



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, COMERCIO
Y TURISMO



CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE IMPEDANCIA EN TODO EL PLANO COMPLEJO



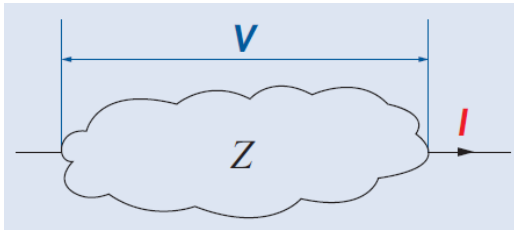
ÍNDICE

- 1.- Introducción.
- 2.- Calibración de medidores de impedancia
- 3.- Limitaciones del método clásico de calibración de LCRs
- 4.- Proyecto europeo AIM QuTE
- 5.- Simulador de impedancias
- 6.- Conclusiones



1. Introducción

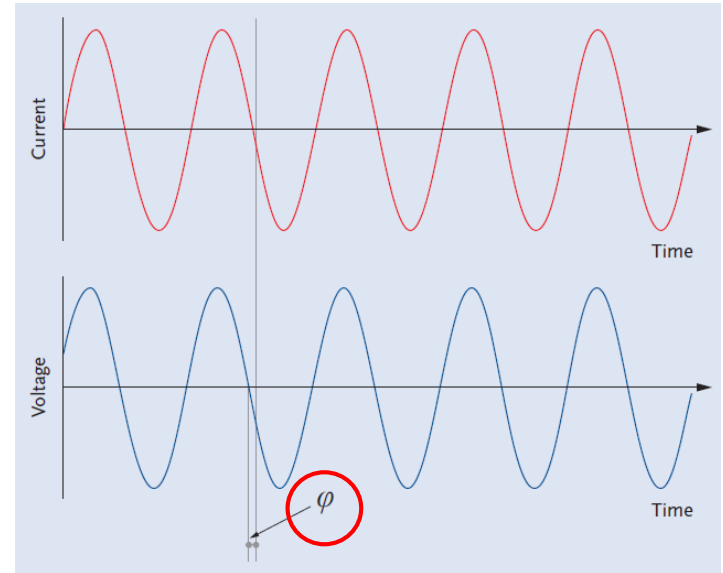
Definición de impedancia eléctrica



$$I = I_0 e^{j\omega t}$$

$$V = V_0 e^{j\omega t + \varphi}$$

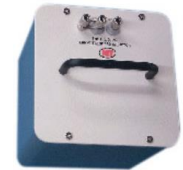
$$Z = \frac{V_0}{I_0} e^{j\varphi}$$



$$\varphi = 0^\circ$$



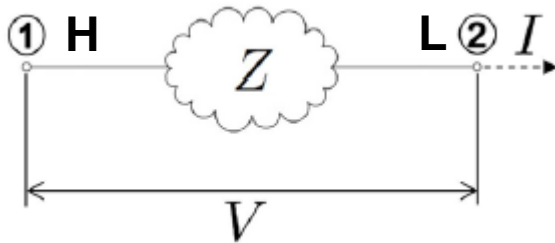
$$\varphi = -90^\circ$$



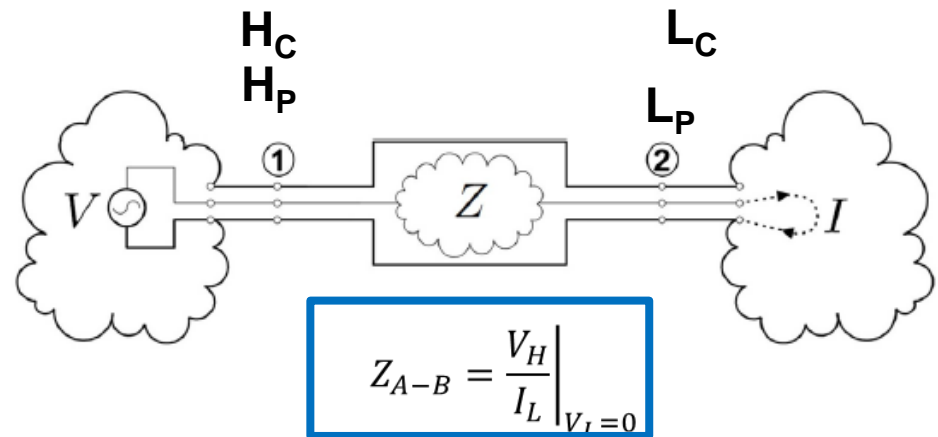
$$\varphi = +90^\circ$$



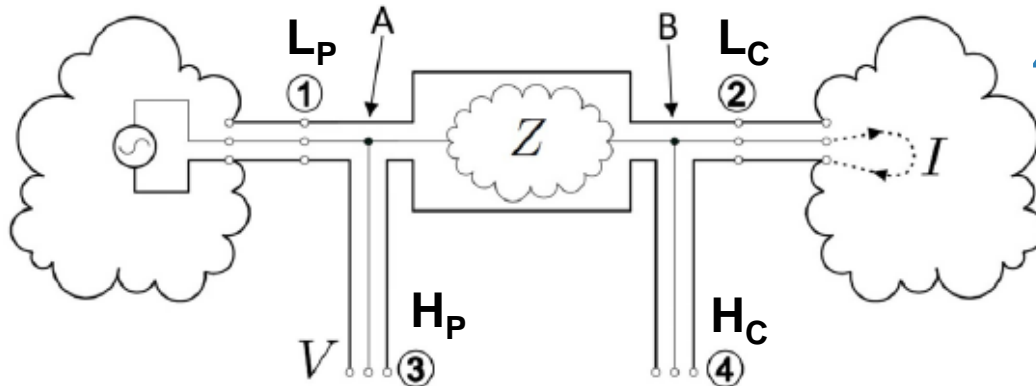
Configuración de impedancias



2 Terminales (2 T)



2 Pares de Terminales (2 PT)
Impedancias altas



4 Pares de Terminales (4 PT)
Impedancias bajas
Medidas precisas de impedancia




Trazabilidad en la medida de impedancia


Realizaciones primarias de las unidades eléctricas



Inductancia
Puente Maxwell-Wien



Tensión CC
Efecto Josephson



Resistencia CC
Efecto Hall Cuántico



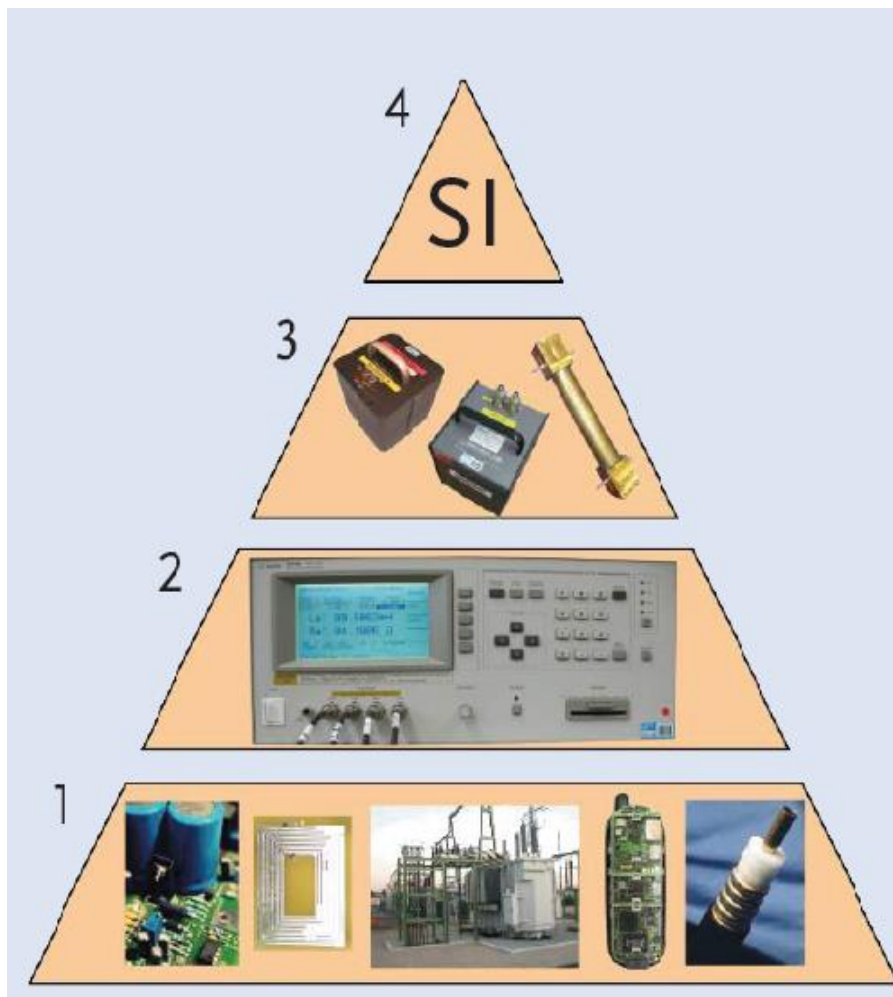
Resistencia CA
Capacidad
Resistencia calculable + puentes coaxiales



Capacidad
Condensador calculable



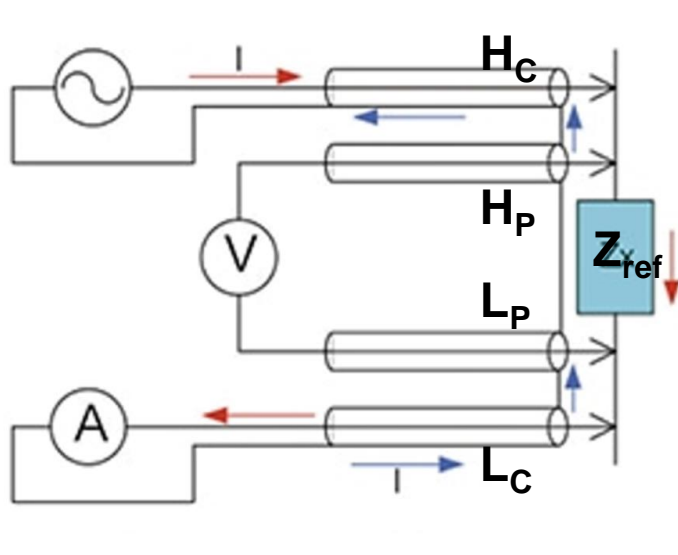
Trazabilidad en la medida de impedancia



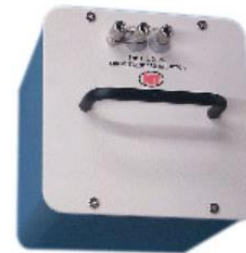


2. Calibración clásica de medidores de impedancia (LCRs)

Método de medida basado en artefactos (patrones previamente calibrados)



$$Z_{LCR} = V / I$$



Rango impedancias: 1 mΩ a 1 GΩ
Rango frecuencias: 10 Hz a 10 MHz

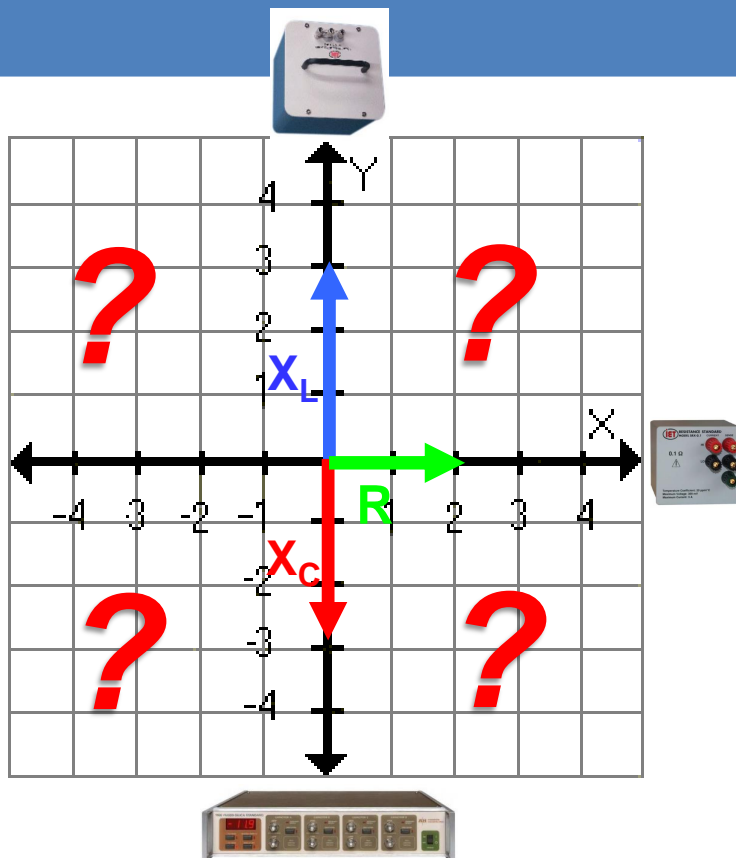


3. Limitaciones del método clásico calibración LCRs

Calibración parcial de los medidores LCR



- Sólo se calibran en puntos fijos (patrones con valores nominales fijos múltiplos de 10)
- Sólo se calibran en ángulos fijos: -90° , 0° y $+90^\circ$





3. Limitaciones del método clásico calibración LCRs



Necesidad de disponer de un gran número de patrones de impedancia calibrados



Procedimiento no automatizado, es necesario manipular los patrones durante la medida.



4. Proyecto europeo AIM QuTE

SIB53 AIM QuTE

AIM QuTE

EMRP 2013-2016



Automated impedance metrology extending the quantum toolbox for electricity

Objetivo: Extender las escalas de impedancia a valores intermedios dentro del rango de 10Ω a $1 M\Omega$, para todos los valores de ángulo de fase y hacia valores demandados por la nanotecnología (capacidades inferiores a fF), junto con el desarrollo de los patrones correspondientes.

- Coordinado por el PTB
- CEM participante



5. Simulador de impedancia

Desarrollado en proyecto AIM QuTE con el objetivo de mejorar y automatizar el procedimiento de calibración de medidores de impedancia o LCRs.

Rango frecuencia: 100 Hz a 20 kHz

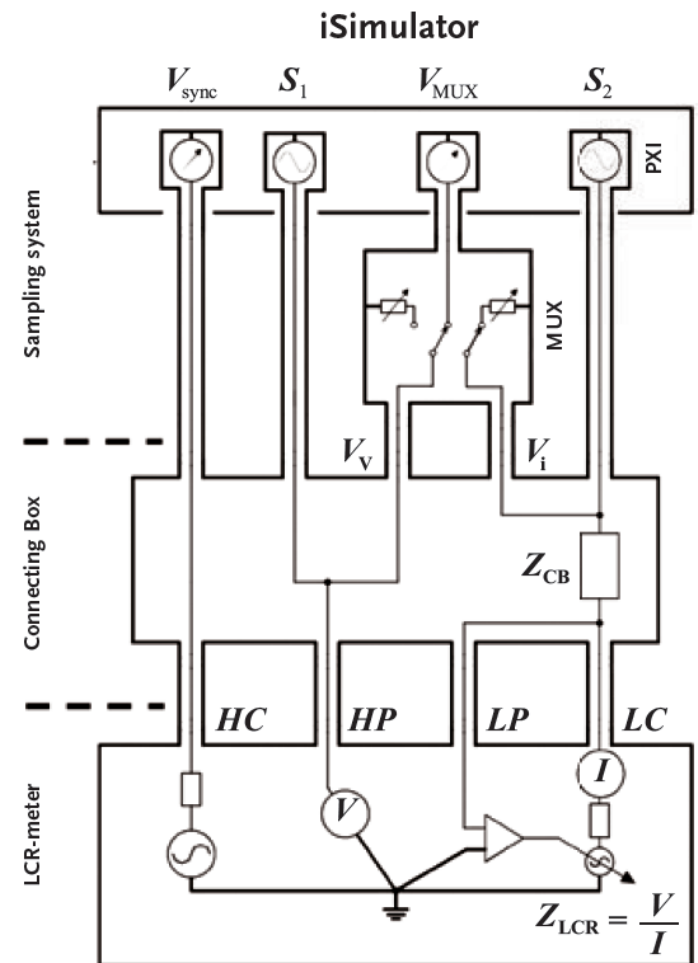
Rango impedancia: 1 Ω a 10 M Ω .

Rango fase: +90 a -90°

Principio básico del simulador de impedancias

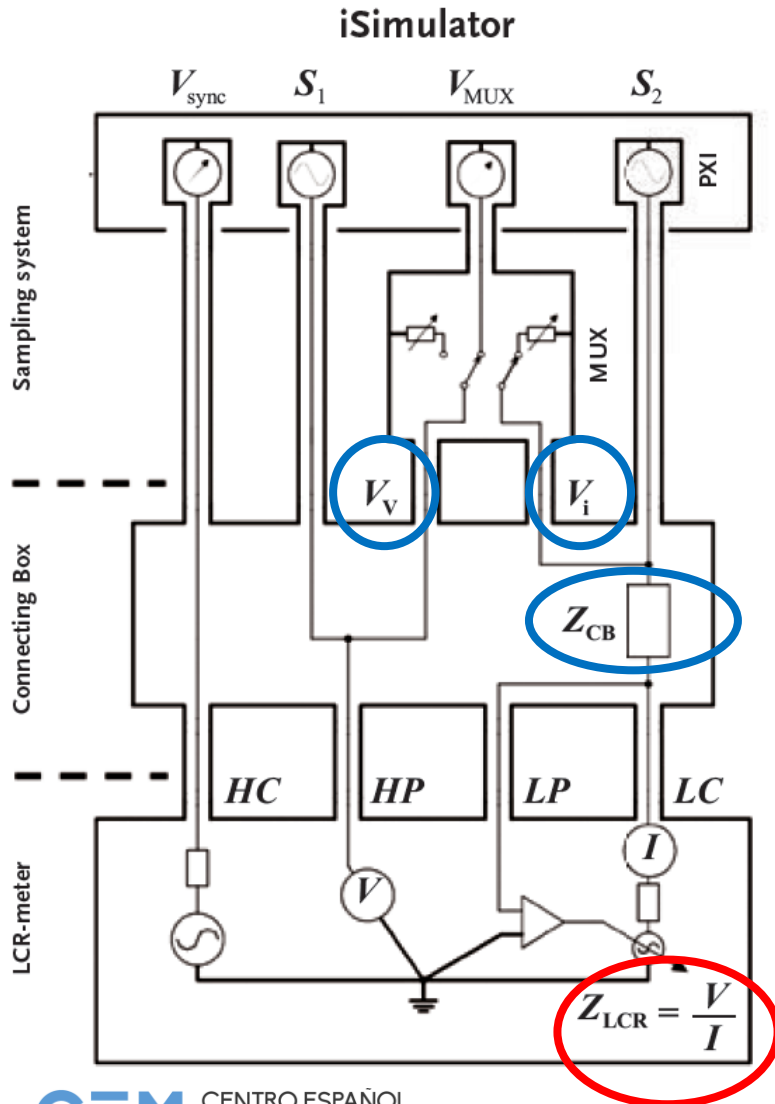
V e I medidas por el LCR para calcular Z se generan independientemente mediante dos fuentes de tensión externas.

Ajustando las amplitudes y el desfase de ambas fuentes, la impedancia puede cubrir todo el plano complejo.

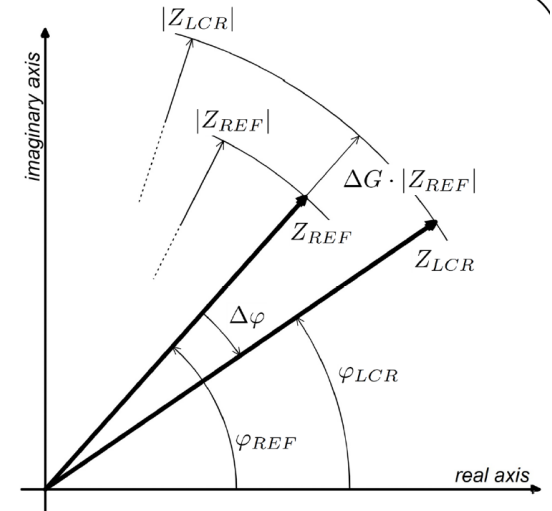




Principio de medida del simulador de impedancia

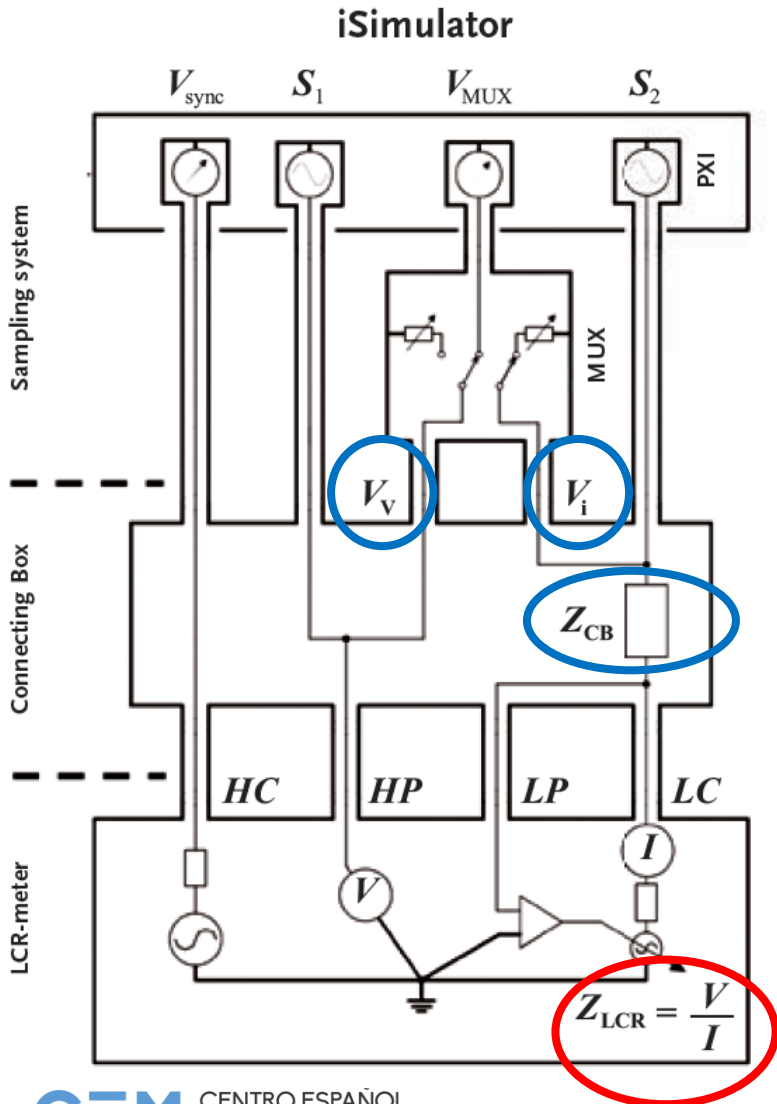


$$Z_{REF} = \frac{V_{HP}}{i_{LC}} = \frac{V_v}{V_i} \cdot Z_{CB}$$



$$\Delta G = \left| \frac{Z_{LCR}}{Z_{REF}} \right| - 1$$

$$\Delta \varphi = \varphi_{LCR} - \varphi_{REF}$$



Incertidumbre calibración LCRs con simulador de impedancia

$$Z_{REF} = \frac{V_{HP}}{i_{LC}} = \frac{V_v}{V_i} \cdot Z_{CB}$$

Z_{CB} : resistencia de referencia de la caja de conexiones

Incertidumbre calibración limitada por las características (resolución, ruido, estabilidad) del LCR a calibrar



Incertidumbre debida a la resistencia Z_{CB} : 10^{-6}

Incertidumbre debida a la frecuencia: despreciable



despreciables frente a especificaciones medidor LCR ($\sim 10^{-4}$)



6. Conclusiones

- Es necesaria la trazabilidad de los medidores de impedancia en todo el campo complejo.
- A raíz de la participación en el proyecto europeo AIM QuTE el CEM ha implementando un simulador de impedancia.
- Nuevo servicio de calibración de medidores de impedancia en todo el plano complejo disponible.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, COMERCIO
Y TURISMO

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

