

Dispositivo optoelectrónico fonocaptor para instrumentos musicales de cuerda basado en modulación en frecuencia

José Faustino Expósito Singh¹, Carlos Sánchez Azqueta², Francisco José Torcal Milla³

¹Universidad Nacional de Educación a Distancia

²Grupo de Diseño Electrónico (GDE)

³Grupo de Tecnologías Ópticas Láser (TOL)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762594, e-mail: ftorcal@unizar.es

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y desarrollo preliminar de una pastilla fonocaptora óptica para instrumentos de cuerda basada en modulación FM. El sistema utiliza un emisor óptico y un fotodetector para detectar la luz reflejada por la vibración de la cuerda, minimizando la influencia de la iluminación ambiente y del ruido electromagnético. Se describen el fundamento teórico, el diseño de las distintas etapas electrónicas —modulación, detección, amplificación y filtrado— y la futura validación experimental mediante un monocordio diseñado específicamente para evaluar la viabilidad de la tecnología propuesta.

Introducción

Las pastillas fonocaptoras empleadas habitualmente en instrumentos de cuerda se basan principalmente en tecnologías electromagnéticas o piezoeléctricas. Aunque ambas ofrecen buenas prestaciones, presentan limitaciones relacionadas con el ruido electromagnético, las interferencias externas y ciertas irregularidades en la respuesta sonora. En particular, las pastillas electromagnéticas son sensibles a perturbaciones eléctricas cercanas, mientras que las piezoeléctricas pueden generar una coloración característica del sonido. En los últimos años, las tecnologías ópticas han adquirido gran relevancia en sistemas de medida y sensorización gracias a su elevada sensibilidad e inmunidad frente al ruido electromagnético [1,2].

En este contexto, este trabajo propone el desarrollo de una pastilla fonocaptora óptica basada en modulación FM para instrumentos de cuerda. El sistema utilizará un LED infrarrojo modulado y un detector óptico para captar la vibración de la cuerda mediante la luz reflejada, minimizando simultáneamente la influencia de la iluminación ambiente y de las interferencias externas. Además, se fabricará un monocordio experimental para validar el funcionamiento de la tecnología propuesta en condiciones reales.

Fundamento teórico

El funcionamiento del sistema propuesto se basa en la detección óptica de las vibraciones de una cuerda metálica mediante la reflexión de un haz de luz. Cuando la cuerda vibra, se producen pequeñas variaciones en la intensidad de la luz reflejada que contienen información sobre la frecuencia fundamental y los armónicos de la vibración.

El sistema estará formado por un LED emisor cuya intensidad luminosa será modulada mediante una señal FM de alta frecuencia. Esta modulación permitirá diferenciar posteriormente la luz emitida por el sistema de la iluminación externa del entorno. La luz reflejada por la cuerda será recogida mediante un fotofotodetector, encargado de transformar las variaciones luminosas en una señal eléctrica.

Dado que la señal de intensidad detectada es de reducida amplitud, será necesario incorporar un amplificador de transimpedancia para obtener una señal de tensión adecuada para su procesamiento. La separación entre la señal útil y las perturbaciones externas se realizará mediante un demodulador FM, permitiendo rechazar gran parte de la iluminación ambiente y mejorar la relación señal-ruido del sistema [3,4]. Posteriormente, la señal será tratada mediante filtros pasa-banda para adaptar la respuesta frecuencial al rango audible del instrumento y realizar una coloración controlada del sonido. La Figura 1 muestra un esquema conceptual del proceso electroóptico. Además, se prevé realizar simulaciones numéricas de los distintos módulos electrónicos y ópticos utilizando software especializado con el objetivo de optimizar la sensibilidad y estabilidad del sistema.

Desarrollo experimental

La fase experimental del proyecto se ha estructurado en varias etapas. En primer lugar, se han diseñado los diferentes bloques electrónicos que conforman la pastilla óptica. Entre ellos destacan el modulador FM, el circuito de alimentación del LED, el

fotodetector, el amplificador de transimpedancia y el sistema de demodulación. Hasta el momento se ha montado y verificado el bloque de modulación en frecuencia, que ofrece una señal cuadrada (Figura 2). Se continuará con el resto de bloques y una vez verificado el funcionamiento independiente de cada uno, se realizará la integración completa del sistema fonocaptor. Durante esta etapa se optimizarán aspectos relacionados con el alineamiento óptico, la estabilidad mecánica y la minimización del ruido electrónico.

Paralelamente se ha fabricado un monocordio destinado exclusivamente a la validación de la técnica propuesta (Figura 3). Este sistema permitirá controlar parámetros como la tensión, longitud y tipo de cuerda empleada, facilitando la caracterización sistemática del sistema electroóptico.

Las medidas experimentales previstas incluirán el análisis temporal y espectral de la señal obtenida para diferentes condiciones de vibración. Se estudiará la respuesta del sistema frente a distintas frecuencias fundamentales, amplitudes de vibración y condiciones de iluminación externa. Asimismo, se comparará el comportamiento del prototipo óptico con el de pastillas electromagnéticas y piezoeléctricas convencionales, evaluando parámetros como la relación señal-ruido, sensibilidad y estabilidad frente a interferencias. Adicionalmente, se analizará el efecto de diferentes configuraciones de filtrado y amplificación sobre la calidad sonora final del sistema, con el objetivo de obtener una respuesta acústica adecuada para aplicaciones musicales reales.

Conclusiones

El presente trabajo propone una nueva aproximación al diseño de pastillas fonocaptoras para instrumentos de cuerda mediante el empleo de tecnología óptica y técnicas de modulación FM. La utilización de detección óptica permite reducir significativamente la influencia de interferencias electromagnéticas y de ruido externo, constituyendo una alternativa potencialmente ventajosa frente a las tecnologías convencionales.

El proyecto contempla tanto el desarrollo teórico como la implementación experimental de todos los módulos implicados en el sistema, incluyendo la construcción de un monocordio específicamente diseñado para validar la tecnología propuesta. Asimismo, las simulaciones numéricas y la caracterización experimental permitirán optimizar el

comportamiento del dispositivo y evaluar su viabilidad en aplicaciones musicales reales.

REFERENCIAS

- [1] AVINO, S., *et al.* Musical instrument pickup based on a laser locked to an optical fiber resonator. *Optics Express*. 2011, vol. 19, n.º 25, pp. 25057–25065.
- [2] LOOCK, H. P., *et al.* Recording the sound of musical instruments with FBGs. *Optics Express*. 2009, vol. 17, n.º 16, pp. 13387–13396.
- [3] Optical Instrument Pickup. US Patent 8546677 B2. Google Patents, 2013.
- [4] DONATI, S. and NORGIA, M. Self-Mixing Interferometer With a Laser Diode: Unveiling the FM Channel and Its Advantages Respect to the AM Channel. *IEEE Journal of Quantum Electronics*. 2017, vol. 53, n.º 5.

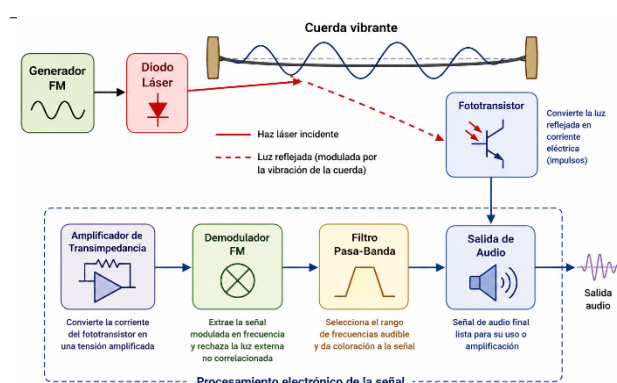


Figure 1.- Esquema conceptual del sistema fonocaptor basado en modulación FM para instrumentos de cuerda.

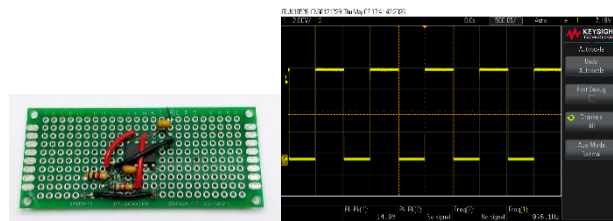


Figure 2.- Prototipo del circuito de modulación en frecuencia (izquierda) y señal obtenida (derecha).



Figure 3.- Monocordio fabricado.