

Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires

66.44 Instrumentos Electrónicos

Trabajo Práctico N°3: Impedancímetro, RLC,
Q-metro y puente de impedancias

Integrantes:

Padrón	Nombre	Email
92903	Sanchez, Eduardo Hugo	hugo_044@hotmail.com
91227	Soler, José Francisco	francisco.tw@hotmail.com
xxx	Wawrynczak, Claudio	claudiozak@gmail.com

Índice

1. Objetivo	3
2. Desarrollo	4
2.1. Mediciones con el Q-metro	4
2.1.1. Inductancia de una bobina con núcleo de aire	4
2.2. Mediciones con el RLC	5
2.2.1. Inductancia de una bobina con núcleo de aire	5
2.2.2. Capacidad de un capacitor electrofónico	6
2.2.3. Capacidad de un capacitor cerámico	6
2.3. Mediciones con el puente de impedancias	6
2.3.1. Inductancia de una bobina con núcleo de aire	6
2.4. Mediciones con el impedancímetro	6
2.4.1. Frecuencia de resonancia de una bobina con núcleo de aire	6
2.4.2. Inductancia de una bobina con núcleo de ferrite	7
2.4.3. Parámetros de una línea de transmisión	7
2.4.4. Parámetros de un cristal	8
2.4.5. Mediciones en un circuito activo	8
3. Conclusiones	8

1. Objetivo

El objetivo del presente trabajo práctico es familiarizarse con el Q-metro, el RLC meter, el impedancímetro vectorial. Dicho instrumental sirve para medir impedancias. Luego de realizar las experiencias se intentará determinar en qué circunstancias conviene utilizar uno en vez de otro.

2. Desarrollo

Para llevar a cabo las mediciones, se utilizan los siguientes instrumentos:

- Q-metro 4342A Hewlett Packard
- LCR 819 GW Instek
- algo
- Cable coaxil para realizar las distintas conexiones entre instrumentos.

2.1. Mediciones con el Q-metro

2.1.1. Inductancia de una bobina con núcleo de aire

El circuito simplificado de un Q-metro se muestra en la Figura 1

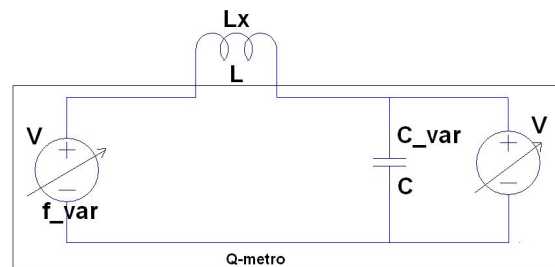


Figura 1: Esquema simplificado del Q-metro

Como es un circuito serie, la máxima corriente se obtiene en la resonancia, dado que la reactancia inductiva de la bobina se cancela con la capacitiva. Si fuesen componentes ideales, la corriente sería infinita y los valores de tensiones de la bobina y del capacitor serían $+\infty$ y $-\infty$ respectivamente.

Como no son componentes ideales, los mismos tienen pérdidas y se los modelizan con una resistencia, por ende, la corriente no es infinita. La respectiva tensión del capacitor en situación de resonancia es $V_c = \frac{X_L \cdot V}{R}$.

Como el valor de Q es $Q = \frac{\omega L}{R}$, se observa que

$$V_c = Q \cdot V$$

La frecuencia de resonancia se la puede determinar de la siguiente forma

$$|X_L| = |X_C| \Rightarrow \omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Conocidos los valores de la capacidad, C , y la frecuencia, f , puede obtenerse el valor de la inductancia de L_x y también su resistencia serie equivalente con las siguientes expresiones

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 f^2 C} + \epsilon_L \cdot L$$

Donde $\epsilon_L = 2\epsilon_f + \epsilon_C = 2 \cdot 1,5\% + \frac{0,1pF}{C}$, puede calcularse a partir de las especificaciones del fabricante.

$$R_s = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{Q} + \epsilon_{R_s} \cdot R_s$$

Donde $\epsilon_{R_s} = \epsilon_f + \epsilon_Q = 1,5\% + 7\% = 8,5\%$ se obtiene también de las especificaciones del fabricante.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para un inductor realizando un barrido de frecuencias.

Frecuencia	C	Q	L (calculado)	R_s (calculado)
13,3 MHz $\pm 1,5\%$	25 pF $\pm 0,1pF$	182 $\pm 7\%$	5,73 μHy $\pm 3,40\%$	2,63 Ω $\pm 8,5\%$
10,7 MHz $\pm 1,5\%$	40 pF $\pm 0,1pF$	200 $\pm 7\%$	5,54 μHy $\pm 3,25\%$	1,86 Ω $\pm 8,5\%$
9,6 MHz $\pm 1,5\%$	50 pF $\pm 0,1pF$	200 $\pm 7\%$	5,50 μHy $\pm 3,20\%$	1,66 Ω $\pm 8,5\%$
6,9 MHz $\pm 1,5\%$	100 pF $\pm 0,1pF$	195 $\pm 7\%$	5,33 μHy $\pm 3,10\%$	1,18 Ω $\pm 8,5\%$
4,0 MHz $\pm 1,5\%$	305 pF $\pm 0,1pF$	170 $\pm 7\%$	5,20 μHy $\pm 3,03\%$	0,77 Ω $\pm 8,5\%$
3,2 MHz $\pm 1,5\%$	470 pF $\pm 0,1pF$	155 $\pm 7\%$	5,17 μHy $\pm 3,02\%$	0,68 Ω $\pm 8,5\%$

Cuadro 1: Mediciones con el Q-metro

De la Tabla puede observarse que las mediciones de inductancia tienen una incerteza baja (menor al 4% en todos los casos) y que la mayor parte de su incerteza está compuesta por la incerteza de la frecuencia. Con lo cual utilizando un instrumento que determine la frecuencia con menor incerteza (como un frecuencímetro) se mejora notablemente la incertidumbre de la inductancia. Esto se realiza, obteniéndose una incerteza menor al 1% en todos los casos. Por otra parte, las resistencias serie equivalente calculadas tienen un grado de dispersión mayor que en el caso anterior. Esto ocurre principalmente a medida que la frecuencia aumenta ya que empieza a hacerse notar el efecto capacitivo parásito que presenta el inductor (notar de la Tabla que el valor de Q alcanza un máximo y que luego debe disminuir hasta 0 cuando alcanza la frecuencia de resonancia). Además se obtiene con una incerteza dominada principalmente por la incerteza del factor Q (que es el 7%). Con lo cual si se desea obtener una incerteza menor deberá elegirse otro instrumento que no tenga un piso de incertidumbre.

2.2. Mediciones con el RLC

2.2.1. Inductancia de una bobina con núcleo de aire

En la Tabla 2 se puede observar los resultados obtenidos de la medición de una bobina con núcleo de aire a diferentes frecuencias, usando el RLC. De ella puede notarse que los valores de inductancia obtenidos son próximos al valor de referencia y al de las mediciones realizadas con el Q-metro (ver Tabla 1). Sin embargo, debe notarse que a diferencia de los valores obtenidos con el Q-metro, el RLC tiene una incerteza un orden menor, con lo cual resulta ser un instrumento más exacto. Pero, por otra parte, posee la desventaja de tener un rango limitado de frecuencias de operación (desde 12 Hz hasta 100,00 kHz) con lo cual resulta imposible caracterizar su comportamiento en altas frecuencias. Respecto al valor de la resistencia equivalente, si bien su valor se calcula empleando

las fórmulas utilizadas previamente, este valor figura en una segunda pantalla del instrumento y su incerteza se especifica al 0,05 %

Frecuencia	Q	L	R (calculado)
100,000 kHz	36,58 $\pm 0,5 \%$	5,23 $\mu Hy \pm 0,5 \%$	89,8 $m\Omega$
66,660 kHz	29,44 $\pm 0,5 \%$	5,26 $\mu Hy \pm 0,5 \%$	74,8 $m\Omega$
50,000 kHz	25,11 $\pm 0,5 \%$	5,29 $\mu Hy \pm 0,5 \%$	66,2 $m\Omega$
40,000 kHz	22,42 $\pm 0,5 \%$	5,31 $\mu Hy \pm 0,5 \%$	59,5 $m\Omega$
28,572 kHz	19,07 $\pm 0,5 \%$	5,35 $\mu Hy \pm 0,5 \%$	50,4 $m\Omega$
20,000 kHz	16,10 $\pm 0,5 \%$	5,40 $\mu Hy \pm 0,5 \%$	42,1 $m\Omega$
10,000 kHz	10,78 $\pm 0,5 \%$	5,46 $\mu Hy \pm 0,5 \%$	31,8 $m\Omega$
1,000 kHz	1,36 $\pm 0,5 \%$	5,53 $\mu Hy \pm 0,5 \%$	25,5 $m\Omega$

Cuadro 2: Mediciones con el RLC

2.2.2. Capacidad de un capacitor electroítico

2.2.3. Capacidad de un capacitor cerámico

2.3. Mediciones con el puente de impedancias

En la Tabla 3

Frecuencia	Q	L	R (calculado)
20 kHz	20	5,10 μHy	32 $m\Omega$
1 kHz	1.8	6,30 μHy	22 $m\Omega$

Cuadro 3: Mediciones con el RLC

2.3.1. Inductancia de una bobina con núcleo de aire

2.4. Mediciones con el impedancímetro

2.4.1. Frecuencia de resonancia de una bobina con núcleo de aire

La frecuencia de resonancia se obtiene cuando la parte reactiva de la impedancia a medir tiene fase nula, es decir, cuando

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Con lo cual, conocida la frecuencia de resonancia y asumiendo que la inductancia no varía demasiado con la frecuencia puede obtenerse la capacidad equivalente del modelo (el cual se puede observar en la Figura 2). De esta manera

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L} + \epsilon_C \cdot C$$

Donde $\epsilon_C = 2\epsilon_w + \epsilon_L \approx \epsilon_L = 3,40 \%$, ya que la incerteza de la frecuencia (obtenida con un frecuncímetro) es mucho menor a la de la inductancia (obtenida con el Q-metro en $f = 13,3 MHz$) De esta manera se halló la frecuencia

($f_{resonancia} = 35,440 \text{ MHz}$) para la cual se obtuvo fase nula y se calculó la capacidad equivalente

$$C = \frac{1}{(2\pi 35,440 \text{ MHz})^2 \cdot L} \pm \epsilon_C \cdot C = 3,52 \text{ pF} \pm 3,40 \%$$

En la Figura 3 se puede observar una simulación realizada con el modelo equi-

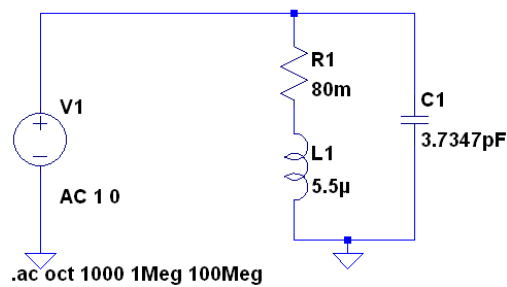


Figura 2: Modelo equivalente del inductor

valente, donde se puede observar la impedancia en función de la frecuencia y la resonancia en $f_{resonancia}$.

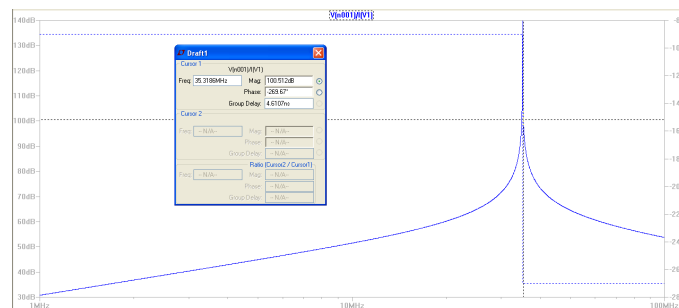


Figura 3: Respuesta en frecuencia típica de un inductor

2.4.2. Inductancia de una bobina con nucleo de ferrite

En la Tabla 4

2.4.3. Parámetros de una línea de transmisión

Como la impedancia de entrada de una línea de transmisión (la que mide el impedancímetro) está dada por

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh(\gamma L)}{Z_0 + Z_L \tanh(\gamma L)}$$

Frecuencia	$ Z $	$\arg(Z)$	L (calculado)
25,5 MHz	160 Ω	90°	0,99 μH
42 MHz	260 Ω	90°	0,98 μH
44,8 Hz	300 Ω	85°	1,06 μH
58,2 Hz	430 Ω	78°	1,17 μH
69,5 Hz	560 Ω	72°	1,28 μH
80,0 Hz	640 Ω	55°	1,27 μH
84,0 Hz	550 Ω	45°	1,04 μH
93,0 Hz	430 Ω	70°	0,73 μH
100,0 Hz	750 Ω	65°	1,19 μH

Cuadro 4: Mediciones con el RLC

Suponiendo que la línea es de bajas pérdidas $\gamma = \alpha + j\beta = j\beta = j\frac{2\pi}{\lambda}$ y si además se impone la condición de que $L = \frac{\lambda}{8}$ entonces la expresión de la impedancia de entrada se reduce a la siguiente

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0}{Z_0 + jZ_L}$$

Si $Z_L = 0$ entonces $Z_{in} = jZ_0$

Si $Z_L \rightarrow \infty$ entonces $Z_{in} \rightarrow -jZ_0$ Entonces conectando una línea al impedancímetro a una frecuencia adecuada y dejando el extremo libre de la línea cortocircuitado o abierto se obtiene el valor de la impedancia de la línea, la cual es de $Z_0 = 75 \Omega$ ($f = 7,9 \text{ MHz}$ $L = 3 \text{ m}$)

Por otra parte se si se elije $L = \frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, 5\frac{\lambda}{2} \dots$ y que $Z_L \rightarrow \infty$, entonces puede obtenerse la atenuación de la línea

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \alpha L}{Z_0 + Z_L \alpha L} = \frac{Z_0}{\alpha L}$$

Despejando la atenuación de la línea se obtiene

$$\alpha = \frac{Z_0}{Z_{in} L}$$

o la atenuación en decibels cada 100 m

$$\alpha = \frac{Z_0 \cdot 8,69 \text{ dB}}{100 Z_{in} L}$$

Con la misma línea de 3 m con una frecuencia de 32 MHz se obtuvo una $Z_{in} = 2750 \Omega$ con lo cual $\alpha = 80 \text{ mdB/m}$

2.4.4. Parámetros de un cristal

2.4.5. Mediciones en un circuito activo

3. Conclusiones

Viva Venezuela!