

Impedancia y resistividad alterna

En Laboratorio 3 y en Física 3 ya han conocido el concepto de Impedancia de un circuito. En un circuito alimentado por una fuente alterna de frecuencia $f = 2\pi\omega$, la impedancia del mismo (o de una parte) es el número complejo $Z(\omega)$, que relaciona la corriente que circula con la caída de tensión.

$$V = Z(\omega)I$$

donde $Z(\omega) = R + iX$. R es la resistencia y X es la reactancia. En un circuito complejo tanto R como X pueden depender de la frecuencia. Todo elemento real tiene una resistencia, una inductancia y una capacidad asociadas. Decimos entonces que algo es una “resistencia” cuando $R \gg X$. Sin embargo, como la impedancia depende de la frecuencia, un mismo elemento (como una bobina, por ejemplo) puede pasar de ser una simple resistencia (en continua) a una inductancia al aumentar la frecuencia.

Sabemos además que la resistencia de una muestra depende de la resistividad del material $\rho(T)$ y de su geometría. En una muestra se sección cte A y largo l , $R = \rho l/A$. En un muestra conductora ρ es un número real, independiente de la frecuencia, por lo que la resistencia R es independiente de frecuencia y toda la dependencia en frecuencia de la impedancia está en la parte reactiva. Esto NO es así en todos los materiales: por ejemplo, los materiales superconductores tienen resistividades imaginarias (y por lo tanto no disipan).

Pero volvamos a los conductores. Si se quieren medir la impedancia de un cable conductor, esta tendrá una parte real (dada por la resistividad del material y la geometría) y una parte compleja. La parte compleja por lo general es inductiva y está compuesta principalmente por la autoinductancia L : $z(\omega) = R + i\omega L$.

Dependiendo del entorno, nuestro circuito puede acoplar con otros circuitos y hacer de antena. En ese caso la impedancia no solo dependerá de la forma del circuito, sino también de su orientación y entorno. Por ultimo, las líneas de campo alterno en los conductores pueden ser desviadas e incluso apantalladas (Ver practica de Efecto Pelicular para mas detalles). Esto puede ocurrir tanto en nuestro circuito como en las vecindades, y puede influir en la impedancia total que se mide.

Medición a 4 puntas:

Cuando la impedancia a medir es muy chica (comparable o menor a la de los cables), los cables de medición y los contactos pueden influir en el valor medido. En estos casos es necesario medir la resistencia a 4 puntas.

El circuito que vamos a utilizar en esta práctica (y que es muy usado en experimentos) es el siguiente:

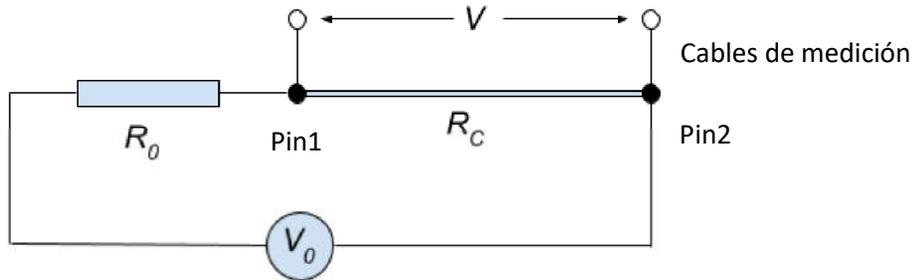


Figura 1: Circuito básico para medir la impedancia de prueba (en este caso R_c) a 4 puntas

Un generador de tensión alterna se conecta en serie con nuestra (en este ejemplo la consideramos una Resistencia R_c pero vale lo mismo para una impedancia genérica) y resistencia limitadora $R_0 \gg R_c$. De esa manera, la corriente del circuito $I = V_0 / (R_0 + R_c) \sim I = V_0 / R_0$ es independiente de la muestra y, en principio, de la frecuencia (Pensar que pasa si a frecuencia alta aumenta la impedancia compleja de la muestra).

El voltaje a medir V será la suma de la caída de tensión sobre la muestra + la caída de tensión en los cables de medición. La gran ventaja de la medición a 4 puntas es que, debido a la gran impedancia del voltímetro, por esos cables prácticamente no circula corriente (la Resistencia de la muestra puede tener menos de 1Ω y la impedancia de entrada de un osciloscopio, o un lockin es mayor a $1M\Omega$). Por lo tanto esa caída de tensión adicional es despreciable y se mide principalmente la caída sobre la muestra (pensar si eso ocurre al medir la resistencia con un multímetro de mano de los que hay en el labo).

De todas maneras, el voltaje inducido en esos cables puede no ser tan despreciable. Si la señal a medir es muy chica, el voltaje inducido en los cables y otras fuentes de ruido pueden ser varias veces mayor que la señal a medir. En estos casos es necesario recurrir a una técnica de detección de lockin.

El sistema que está preparado en Laboratorio 4, permite conectar un alambre de metal (muestra de prueba) a dos pines de un circuito como el de la figura 1, con $R_0 = 1\text{ k}\Omega$.

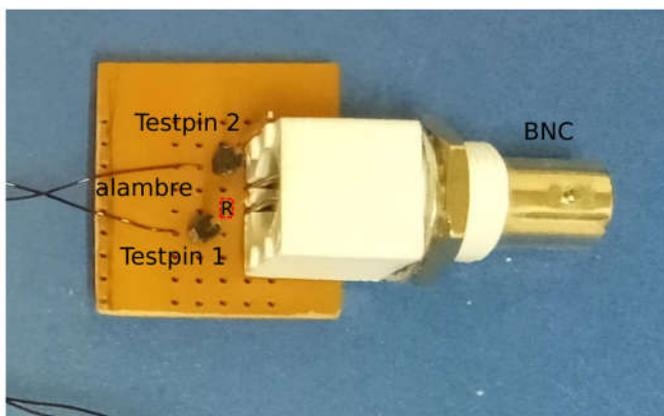


Figura 2: Circuito equivalente al de la Figura 1 preparado en Laboratorio 4.

Adquisición con amplificador lockin

Cuando la tensión a medir sobre la muestra es comparable o menor al ruido lo más usual es medirla con un amplificador lockin. Esta técnica permite filtrar las componentes en fase y contrafase de la señal medida, en una banda angosta de frecuencias alrededor de una frecuencia de referencia. Ese ancho de banda (o frecuencia de corte) está dado por el tiempo de integración, cuya selección es crucial para una correcta medición. También se puede elegir el orden del filtro (si el corte es más abrupto o más suave alrededor de la frecuencia de corte) y la manera en que se amplifica la señal (reserva dinámica). Para entender bien el principio de funcionamiento, ver el material de la sección *Técnicas Experimentales/Amplificador lockin*.

Algunas propuestas:

- Intentar medir la R del alambre de prueba a dos puntas con un multímetro de mano y con uno de banco. Reportar resultados
- Intentar medir la R del alambre a 4 puntas con un multímetro de banco. Pensar en este caso que circuito usar. Reportar
- Intentar medir la impedancia z del alambre con el circuito de la Figura 1, pero midiendo la caída de tensión V con un osciloscopio.
- Medir la impedancia $z(\omega)$ usando la técnica lockin a distintas frecuencias de referencia.
- Modificar la forma y/o largo del cable.
- Modificar el entorno (pueden acercarse un núcleo de hierro u otros metales, cambiar la orientación, etc).
- Modificar la temperatura de la muestra.