

Materiales Piezoeléctricos: Calculo y simulación del circuito equivalente de un Cristal de Cuarzo

Diaz, Ariel Ivan

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca.

arielivandiaz@gmail.com

Resumen—En este trabajo se estudia el Cristal de Cuarzo, dentro de la categoría de material piezoeléctrico. Se desarrolla su circuito equivalente y se estudia este con una simulación basada en los datos que se obtienen del fabricante en su hoja de datos.

Palabras clave—Cristal; resonancia; piezoeléctrico; simulación; OrCAD; circuito equivalente; componente pasivo;

I. INTRODUCCIÓN

Los materiales piezoeléctricos son aquellos en los que ocurre un determinado fenómeno al ser sometidos a tensiones mecánicas, donde su masa adquiere una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie. Este fenómeno también ocurre a la inversa, en donde el material se deforma al ser sometido a un campo eléctrico.

El cuarzo es un mineral que se encuentra en la naturaleza en gran cantidad de rocas, está compuesto de sílice (SiO_2). La aplicación en circuitos de este es de ser un patrón de frecuencia, dado que la frecuencia de resonancia de estos es muy estable. Al ser sometido a un estímulo eléctrico de forma periódica y sincronizada se produce una vibración del cristal a cierta frecuencia de forma muy precisa. Cuando vibra el cristal genera una tensión proporcional a la amplitud de la vibración, y de la misma frecuencia que esta, al ser provistos de los electrodos convenientes tienen las características de un circuito resonante de muy alto Q y alta relación L/C.

Las características de la oscilación varían de acuerdo al estímulo ingresado y a las características físicas propias del cristal. Las frecuencias están determinadas por las dimensiones del cristal y la frecuencia más baja de oscilación es la frecuencia fundamental, siendo esta la cual se estudiará.

Algunas de las aplicaciones más comunes de los cristales de cuarzo es en circuitos filtros o como elementos de realimentación selectiva en circuitos osciladores.

II. CIRCUITO EQUIVALENTE

Al descomponer el cristal en varios componentes simples que representen su comportamiento, podemos estudiar este de forma analítica. Estos componentes que forman en circuito equivalente están dados para una frecuencia determinando de oscilación. El circuito equivalente se diagrama en la Fig. 1 y este compuesto por los siguientes componentes:

- C_0 : Es la capacidad propia del encapsulado y sus terminales y electrodos.
- C_1 : Representa la energía potencial mecánica almacenada frente de una deformación, es el equivalente de relajamiento mecánico.
- L_1 : Representa la energía almacenada por la masa en vibración
- R_1 : Representan las perdidas mecánicas.

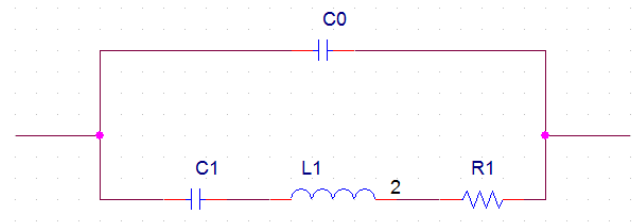


Fig. 1: Circuito equivalente cristal de cuarzo.

Los cristales se diseñan para poseer dos frecuencias de resonancia para el modo mecánico en el que está operando; una serie y otro paralelo. La frecuencia serie es la frecuencia de resonancia f_r y la otra es la frecuencia de antiresonancia f_a . Se puede ver el análisis de respuesta en frecuencia que nos muestra estos valores en la Figura 2.

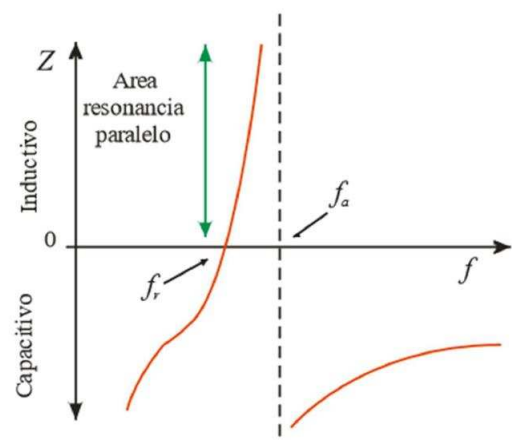


Fig. 2: Curva de Respuesta en frecuencia.

Se puede observar en la figura que f_a es mayor que f_r . Cuando el cristal se encuentra trabajando a f_r su impedancia se hace mínima, ya que la rama del circuito RLC está resonando. Mientras que cuando el cristal trabaja en f_a se

produce el fenómeno opuesto y la impedancia se hace máxima.

III. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN

El cristal elegido para este trabajo fue el HC-49/U. Es un cristal de bajo costo, de uso general y bien establecido en el sector comercial e industrial, con un amplio rango de frecuencias. Se escogió trabajar a la frecuencia de 16MHz la cual se produce en modo fundamental.

Para la frecuencia elegida según los datasheets consultados se determinó:

- $C_0 = 4.5\text{pF}$ (4.5pF ~ 7pF)
- $C_1 = 30\text{fF}$ (15fF ~ 50fF)
- $R_1 = 25\ \Omega$

Se nota que no es común que el valor de la inductancia L_1 sea suministrado por los fabricantes, por ello se debe calcular de forma aproximada mediante la fórmula:

$$(1) \quad L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 C_1} \rightarrow L_1 = 3.2982\text{mHy}$$

Al realizar un barrido de frecuencias en OrCAD se obtuvieron los resultados de la variación de impedancia que se muestra en la Figuras 3 la cual tiene una escala lineal en el eje de amplitud y en la Figura 4 la cual tiene una escala logarítmica en este eje para una mejor apreciación.

La impedancia graficada es la relación entre la tensión suministrada por la fuente sobre la corriente que circula por el circuito. Las frecuencias paralelo y serie se pueden obtener utilizando las siguientes expresiones:

$$(2) \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$$

$$(3) \quad f_a = f_r \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}}$$

De las cuales se obtuvo que $f_r = 16000037.87\text{Hz}$ y $f_a = 16053282.74\text{Hz}$, las cuales se pueden apreciar en las Figuras 3 y 4. Vemos que claramente en la Figura 4 para f_r la impedancia cae a un valor muy bajo; mientras que para f_a la impedancia se incrementa en una muy gran medida, visto reflejado claramente en la Figura 3.

Se ajustaron los valores de capacidades suministrados por el fabricante dentro de sus tolerancias para dar el mejor resultado en la gráfica. En la practica un cristal responde de una forma bastante parecida, siendo la calidad de estos muy buena.

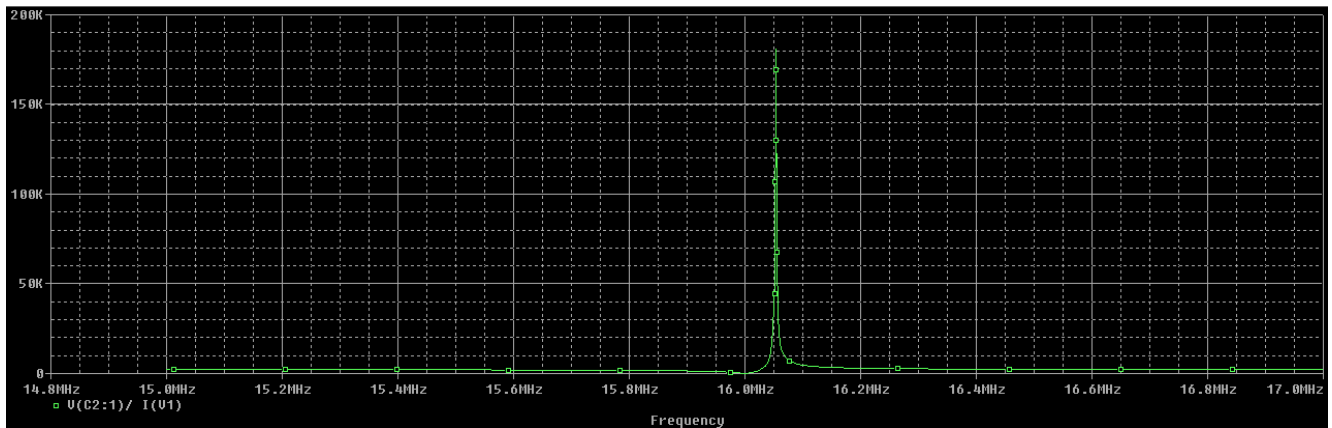


Fig. 3: Curva de Respuesta en frecuencia de la impedancia.

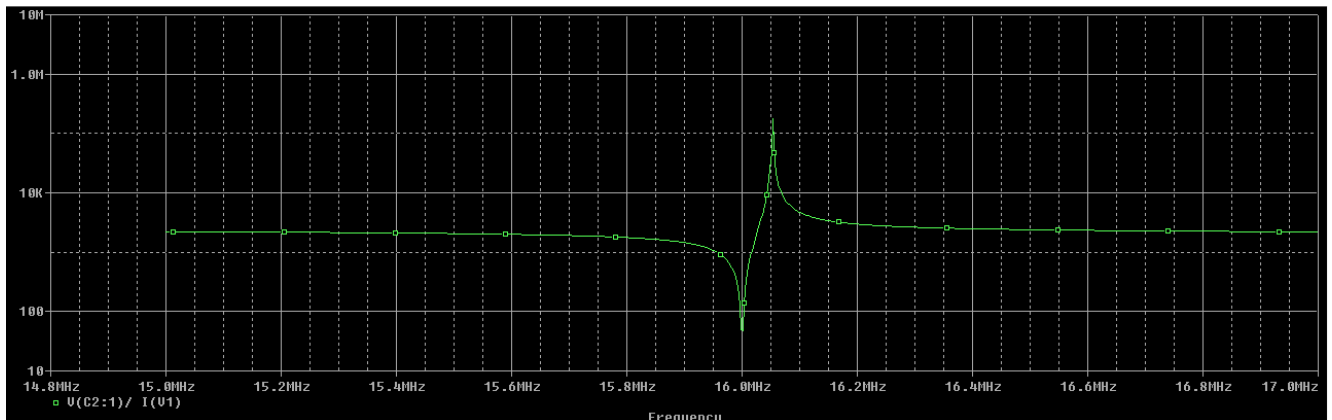


Fig. 4: Curva de Respuesta en frecuencia de la impedancia con amplitud en escala logarítmica.

VI. CONCLUSIONES

Este trabajo brinda el conocimiento de la composición y funcionamiento de un elemento común en muchos de los circuitos electrónicos. El uso más común en el que se verán empleado los cristales de cuarzo es en la aplicación de una tensión para obtener una respuesta oscilatoria de una gran exactitud que nos permitirá servir como un patrón de referencia en frecuencia. Las características de este componente son totalmente propias de la física del cristal que lo constituye, pero dado que estos están fabricados de una forma muy exacta y desarrollada resultan ser muy fieles y confiables; quizás por eso resulte difícil conseguir detalles específicos de la hoja de datos de muchos fabricantes.

Dado que se está hablando de valores muy pequeños y principalmente las capacidades, los datos y cálculos se realizan con un margen de tolerancia bastante grande.

Para ajustar más finamente la frecuencia del oscilador generalmente se le asocia un capacitor de carga, principalmente en serie. Resulta importante también destacar que estos dispositivos son sensibles a la temperatura, tal magnitud es dada por el fabricante como el valor de ppm/°C. Estos valores suelen ser pequeños y pueden ser compensados mediante algún sistema de realimentación.

En mucho menor medida se tienen variaciones debido a distintos niveles de excitación, la gravedad, el paso del tiempo, las vibraciones, golpes e interferencias magnéticas.

Los cristales de cuarzo resultan tener un funcionamiento muy interesante e importante para las tecnologías modernas, muchas de estas últimas gracias a este mineral extraído de la naturaleza.

REFERENCIAS

- [1] Ing. Miguel A. Banchieri, "Materiales Piezoeléctricos, Cristales", Catedra de Tecnología Electrónica, UTN FRBB.
- [2] AEL crystals, "HC-49/U Standard Height Crystal", Quartz Crystal Resonators Datasheet - <http://www.farnell.com/>
- [3] EUROQUARTS "General Product Specification - Crystals", Euroquarts datasheet archive.
- [4] Multicomp "Crystal Unit - HC-49/U", Datasheet.
- [5] KVG QUARTZ CRYSTAL TECHNOLOGY GMBH – "Quartz Crystals Technical Introduction" - Vectron International Company.