

Convertidor de Alta precisión, de Pequeña Capacitancia a Voltaje

Gallardo Del Ángel Agustín, Ortega Méndez Abdiel, Vázquez Leal Héctor,
Castañeda Sheissa Roberto y González Martínez Francisco Javier

Universidad Veracruzana
Facultad de Ingeniería en Instrumentación
Electrónica y ciencias atmosféricas
aggallardo@uv.mx

Resumen

En este trabajo se describe esquemáticamente el diseño y desarrollo de un convertidor de capacitancia a voltaje (CCV) de alta precisión. Este circuito es la primera etapa de un instrumento más grande y complicado, que usará las propiedades de un arreglo de capacitores para poder formar imágenes axiales de objetos con propiedades dieléctricas.

En el diseño del CCV obedece criterios muy específicos de frecuencia, capacidad mínima detectable, voltaje de salida entre otros. En las pruebas realizadas en laboratorio, las adquisiciones de las capacidades se realizaron con el CCV y fueron digitalizados. Posteriormente se realizaron las mismas medidas con un medidor de variables eléctricas de alta precisión. Este procedimiento permitió la calibración y la caracterización del CCV.

Palabras clave: Capacitancia, voltaje, convertidor.

1. Introducción

El conocimiento de la constante dieléctrica de un objeto permite conocer indirectamente varias propiedades físicas del mismo, entre muchas otras, su densidad.

Actualmente el estado-del-arte ha permitido utilizar la medición de la constante dieléctrica para poder identificar los cambios de fase en fluidos, regularmente, industriales. Debido a la baja resolución de las técnicas usadas, la identificación de los cambios de fase no se puede definir con precisión. Una forma de empezar a resolver el problema de la precisión es empezando por la

metodología usada para la lectura e interpretación de las señales provenientes del sensor.

En cualquier sistema que mida o estime la constante dieléctrica empieza por un CCV. La importancia de tener un CCV de alta precisión radica en que se empieza a reducir el ruido desde el primer elemento del sistema electrónico de medición.

El CCV presentado en este trabajo muestra las mejores características de diseño para lograr minimizar errores de cuantificación en el proceso de conversión. Este circuito logró su objetivo y será anexado como primera etapa, a un sistema de medición de constante dieléctrica que ya se encuentra en desarrollo apoyado por recursos provenientes de fondos de investigación y desarrollo federales.

2. Diseño y caracterización

El diseño del circuito estuvo basado en la medición de los tiempos de carga y descarga del capacitor, al cual se desea medir y determinar su capacidad. La forma de cargar y descargar el capacitor, y de medir las variaciones de voltaje en el tiempo constituyeron las primeras especificaciones de diseño. Para poder cargar y descargar el capacitor se utilizaron interruptores analógicos funcionando a una frecuencia de 357 kHz.

La corriente que pasa por el capacitor en las etapas de carga y descarga, es conducida a la entrada de un amplificador de transimpedancia para obtener a su salida, un nivel de voltaje proporcional a la corriente. Este voltaje es digitalizado y almacenado. Los voltajes de carga y descarga del capacitor se muestran en las ecuaciones 1 y 2.

$$V_{carga}(t) = \frac{1}{2} V_c \left(2 - e^{-\frac{t}{R_{ent}C}} - e^{-\frac{t}{R_{ent}(C+2C_x)}} \right) \quad (1)$$

$$V_{descarga}(t) = \frac{1}{2} V_c C_x \frac{t R_f e^{-\frac{t}{R_{ent}C}}}{R_{ent}C(R_{ent}C + R_f C_f)} + \frac{1}{2} V_c C_x \frac{t R_f^2 C_f \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{R_{ent}C}} \right)}{(R_{ent}C + R_f C_f)^2} \quad (2)$$

En la simulación, el circuito se comportó lineal en todo el rango de medición trabajando a 357kHz y 5V. Esta respuesta, en condiciones ideales, se presenta en la figura 1 donde los datos se ajustan perfectamente a la recta mostrada en la misma figura. Obsérvese que el rango de medición se consideró entre 2fF y 110pF.

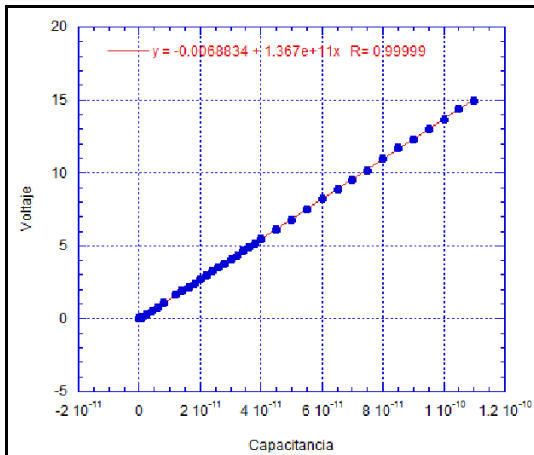


Fig. 1. Respuesta en simulación del CCV

En la realidad, los datos no presentan un comportamiento tan lineal como en la simulación. Aun cuando se ajustan en un 99.95% a una recta (ver figura 2), fue una ecuación polinomial de segundo grado el que presenta un ajuste más cercano a la respuesta del circuito.

En la figura 3 se puede observar que la ecuación de segundo grado (ecuación 3) presenta un ajuste de 99.97% a la salida del CCV.

$$V_{salida} = -5.97 \times 10^{19} C^2 + 6 \times 10^{10} C + 0.12487 \quad (3)$$

Es importante señalar que los datos de las figuras 2 y 3 fueron adquiridos por un convertidor de 16 bits National Instruments. Los datos tomados para la calibración fueron adquiridos por el medidor de parámetros LRC Hioki 3532-50, el cual tiene una precisión de $\pm 0.08\%$. Estos resultados se mostrarán en la siguiente sección.

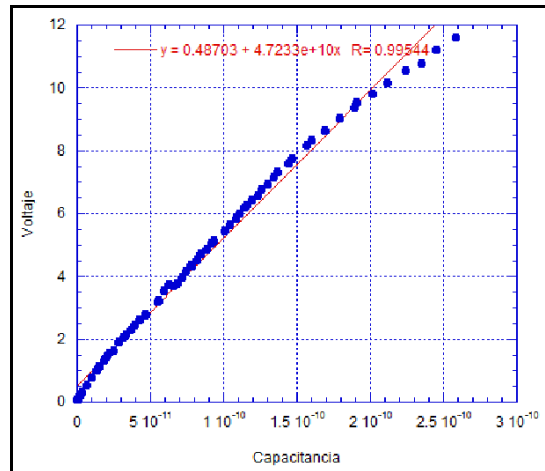


Fig. 2. Regresión lineal para la salida del CCV

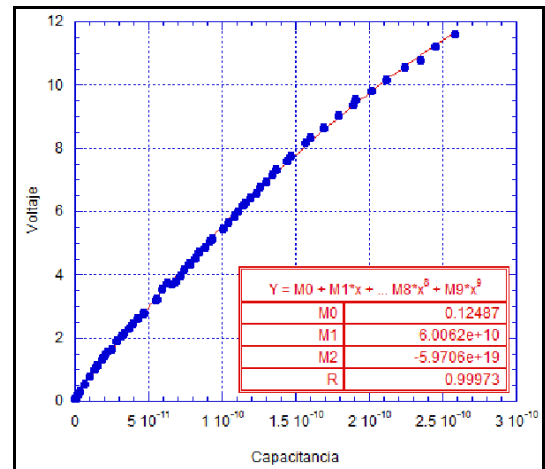


Fig. 3. Regresión polinomial de la salida del CCV.

3. Calibración

En función de tener un patrón de referencia de la respuesta del CCV, se realizaron las mismas mediciones con el medidor de parámetros LRC Hioki 3532-50. Los resultados fueron particularmente similares entre el CCV y el medidor de parámetros Hioki. En la figura 4 se puede observar los valores medidos por el instrumento Hioki normalizados en relación al valor de los capacitores medidos. Es importante hacer notar que para capacitancias muy

bajas no es fácil conseguir valores comerciales o bien, este tipo de valores no existen de forma comercial. Para valores muy pequeños se hicieron arreglos de capacitores en serie lo que incrementó el error al realizar las mediciones. En la figura 5 se muestra la relación entre los valores medidos por el CCV y los valores comerciales. Como se podrá notar, para valores pequeños de capacitancias el error presentado por las mediciones del instrumento Hioki, son similares. En ambas figuras (4 y 5) se puede apreciar que la relación de valores medidos y valores reales es muy cercana a uno para valores superiores a 1pF. Las diferencias en valores inferiores a 1pF se deben fundamentalmente a las capacitancias parasitas provocadas por el arreglo de capacitores en serie. Como se mencionó anteriormente, estos arreglos se realizaron para formar capacitancias más pequeñas.

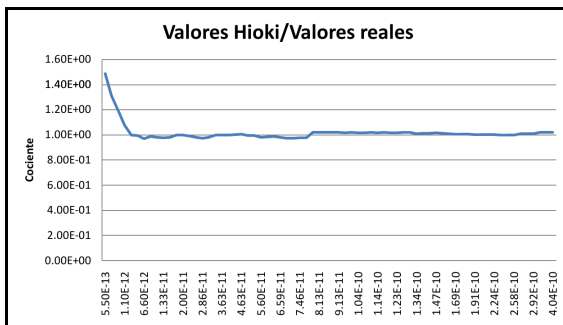


Fig. 4. Relación de los valores del medidor de parámetros.

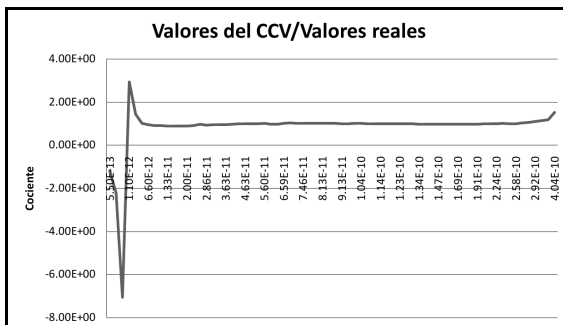


Fig. 5. Relación de los valores del CCV.

Como se puede apreciar de las figuras 4 y 5, la respuesta del CCV comparado con la respuesta de instrumento de medición de parámetros LRC comercial con una precisión de $\pm 0.08\%$, es prácticamente idéntica, acercándose a los valores comerciales de los capacitores medidos. Las diferencias entre los valores medidos por ambos instrumentos y los valores reales, se encuentran dentro de las tolerancias de los capacitores definidas por el fabricante.

4. Conclusiones

El CCV cumple con las especificaciones de diseño al poder medir con precisión valores cercanos a 1pF a una frecuencia de 357kHz (frecuencia donde la mayoría de tejidos biológicos han sido estudiados) y siendo prácticamente lineal en un rango amplio de capacitancias pequeñas.

La comparación entre los valores medidos por el CCV y los valores medidos por un instrumento de alta precisión fueron prácticamente iguales. A pesar de los errores introducidos por arreglos de capacitores pequeños (a manera de conseguir capacitancias más pequeñas) se presentó en ambos instrumentos. Dentro de los trabajos futuros se intentará de conseguir capacitores de experimentación de alta precisión y de muy bajas capacitancias.

El CCV está listo para incorporarse como primera etapa electrónica a un instrumento más complejo destinado a medir las constantes dieléctricas de objetos de diferentes densidades, particularmente tejidos biológicos.

Referencias

- [1] Gorur G. Raju, "Dielectrics in Electric Field", H. Lee Willis, Ontario, Canada, 2003.
- [2] González M. Francisco, PhD Thesis, "Improved Data Acquisition for Electrical Capacitance Tomography", University of Manchester, Institute of Science and Technology, Inglaterra, 1999.
- [3] Xiaohui HU, Michael KATSOUROS, Wuqiang YANG, Songming HUANG, "Further Analysis of Charge/Discharge Capacitance Measuring Circuit Used with Tomography Sensors", Sensors and Transducers, Vol. 80, pp 1246-1256, 2007.
- [4] Cheng, David. "Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería" Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1993, Estados Unidos de América.
- [5] Chen, De-Yun, et al, "A novel method of plotting sensor sensitivity field and image reconstruction algorithm for electrical capacitance tomography system", Front. Mech. Eng., pp. 242-247, 2006, China.

10º Congreso Nacional de Mecatrónica
Noviembre 3 y 4, 2011. Puerto Vallarta, Jalisco.

- [6] Bertran, Eduard, “*Procesado digital de señales*”, Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, SL, 2006, España.