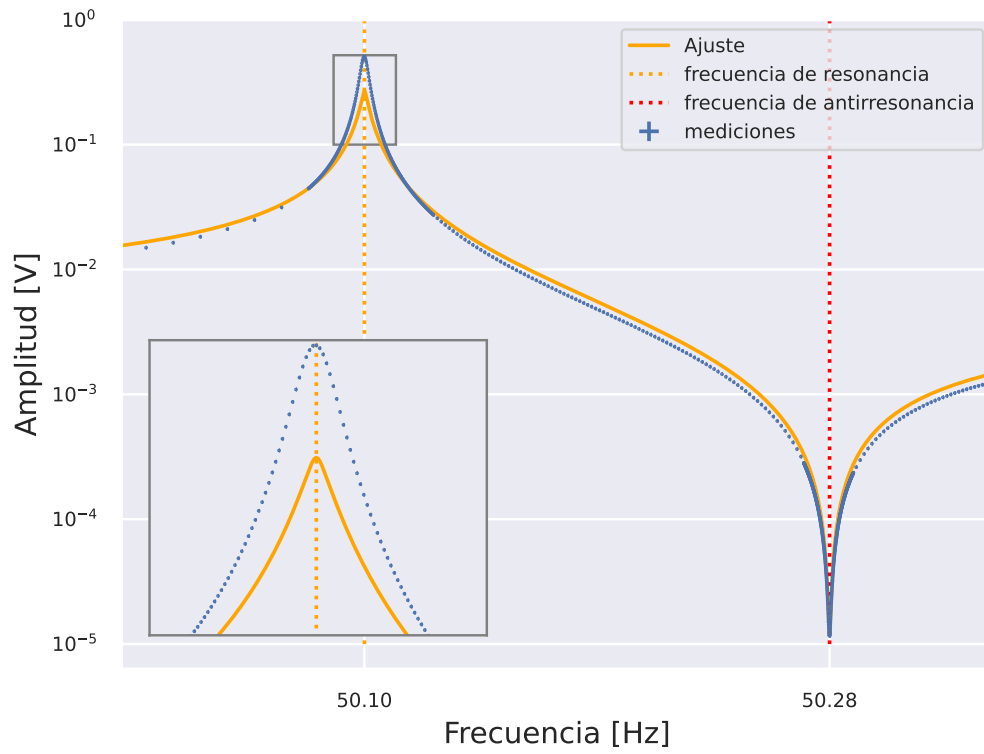


Figura 3: Voltaje y fase en función de la frecuencia, notese el cambio de π radianes en la fase tanto en la resonancia como la antirresonancia.

La frecuencia de resonancia del sistema resulto ser de $\omega_R = (50\,092 \pm 1)$ Hz, mientras que la frecuencia de antirresonancia

$\omega_A = (50\,280 \pm 1) \text{ Hz}$, el factor de calidad del Circuito resulto ser de $1\,\Omega\,\text{H}^{-1}\,\text{s}^{-1}$

Como también se puede observar en la figura 3, el desfasaje entre las dos señales es idénticamente cero cuando la frecuencia de la onda es igual a ω_R u ω_A . Esto concuerda con lo esperado, ya que las frecuencias de resonancia o antirresonancia de un circuito se definen como aquellas para las cuales la fase se anula

En la figura ?? se puede ver graficado el módulo de la impedancia equivalente del circuito en función de la frecuencia de la onda emitida. Se observa fácilmente que $|Z|$ es máximo en $\omega = \omega_A$, y mínimo en $\omega = \omega_R$, lo cual se condice con lo esperado según la ecuación 1.

4. Conclusiones

Concluyendo, la respuesta de un piezoelectrico a un campo electrico variable puede ser modelada setisfactoriamente como un circuito RLC haciendo uso de un modelo de parametros concentrados. Para el elemento analizado en este trabajo se observo una frecuencia de resonancia de , una frecuencia de antirresonancia de y un factor de calidad de.

Ademas cabe a destacar que para esta clase de experiencias un amplificador lock-in resulto ser una herramienta mucho mas conveniente que un osciloscopio, esto se debe a los bajos voltajes involucrados los cuales suelen ser mucho menores que las señales de ruido que se producen debido a tanto la red electrica como campos electricos y magneticos que se puedan encontrar en el labratorio y que el osciloscopio por si mismo no cuenta con un metodo efectivo de aislar.

Referencias

- [1] Departamento de Física-FCEyN - UBA. *Piezoelectricidad*. URL: <http://materias.df.uba.ar/labo4Ba2016c1/files/2014/03/Piezo.pdf>.