

SISTEMA PARA LA DETECCIÓN DE PULSOS MECÁNICOS MEDIANTE UN SENSOR PIEZOELÉCTRICO

DEVICE FOR THE DETECTION OF MECHANICAL PULSES BY USING A PIEZOELECTRIC SENSOR

Y. GARCÍA-PUENTE, A. SANTANA-GIL, A. PELÁIZ-BARRANCO†, O. GARCÍA-ZALDÍVAR, F. CALDERÓN-PIÑAR, A. C. GARCÍA-WONG.

Facultad de Física-Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE), Universidad de La Habana. San Lázaro y L, Ve-dado. La Habana 10400, Cuba. pelaiz@fisica.uh.cu
†autor para la correspondencia

Este trabajo describe el diseño de un sistema para la detección de pulsos mediante un sensor piezoeléctrico. El sistema está conformado por un subsistema analógico para el acondicionamiento de la señal y un subsistema digital para su procesamiento. Se realizaron pruebas básicas con cerámicas piezoeléctricas comerciales y con las obtenidas en nuestro laboratorio, obteniéndose buenos resultados. Se ha conseguido detectar los pulsos generados por un piezoeléctrico como resultado de las deformaciones que sufre ante la aplicación de un esfuerzo mecánico, acondicionar la señal para ser adquirida por una tarjeta de adquisición de datos y mostrar los resultados en la computadora.

It is presented a system to detect pulses by using a piezoelectric sensor. Basic proofs were made using commercial piezoelectric ceramics and others obtained in our laboratory. Very good results were obtained. The system allows detecting the pulses, which are generated by the piezoelectric material when a mechanical stress is applied. A data acquisition program was developed for the signal records, analysis and comparison of the results.

Keywords. Dielectric materials, 77.84.-s; Ferroelectric devices, 85.50.-n

INTRODUCCIÓN

Un material piezoeléctrico es aquel que presenta un momento dipolar eléctrico, incluso en ausencia de campo eléctrico externo aplicado, debido a que el centro de las cargas positivas no coincide con el centro de las cargas negativas. Este efecto fue descubierto por Pierre y Jacques Curie¹ en 1880. Pierre, durante el estudio de la estructura cristalina de estos materiales, descubrió que al aplicarles una tensión mecánica en una dirección dada, lograba su electrificación. Más tarde Hankel propuso el nombre de piezoelectricidad a este fenómeno [2].

El fenómeno piezoeléctrico [1] consiste en la aparición de cargas eléctricas en las superficies de algunos materiales al actuar un esfuerzo mecánico sobre ellos (efecto piezoeléctrico directo) o la deformación de los materiales bajo la acción del campo eléctrico (efecto piezoeléctrico inverso). Por estas causas una cerámica piezoeléctrica puede variar su espesor en fracciones de milímetro. Las magnitudes de los campos eléctricos generados, y los movimientos o las fuerzas son pequeños.

Los materiales piezoeléctricos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones como transductores, sensores y actuadores, entre otros, y son muy usados en la tecnología médica [2]. Equipos para el diagnóstico de imágenes y monitoreo de la fre-

cuencia cardiaca a nivel fetal emplean piezocerámicas en sus transductores. Incluso, transductores en miniatura han sido insertados en los vasos sanguíneos para registrar cambios periódicos en los latidos del corazón.

Las vibraciones ultrasónicas, generadas con cerámicas piezoeléctricas, se utilizan como herramienta para destruir el tejido fino enfermo y reparar el tejido fino dañado. Así mismo, estas ondas se han empleado para tratar bursitis, varios tipos de artritis reumatoide, lesiones musculares, y para destruir piedras del riñón, entre otras aplicaciones[2]. Actualmente son diversos los estudios que se realizan para entender, controlar o modificar sistemas biológicos así como para desarrollar métodos de medida cada vez más complejos, y a su vez menos invasivos.

Como objetivo de este trabajo nos proponemos desarrollar un primer prototipo de un instrumento para la detección de pulsos, basado en las cerámicas piezoeléctricas que se estudian y desarrollan en nuestro laboratorio, que permitirá posteriormente desarrollar un dispositivo para detectar las pulsaciones cardiacas. Este dispositivo será desarrollado íntegramente en nuestros laboratorios, y con nuestros recursos, y podrá ser de

utilidad en nuestro sistema de salud pública.

Para el trabajo emplearemos tres cerámicas piezoeléctricas basadas en circonato titanato de plomo (PZT), uno de los sistemas más utilizado en la actualidad en múltiples dispositivos por sus magníficas propiedades [1-2]. La primera cerámica será PZT modificado con cobre, niobio y manganeso (PZT-PCN) y las otras dos serán PZT modificado con Niobio (PZTN-1 y PZTN-2).

PREPARACIÓN Y POLARIZACIÓN DE LAS CERÁMICAS

Para la preparación de las muestras se empleó el método cerámico tradicional[3-4]. Se tomaron materiales de partida con una elevada pureza, se mezclaron y molieron durante 2 horas, empleando alcohol para lograr una sola fase de composición homogénea en el producto final. Se dejaron secar los polvos y luego se hicieron piezas cilíndricas con una prensa hidráulica. Posteriormente se procedió a la calcinación o precocido. Los cilindros fueron luego triturados y molidos nuevamente, se aglutinaron empleando alcohol polivinílico, se prensaron y finalmente se sinterizaron. Los parámetros de obtención en cada caso pueden encontrarse en las referencias 3 y 4. Se colocaron contactos de plata en ambas caras de las cerámicas y se trataron las muestras a 590°C para secar y fijar los contactos.

Para la polarización de las muestras, estas se calentaron hasta una temperatura de 120°C, se aplicó un campo eléctrico de 2 kV/mm durante 20 minutos, y luego se enfriaron las muestras, manteniendo el campo eléctrico, hasta alcanzar la temperatura ambiente.

CARACTERIZACIÓN PIEZOELÉCTRICA

La caracterización de las cerámicas piezoeléctricas es de vital importancia para la evaluación de cualquier tipo de aplicación. Magnitudes como la capacidad, las pérdidas dieléctricas, la impedancia eléctrica, la resistencia eléctrica o la fase, son algunas de las tradicionalmente analizadas. A partir de ellas se determinan los coeficientes eléctricos y piezoeléctricos que permiten determinar las posibles aplicaciones a desarrollar.

Para la caracterización de las muestras se utilizó el programa Puente RLC, desarrollado en nuestro laboratorio [5] sobre LabVIEW, como parte de la automatización de un puente RLC Wayne Kerr. Mediante el montaje experimental [5] es posible obtener, de manera precisa, la respuesta de diversos tipos de materiales ante la aplicación de campos eléctricos de corriente alterna para diferentes intervalos de frecuencia. Parámetros como la impedancia eléctrica, la capacidad, la fase, las pérdidas dieléctricas, la resistencia eléctrica y la inductancia, son algunos de los que pueden ser estudiados con este sistema experimental. En la Figura 1 mostramos el panel frontal con la dependencia de la impedancia y la fase para una de las muestras analizadas, como ejemplo del análisis realizado por esta técnica experimental, cuya automatización constituyó un elemento

básico para la realización de este trabajo5. Se observa el fenómeno de la resonancia electromecánica. Cuando la frecuencia del campo eléctrico aplicado coincide con la frecuencia propia de oscilación del material en estudio, se obtiene un cambio en el signo de la fase y un mínimo en la impedancia eléctrica. A partir de este tipo de dependencias se calculan diversos parámetros electromecánicos, de gran utilidad para la valoración de aplicaciones piezoeléctricas1. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para el factor de acoplamiento electromecánico (kp) para cada una de las muestras. Este parámetro da la medida de la eficiencia de la conversión de la energía eléctrica o mecánica en energía mecánica o eléctrica (efecto piezoeléctrico inverso o directo, respectivamente) [1-2].

El coeficiente electromecánico muestra resultados superiores al 50% en el caso de las cerámicas del tipo PZTN, lo cual constituye muy buen resultado comparado con los valores que tradicionalmente se reportan en la literatura científica para materiales comerciales empleados en dispositivos de diverso tipo2.

Tabla I Factor de acoplamiento electromecánico kp	
Muestras	kp
PZTN-1	0.67
PZTN-2	0.51
PZT-PCN	0.24

DISPOSITIVO

El sistema que se propone en este trabajo para la detección de pulsos, con una cerámica piezoeléctrica, se puede dividir en dos bloques bien diferenciados: subsistema analógico y subsistema digital (Figura 2).

SUBSISTEMA ANALÓGICO

Como sensor utilizamos las cerámicas piezoeléctricas obtenidas y caracterizadas en nuestro laboratorio. La finalidad de este sensor es proporcionarnos una carga (energía eléctrica) a partir de la deformación (energía mecánica) que sufrirá la muestra por la aplicación de un esfuerzo mecánico. La Figura 3 muestra el montaje realizado con las cerámicas piezoeléctricas.

El circuito acondicionador de la señal (Figura 4) consta de dos seguidores de tensión (a y c), dos filtros de primer orden, uno pasa alto (b) y otro pasa bajo (d), y una etapa de amplificación mediante una etapa no inversora (e). A continuación se muestra el diseño de este circuito y se detallan cada una de estas etapas. Para el cálculo de la primera etapa nos basamos en el modelo de tensión para el sensor piezoeléctrico (Figura 5)[6].

El seguidor de tensión (ideal) es un circuito que tiene, teóricamente, ganancia de voltaje unitaria, resistencia de salida cero y resistencia de entrada infinita y se emplea como buffer para acoplar impedancia. En nuestro caso, como las cerámicas piezoeléctricas poseen alta impedancia de salida, se utiliza un seguidor de tensión conectado a la salida de esta que corresponde a la primera etapa del circuito (a) en la Figura 4.

Un paso muy importante para el diseño del sistema fue la elección del amplificador operacional que se utilizaría para el acondicionamiento de la señal. Debido a los requerimientos de esta aplicación se seleccionó el amplificador operacional TL082 que presenta, entre otras ventajas, entradas a transistores FET, que permiten una alta impedancia de entrada y ancho de banda de 4 MHz.

La señal que nos interesa está en un intervalo de frecuencias entre los 0.7 Hz y 2.0 Hz. Resulta de interés eliminar la interferencia de los 60 Hz de la red eléctrica y otras señales no deseadas ya que podría enmascarar nuestra señal. Se utilizaron entonces dos filtros de primer orden, uno pasa alto (b) y otro pasa bajo (d), insertados en dos puntos del circuito (Figura 4).

Para determinar los valores de las componentes de estos filtros se fijaron los valores de la frecuencia de corte (f_c) y de las capacidades, C1 y C2, y se determinaron los valores de R2 y R3 (ecuación 1).

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

Filtro pasa alto

$$f_c = 0.5 \text{ Hz}$$

$$C_1 = 2.2 \mu\text{F}$$

$$R_2 \approx 150 \text{ k}\Omega$$

Filtro pasa bajo

$$f_c = 10 \text{ Hz}$$

$$C_2 = 220 \text{ nF}$$

$$R_3 \approx 75 \text{ k}\Omega$$

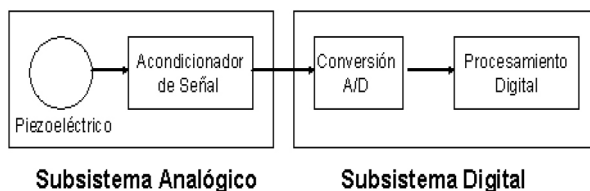


Figura 2.- Diagrama de bloques del sistema.



Figura 3. Montaje de la cerámica piezoeléctrica.

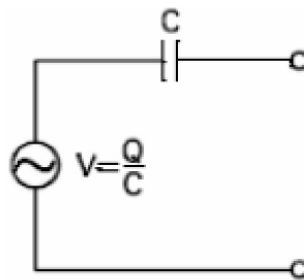


Figura 5.- Modelo de tensión del sensor piezoeléctrico.

En la etapa de amplificación, el valor de sus componentes serán los que determinarán la ganancia total del circuito. Para poder asignar estos valores, primero se analizó la relación salida-entrada de este circuito (V_0 y V_{in} , respectivamente) y se obtuvo la siguiente relación entre los voltajes:

$$V_0 = V_{in} \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \quad (2)$$

Se decidió que el circuito tuviese una ganancia aproximada $A_v = 10$ (ecuación 3) y se fijaron los valores de las resistencias: $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$ y $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$

$$A_v = \frac{V_0}{V_{in}} = \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \quad (3)$$

SUBSISTEMA DIGITAL

Una vez acondicionada la señal, se procedió a realizar la adquisición y el procesamiento digital de la misma, función que se realiza en el subsistema digital. La adquisición y procesamiento de la señal se realizó en una computadora personal (PC) P4 a 1.8 GHz, con 512 MB de RAM equipada con una tarjeta de adquisición de datos modelo PCI 1202L de la firma ICP DAS. La tarjeta permite una frecuencia máxima de muestreo de 110 000 muestras por segundo, presenta una resolución de 12 bits, permite medir señales en diferentes intervalos que van desde +/- 0.0625 V hasta +/- 10 V y ofrece la posibilidad de programar la ganancia (0.5, 1, 2, 4 y 8).

El sistema de medición está programado sobre LabView 7.0. El programa que ha sido desarrollado para la adquisición y muestreo de nuestra señal constituye un instrumento virtual y se puede subdividir en tres grandes bloques (Figura 6). El primer bloque (Inicialización) es el encargado de detectar todas las tarjetas PCI que se encuentran instaladas en la PC. Activa y configura la tarjeta que será utilizada por el programa, establece el canal a muestrear y fija su ganancia. Durante la ejecución del segundo bloque (Medición y Muestreo de la Señal) se adquiere y filtra la señal. Una vez que se desee se detiene la adquisición. Automáticamente se ejecuta el tercer y último bloque (Salvar) que guarda la señal en un fichero de tipo texto para que puedan ser procesada por programas comerciales. Este fichero contiene los valores de tiempo y amplitud organizados en dos columnas.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con el sistema desarrollado se realizaron pruebas básicas con cerámicas piezoeléctricas comerciales y con las obtenidas en nuestro laboratorio, obteniéndose buenos resultados. Se ha conseguido detectar los pulsos generados por un material piezoeléctrico como resultado de las deformaciones que sufre cuando se aplica un esfuerzo mecánico, acondicionar la señal para ser adquirida por una tarjeta de adquisición de datos y mostrar los resultados en la PC. La Figura 7 muestra, como ejemplo, la respuesta obtenida empleando la cerámica PZTN-2.

A partir de este prototipo nos proponemos completar el diseño de la plataforma de prueba que garantice aplicar la misma deformación mecánica a cada muestra empleada. Esto permitirá realizar una mejor comparación de los resultados de las muestras y así determinar cuáles son las adecuadas para la aplicación de interés. Posteriormente se procederá a rediseñar el sistema de adquisición de datos para la detección automática de las pulsaciones cardiacas.

Es necesario destacar que este trabajo fue desarrollado íntegramente en nuestros laboratorios, desde la obtención de las cerámicas, su polarización, su caracterización piezoeléctrica (incluyendo la automatización del sistema experimental) hasta el diseño del sistema

para la detección de pulsos.



Figura 6.- Algoritmo general del programa

AGRADECIMIENTOS

A la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TAS) por los proyectos Research Grant: RG/PHYS/LA No. 99-050, No. 02-225 y No. 05-043, y al ICTP por el apoyo a la Red Latinoamericana de Materiales Ferroeléctricos.

- [1] B. Jafée, W. Cook, H. Jafée, Piezoelectric Ceramics (Academic Press, London-New York, 1971).
- [2] E. Suaste Gómez, Cerámicas Piezoeléctricas (Innovación Editorial Lagares, México, 2006).
- [3] A. Peláiz Barranco, Propiedades ferroeléctricas y mecanismos de conductividad en el sistema PZT modificado. Tesis de Doctorado, Facultad de Física, Universidad de la Habana, Cuba (2001).
- [4] M. D. Durruthy-Rodríguez, L. D. Pérez-Fernández, A. Peláiz-Barranco, F. Calderón-Piñar, Applied Physics A **95**, 423 (2009).
- [5] Y. García-Puente, A. Santana-Gil, A. Peláiz-Barranco, Rev. Cub. Fis. **26**, 242 (2009)
- [6] L. Fernández Román, L. Navarro Morales, Sistema de bajo consumo para la detección del ritmo cardiaco. Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Cataluña, España (2007).

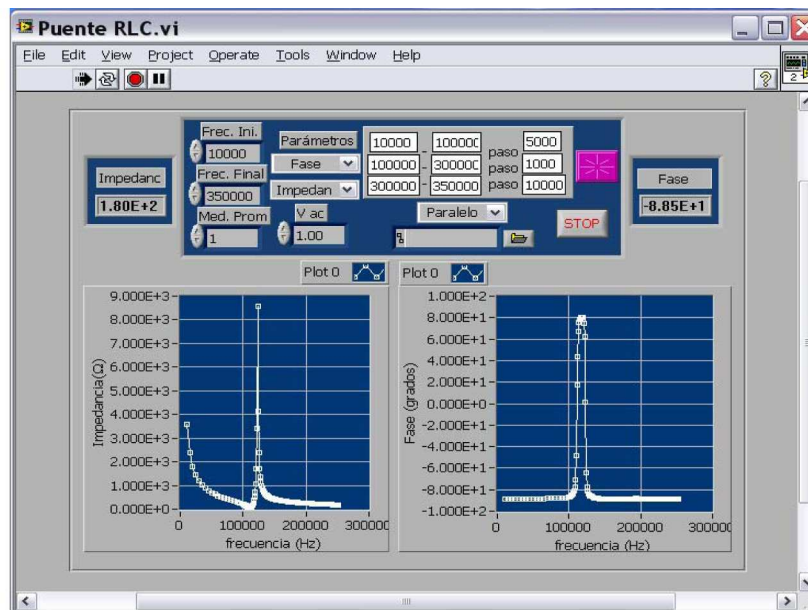


Figura 1.- Panel frontal del programa Puente RLC mostrando la dependencia de la impedancia y la fase con la frecuencia para una de las muestras estudiadas.

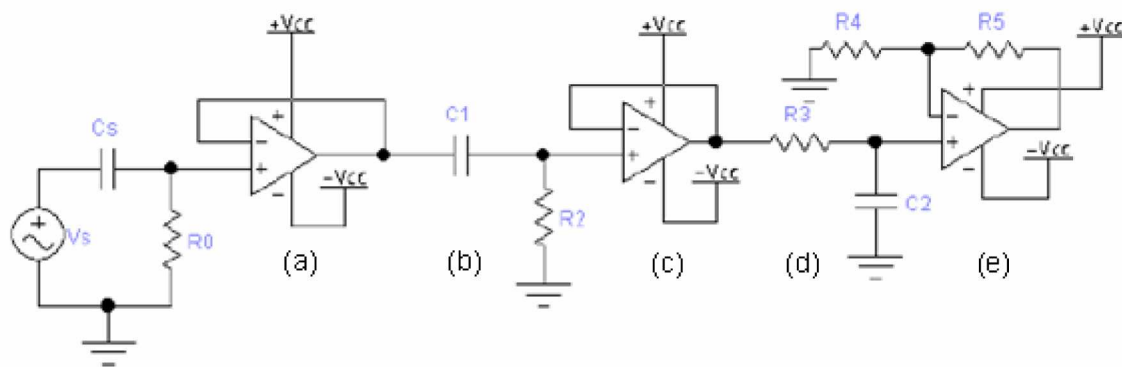


Figura 4.- Circuito acondicionador de la señal.

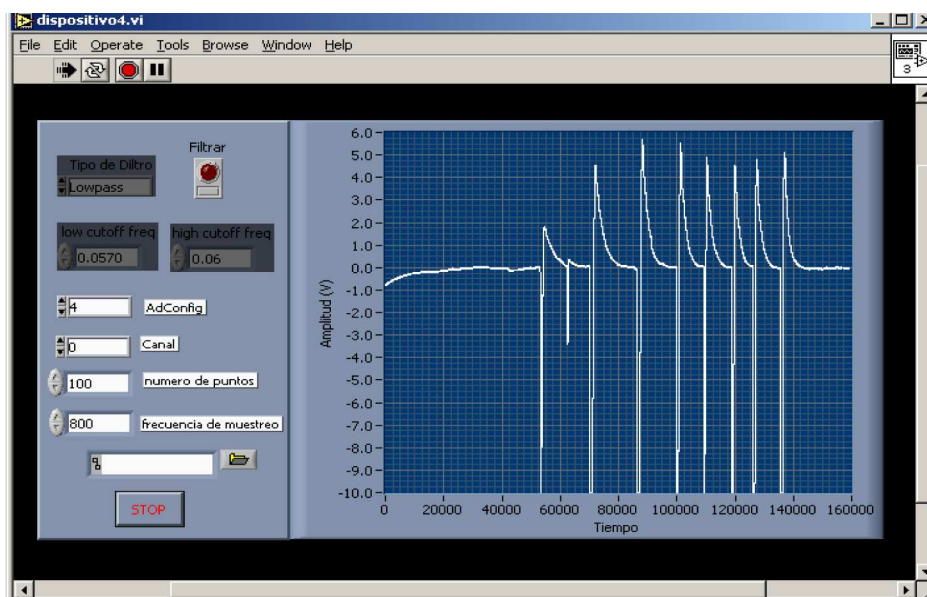


Figura 7.- Respuesta del sensor piezoeléctrico. Se detectan los pulsos generados como resultado de las deformaciones mecánicas que sufre cuando se aplica un esfuerzo mecánico.