

Experiencia de laboratorio para la determinación de permitividades relativas

Alejandro Ayala Alfonso, Silvestre Rodríguez Pérez, Oswaldo González Hernández, Beatriz Rodríguez Mendoza y Manuel Rodríguez Valido

Dpto. de Física Fundamental y Exp., Electrónica y Sistemas
Universidad de La Laguna
La Laguna, Tenerife, España

aayala@ull.es, srdguezp@ull.es, oghdez@ull.es, bmendoza@ull.es, mrvalido@ull.es

Abstract— This work presents the design and implementation of an electronic device based on the microcontroller PIC 16F877, which is capable to measure the relative permittivity of liquids. The development of such a measurement prototype, whose implementation has been conceived as a project for undergraduates in their final course of Electronics Engineering, allows the students to understand how their knowledge in electronics can be applied to develop devices useful for other experimental disciplines, in this case, an electronic instrument for the measurement of electrical properties of liquids.

Microcontroladores, dieléctricos, circuitos resonantes, conversores analógicos digitales y digitales analógicos

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo se ha centrado en el diseño e implementación de un sistema electrónico para la determinación de la permitividad relativa (ϵ_r) de sustancias líquidas [1, 2]. Dicha experiencia, dirigida a alumnos de electrónica, constituye un ejemplo donde éstos pueden aplicar sus conocimientos a la medida de dicha variable, permitiéndoles aunar conceptos puramente electrónicos con otros propios del campo de la física.

Para la medida de ϵ_r , el sistema basa su funcionamiento en un circuito resonante RLC serie donde se hace uso de una de sus características fundamentales: la “frecuencia de resonancia” (f_0) [3, 4], para la cual la tensión entre los extremos de los componentes L y C será mínima (idealmente cero voltios). Si hacemos que la capacidad C sea la célula de medida, al introducir ésta en una muestra líquida desconocida, la misma actuará como dieléctrico modificando, a su vez, dicha frecuencia f_0 . De esta forma, y mediante el calibrado correspondiente, seremos capaces de medir ϵ_r de manera indirecta a partir de la frecuencia de resonancia del circuito RLC.

El valor de f_0 se determina mediante la realización de un barrido en frecuencia con objeto de calcular para qué valor de esta variable la tensión entre los extremos de L y C es mínima. A tal fin, se ha hecho uso de un Oscilador Controlado por Tensión (VCO) [3, 4]. Todo el sistema es controlado mediante un microcontrolador PIC (PIC16F877) [5, 6], que será el encargado de detectar tanto la resonancia como la frecuencia a

la que ésta tiene lugar. Los valores de ϵ_r , la temperatura a la que se efectúa la medida y la frecuencia de resonancia, serán mostrados en un display conectado al PIC. La Fig. 1 muestra el diagrama general de bloques del sistema implementado.

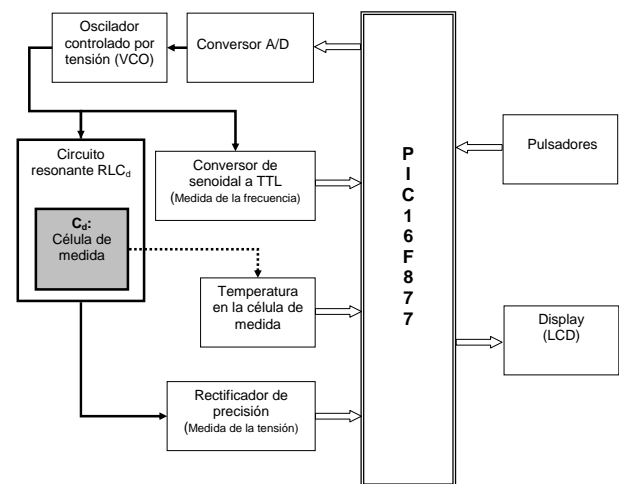


Figura 1. Diagrama general de bloques del sistema

II. CÉLULA DE MEDIDA

Para la determinación de ϵ_r se ha hecho uso de la célula de medida mostrada en la Fig. 2 y construida mediante el uso de dos placas de aluminio separadas cierta distancia, lo que le confiere una geometría de “condensador de placas plano-paralelas” y donde la sustancia, de la que se desea obtener su permitividad relativa, actuará como dieléctrico de la misma al ser situada, por inmersión, entre sus placas [3].

En la Fig. 3, se muestra el circuito equivalente de dicha célula y que está constituido por la resultante en paralelo entre una componente capacitiva (C_d) y otra resistiva (R_d), cuyos valores vienen definidos por (1) y (2), respectivamente.

$$C_d = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} \quad (1)$$

$$R_d = \rho \frac{d}{s} \quad (2)$$

Donde s es la superficie de las placas, d su separación, ϵ_0 la permitividad del vacío y ρ representa la resistividad del medio bajo estudio. En este caso, $s = 12 \text{ cm}^2$ y $d = 3 \text{ mm}$.

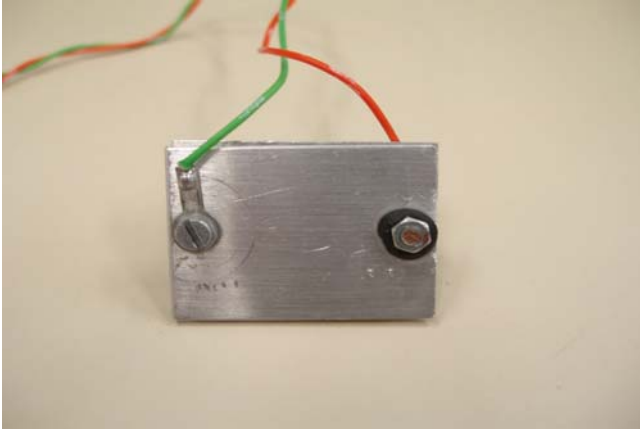


Figura 2. Célula capacitiva de medida

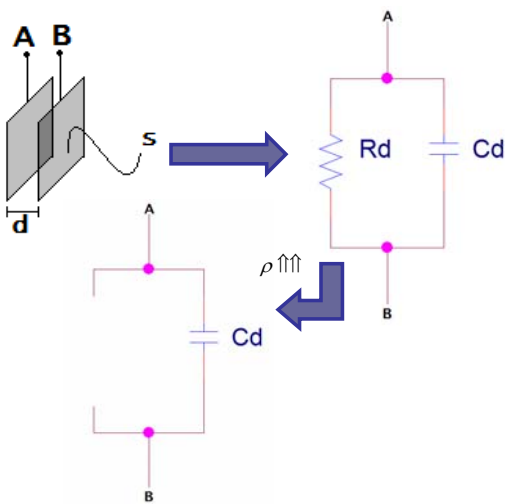


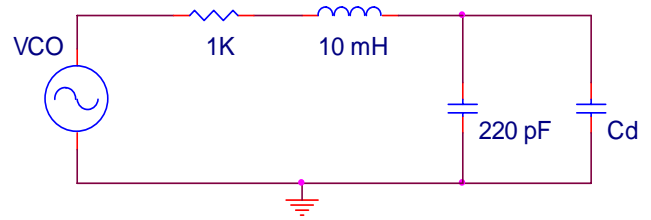
Figura 3. Circuito equivalente de la célula de medida

Para el caso de medios no conductores, podemos suponer ρ lo suficientemente alta para considerar la célula de medida únicamente como un condensador de placas plano-paralelas de capacidad C_d (Fig. 3). Ésta, como ya se ha indicado, se introduce como parte de un circuito resonante RLC_d serie (Fig. 4), cuya frecuencia de resonancia viene dada por (3), y donde la capacidad de la célula se ha sustituido por el valor mostrado en (1). Observando (3), podemos comprobar que la frecuencia de resonancia depende teóricamente sólo del valor de la ϵ_r del medio dieléctrico que se encuentra entre sus placas.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\epsilon_0\epsilon_r\frac{s}{d}}} \quad (3)$$

III. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

Como se ha manifestado con anterioridad, el núcleo central del presente trabajo lo constituye el circuito resonante RLC_d serie capaz de modificar el valor de f_o en función de ϵ_r . Sin embargo, como muestra el diagrama general de la Fig. 1, es el microcontrolador PIC16F877 el encargado de gestionar todo el sistema y el que, a su vez, se comunica con el usuario mediante



pulsadores y un display.

Figura 4. Circuito RLC serie

Para determinar f_o , el barrido en frecuencia se efectúa haciendo uso de un generador de señal que opera como VCO (concretamente el modelo GF-232 de la casa Promax). Dicho generador, posee en su parte posterior una entrada de tensión capaz de controlar la frecuencia de la señal senoidal que genera (Fig. 5). Dicha tensión de control será proporcionada por el

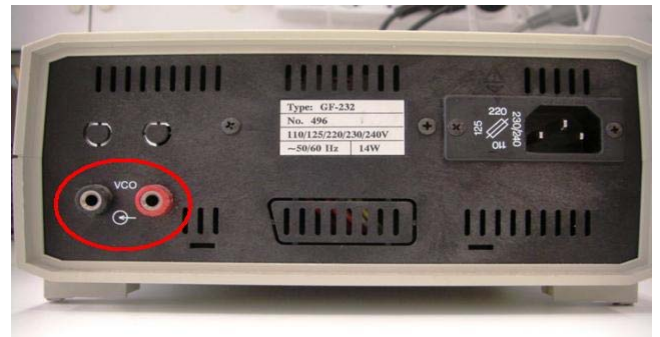


Figura 5. Entrada de control del VCO

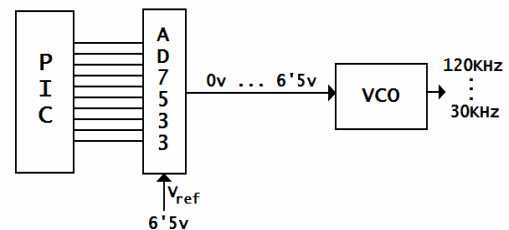


Figura 6. Diagrama de bloques del circuito de control del VCO

circuito cuyo diagrama de bloques es mostrado en la Fig. 6, y donde el microcontrolador PIC envía un dato comprendido entre 0 y 1024 a un Conversor Digital Analógico (CDA) de 10 bits (concretamente el AD7533) permitiendo con ello variar la frecuencia de la señal entre los extremos del circuito RLC_d entre 30 y 120 KHz, que es el valor máximo capaz de medir el PIC. La Fig. 7 muestra su esquema eléctrico.

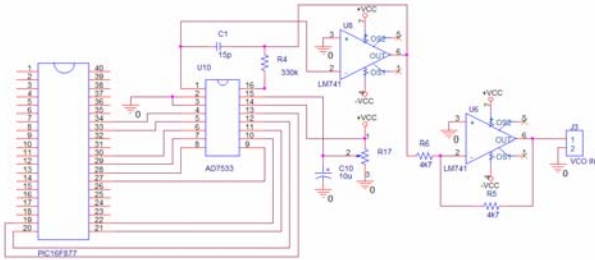


Figura 7. Esquema eléctrico del circuito de control del VCO

Para lograr que en todo momento f_0 se encuentre por debajo de 120KHz, y con ello poder detectar la resonancia, se ha hecho necesario incluir un condensador de 220 pF en paralelo con C_d (ver Fig. 4). De esta forma, incluso en medios dieléctricos con ϵ_r próximos a la unidad como el aire, es posible efectuar la medida.

La resonancia se detecta cuando la tensión entre los extremos de L y C_d pasa por un mínimo, midiendo en ese momento la frecuencia de la señal generada por el VCO. Para medir la variación de dicha tensión, se ha recurrido a un rectificador de precisión que nos permitirá obtener una tensión de continua (Fig. 8) que es llevada a una de las entradas multiplexadas del Conversor Analógico Digital interno (CAD) [4] que posee el PIC16F877. De esta forma, el microcontrolador determina el momento en el que el circuito está en resonancia.

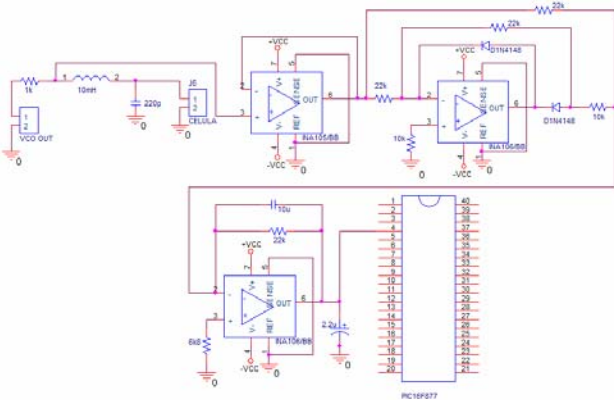


Figura 8. Esquema eléctrico del circuito rectificador de precisión

En cuanto a la medida de la frecuencia, el PIC efectúa su lectura a partir de la señal cuadrada de niveles TTL obtenida mediante el uso de un comparador de señal [4] a la salida del VCO a través del pin RA2 del 16F877. Las Figs. 9 y 10 muestran, respectivamente, el circuito eléctrico del comparador y una comparativa entre sus señales de entrada y salida.

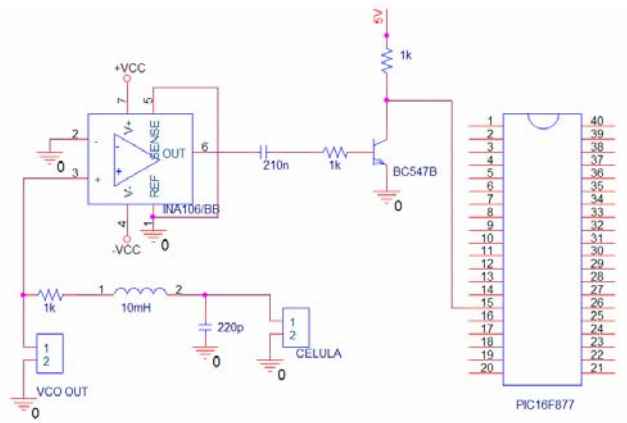


Figura 9. Esquema eléctrico del comparador de señal

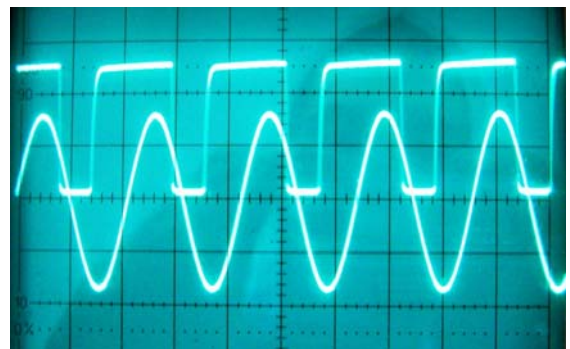


Figura 10. Señales de entrada y salida del comparador

Otra de las entradas del CAD que incorpora el 16F877, fue utilizada para medir la temperatura de la muestra, haciendo uso como sensor del circuito LM35 que aporta una tensión lineal con un factor de escala de 10 mV/°C (Fig. 11). Dicha variable cobra especial importancia en el caso de sustancias polares, donde la polarizabilidad por orientación, marcadamente dependiente de la temperatura, influye de manera importante en la medida de ϵ_r .

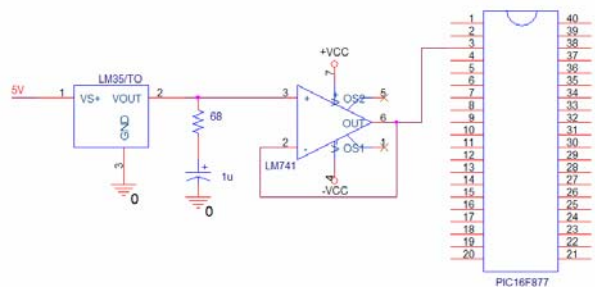


Figura 11. Circuito para la medida de la temperatura

La relación experimental entre la permitividad relativa del medio a estudio y la frecuencia de resonancia del circuito RLC_d, necesaria para que el microcontrolador determine ϵ_r , se efectuó haciendo un calibrado cuyo resultado es mostrado en la

Fig. 12. Para el mismo, se utilizaron siete sustancias de ϵ_r conocida y donde, por regresión, se obtuvo la expresión algebraica dada en (4).

$$\epsilon_r = \left(a + \frac{b}{\sqrt{f_o}} \right)^2 \quad (4)$$

$a = -15.788154$
 $b = 5477.8142$

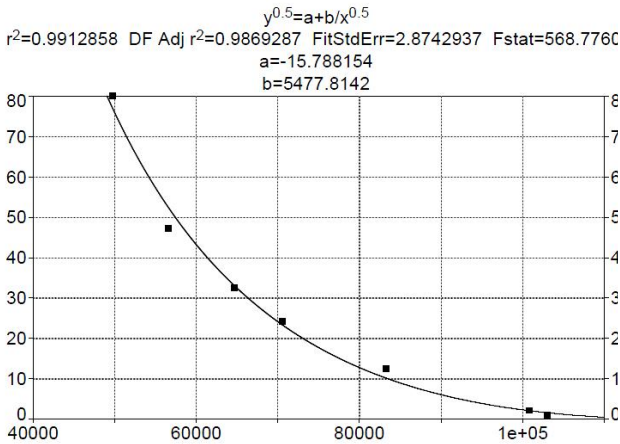
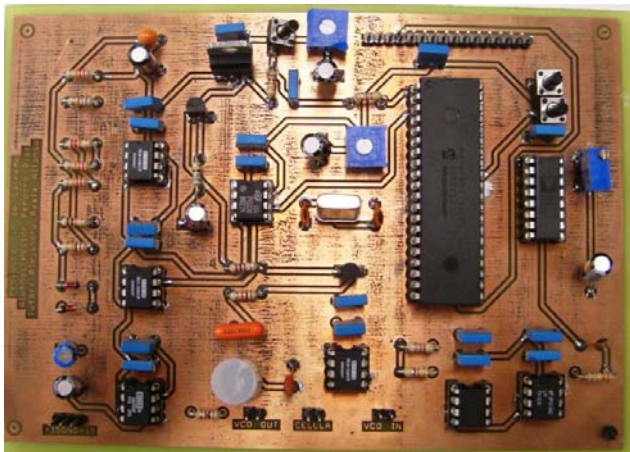


Figura 12. Variación de ϵ_r con f_o .

Los diferentes bloques electrónicos indicados con anterioridad conforman el sistema de medida, cuyo aspecto final es el mostrado en la Fig. 13. En ésta, es posible observar, en la parte superior central, el pulsador del Reset del microcontrolador, mientras que en el lado derecho de la placa son visibles los dos pulsadores utilizados para hacer las medidas.

Figura 13. Placa de circuito impreso del sistema de medida



IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema, se utilizaron diferentes sustancias a las que se les determinaba el

valor de ϵ_r , siendo el resultado comparado con los tabulados en la bibliografía. El proceso consistía en añadir éstas en un recipiente en cantidad suficiente para cubrir la célula conjuntamente con el sensor de temperatura.

Tras cada medida, era necesario limpiar y secar la célula antes de ser introducida en otra muestra.

La Fig. 14 muestra un ejemplo de la presentación de los datos por parte del dispositivo y en donde podemos observar que, conjuntamente con el valor de ϵ_r , se muestran la frecuencia de resonancia y la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ a la que se efectuó la medida. En todos los casos, los resultados arrojaron diferencias menores al 6% respecto a los valores tabulados.



Figura 14. Ejemplo de medida

V. CONCLUSIONES

El sistema implementado conforma una experiencia de laboratorio de carácter didáctico donde los alumnos pueden comprobar como los conocimientos de tipo meramente electrónico que poseen pueden ser aunados para obtener un dispositivo de utilidad práctica. En ese sentido, éstos pueden:

- Diseñar e implementar un circuito electrónico en una placa de circuito impreso.
- Trabajar con diferentes circuitos integrados e instrumentos de laboratorio.
- Aprender a programar un microcontrolador PIC.
- Determinar la ϵ_r de una sustancia, comprobando las diferencias entre tipos de dieléctricos (polares y apolares), tanto en la magnitud de ϵ_r como en su dependencia con la temperatura.

REFERENCIAS

- [1] J. O'M. Bockris y A. K. N. Reddy, "Electroquímica Moderna". Editorial Reverté, S.A. Barcelona, 1978.
- [2] K. Cheng, David, "Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería". Editorial Addison Wesley Longman, Mejico, 1998.
- [3] Pallás Areny, Ramón, "Sensores y acondicionadores de señal". Editorial Marcombo, S.A., Barcelona, 2003.
- [4] N. R. Malik, "Circuitos Electrónicos", Editorial Prentice Hall, S.A., Madrid, 1996.
- [5] J. Mª Angulo y otros, "Microcontroladores PIC", Editorial Paraninfo, Madrid, 1997.
- [6] PIC16F877 data sheet, <http://www.microchip.com>