

## SISTEMA BASADO EN MICROPROCESADOR PARA LA MEDIDA Y MODELADO DE COMPONENTES PASIVOS: DESARROLLO Y APLICACIÓN EN LABORATORIOS DOCENTES

F.J. PEREZ CEBOLLA

*Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza (EUITIZ). Universidad de Zaragoza. 50009-Zaragoza. España.*

*En el diseño de sistemas electrónicos resulta de gran interés conocer el modelo equivalente de los elementos pasivos que se van a emplear. Caracterizar el componente, mediante gráficas donde comprobar su comportamiento frecuencial, resulta muy pesado si no se dispone de instrumentación específica. En este documento presentamos un medidor de impedancias, desarrollado con carácter docente, que contribuye a facilitar dicha tarea, así como dos ensayos donde se observa el comportamiento no ideal de dos componentes.*

### 1. Introducción

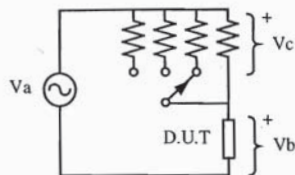
Si analizamos las especificaciones que aportan los fabricantes de componentes pasivos, observaremos profundas diferencias respecto a su comportamiento ideal e incluso se dan situaciones en que pueden llegar a operar de forma opuesta a la deseada; por ejemplo una resistencia bobinada de potencia de bajo valor óhmico trabajando a frecuencias por encima de la centena de KHz presenta comportamiento inductivo. Estas imperfecciones se manifiestan más claramente a frecuencias altas, pudiendo alterar el comportamiento de un diseño o ser la base de posibles interferencias.

La caracterización de un componente pasivo comienza por el análisis de su comportamiento frecuencial y la posterior formulación de un "modelo real" que lo represente. Dicho análisis resulta muy engorroso si no se dispone de instrumentación adecuada, dado que obliga a ensayar el componente de forma repetitiva a diferentes frecuencias, rellenando tablas con los resultados obtenidos, para posteriormente poder transformarlas en gráficas que permitan obtener conclusiones sobre la influencia de la frecuencia en el comportamiento del componente. Con la finalidad de facilitar a los estudiantes el estudio de dichas imperfecciones y propiciar un mejor entendimiento de las mismas, hemos preparado diversas prácticas de laboratorio y construido un prototipo de medición y análisis de impedancias, el cual presentamos brevemente a continuación.

### 2. Fundamentos matemáticos del medidor

El medidor de impedancias está basado en una etapa de medida muy sencilla consistente en un divisor de tensión, en el cual una tensión senoidal de frecuencia variable y amplitud constante de valor cuatro voltios se reparte entre una resistencia patrón y la impedancia a

medir. Conociendo la amplitud de la onda de tensión entre los extremos de la resistencia patrón y el desfase entre corriente y tensión en la impedancia a medir, obtener la parte real e imaginaria de la impedancia bajo test resulta inmediato, conocidos claro está, el valor de pico del generador y la resistencia patrón activa.



$$V_a = |V_a| \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$V_b = |V_b| \sin(\omega t + \phi_b) \quad (2)$$

$$V_c = |V_c| \sin(\omega t + \phi_c) \quad (3)$$

Figura 1. Puente de medida

Donde  $V_a$  es la onda de tensión del generador,  $V_b$  es la onda de tensión en la impedancia y  $V_c$  entre extremos de la resistencia patrón. Considerando la tensión del generador como origen de fases:

$$V_c = V_a - V_b = |V_a| - |V_b| (\cos \phi_b + j \sin \phi_b) \quad (4)$$

Siendo su amplitud y fase

$$|V_c| = \sqrt{[ |V_a| - |V_b| \cos \phi_b ]^2 + [ |V_b| \sin \phi_b ]^2} \quad (5)$$

$$\phi_c = \arctg \left\{ \frac{|V_b| \sin \phi_b}{|V_a| - |V_b| \cos \phi_b} \right\} \quad (6)$$

De este modo se consigue tener definidas las ondas de tensión en función de los parámetros conocidos. Determinando la amplitud de la corriente por el circuito se obtiene el modulo de la impedancia:

$$|I| = |V_c| / R \quad (7) \quad |Z| = |V_b| / |I| = \{ |V_b| * R \} / |V_c| \quad (8)$$

Mientras que su argumento se obtiene a partir de:

$$\phi_z = \phi_b - \phi_c \quad (9)$$

Definidos el modulo y el argumento de la impedancia bajo estudio, su parte real ( $R_z$ ) e imaginaria ( $I_z$ ) y su tangente de pérdidas ( $D$ ) y factor de calidad ( $Q$ ) serán:

$$R_z = |Z| \cos \phi_c \quad (10) \quad I_z = |Z| \sin \phi_c \quad (11) \quad D = |I_z| / R_z \quad (12) \quad Q = R_z / |I_z| \quad (13)$$

El sistema determina el signo del desfase mediante la variación del modulo de la impedancia bajo estudio al excitar a la frecuencia programada y a otra (espejo) un poco superior.

### 3. Características del medidor

El medidor ha sido pensado para poder trabajar de forma autónoma, tal como lo haría un analizador de impedancias convencional, o bien conectado a un PC. y de esta forma aprovechar las facilidades en cuanto a manejo de datos que el ordenador aporta.

En modo autónomo, el sistema identifica de forma automática el componente a estudio (resistencia, bobina o condensador), calcula su valor (mediante un autoescalado automático) y en caso de no ser despreciable, su parámetro parásito más notable. Puede también indicar el factor de calidad del componente y obtener su descomposición en parte real e imaginaria. Incluye un menú de modelos de circuitos equivalentes para determinar la presentación de resultados y, lo que es más importante, posibilita hacer medidas a cuatro frecuencias distintas: 100Hz, 1KHz, 10KHz, 1MHz. (las tres primeras son típicas en el análisis de condensadores) El rango de medida que abarca el sistema se muestra en la siguiente tabla:

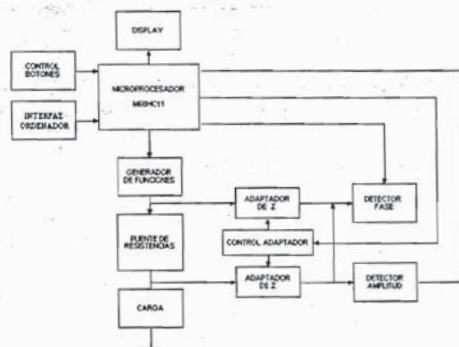
Componente	Mínimo	Máximo
Resistencia	0.1Ω	100MΩ
Condensador	2pF	100mFH
Bobina	500nH	10KH

**Tabla 1:** Rangos de medida

En modo PC las alternativas de análisis son más completas, siendo esta la aportación más importante del medidor respecto de la de uno convencional de gama alta. Además de proporcionar los resultados obtenidos en modo automático, acepta realizar barridos en frecuencia abiertos a distintas posibilidades: específicos (rango estrecho), generales (rango amplio), precisos (paso de frecuencias bajo), muestra la información en gráficos y en tablas que pueden ser almacenados o impresos en papel (sustituyendo el empleo de un trazador), calcula los parámetros asociados a los modelos equivalentes más habituales de resistencias, bobinas y condensadores a frecuencias entre 100Hz y 10MHz. y dispone además de una completa ayuda, acompañada de ejemplos didácticos, para aprender a manejar todas estos recursos.

El medidor desarrollado es de bajo coste lo que permite dotar con uno de ellos a cada puesto de laboratorio para las practicas relacionadas con componentes pasivos y tecnología de componentes.

#### 4. Diagrama de bloques

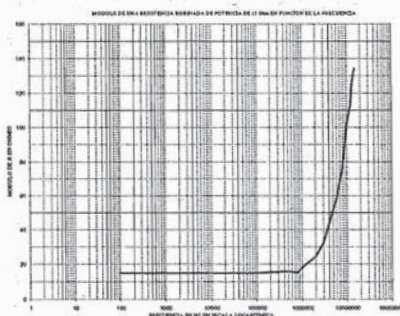


**Figura 1.** Diagrama de bloques del medidor

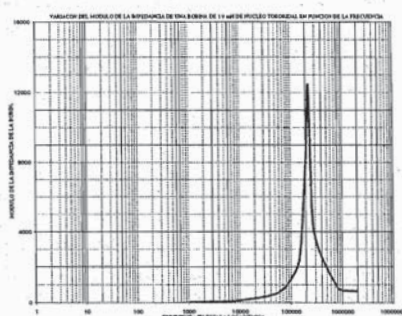
El diagrama de bloques del medidor se muestra en la figura 1. Este se divide en 6 bloques:: Etapa de control: Microprocesador, Etapa de medida (medidor), Alimentación del sistema, Interconexión con aparatos externos PC, Pantalla representativa de resultados, Controles manuales por el usuario (botones). Debe prestarse especial atención en el desarrollo del bloque encargados de la captura del valor de pico cuando se trabaja a frecuencias del orden de MHz. Dado que las etapas clásicas basadas en diodo y condensador no resultan eficientes. Deben tenerse en cuenta también los problemas asociados a la amplificación de la señal de salida del generador encargado de excitar la impedancia a medir a frecuencias elevadas (MAX038) donde una solución simple es el empleo de AO's realimentados en modo corriente.

## 5. Resultados

Como ejemplo mostramos dos gráficas que son el resultado del ensayo por los estudiantes en practicas de componentes de dos elementos pasivos propios de cualquier laboratorio de electrónica. La primera gráfica pone de manifiesto como en una resistencia bobinada de  $15\Omega$  sometida a una frecuencia en torno a los 100KHz comienzan a notarse efectos parásitos y como por encima de 800KHz su comportamiento es prácticamente inductivo. En la segunda gráfica el componente ensayado es una bobina de núcleo de polvo de hierro de 1,9mH, y como podemos apreciar por encima de los 200KHz su comportamiento pasa a ser predominantemente capacitivo.



Gráfica 1. Variación de la impedancia de una resistencia en función de la frecuencia



Gráfica 2. Variación de la impedancia de una bobina en función de la frecuencia

## 6. Referencias

- [1] J. Balcells, F Daura, R. Esparza, R. Pallas. *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos*. Marcombo (1992).
- [2] R. Alvarez. *Materiales y componentes electrónicos pasivos*. Editesa.(1990).
- [3] V. Meeldjik. *Electronic Components. Selection and application guidelines*. John Wiley & Sons (1994).
- [4] B. Martín del Brío. *Microprocesadores y microcontroladores (6800 y 68HC11)*. Universidad de Zaragoza (1997)