

DESEMPEÑO DE TRANSDUCTORES PIEZOELECTRICOS EN SISTEMAS DE INVESTIGACIÓN ACÚSTICA MARINA

C. Quintero, G. Castellanos, J. Plata.
Universidad Nacional Manizales
G. de Control y Procesamiento Digital de Señales

RESUMEN

Se analiza la estructura general de los sistemas de exploración hidroacústica orientados a la investigación del ruido acústico marino en el rango de frecuencia de 5 Hz hasta los 200 kHz, cuya etapa de adquisición consiste en un transductor electroacústico del tipo cerámico piezoeléctrico. Se presenta el desarrollo de la etapa de adquisición, incluyendo el cálculo de los parámetros principales del sensor piezoeléctrico. Además, se realiza el análisis de su función de transferencia para diferentes valores de cambio de temperatura ambiental. Se analiza el mejor tipo de estabilización térmica asumiendo como criterio de comparación la confiabilidad y autonomía del sistema de registro electrónico.

INTRODUCCIÓN

En años recientes el desarrollo económico y tecnológico ha generado el incremento en el ruido ambiental en el océano, principalmente en el rango de baja frecuencia (<1 kHz). La navegación es la principal fuente de ruido de baja frecuencia, aunque existen otras fuentes como la explotación petrolera y de gas, actividades de producción (exploración sísmica, trabajo de construcción, perforación, plataformas de producción) e investigación científica (tomografía y termografía acústica, comunicaciones subacuáticas) y actividades militares (sonar activo de baja frecuencia) [1]. Debido a que los cetáceos se encuentran afectados, por cuanto pueden escuchar un amplio rango de frecuencias, incluyendo sonidos de baja frecuencia, es necesario llevar a cabo un examen exhaustivo del ruido ambiental marino. Con este fin, se han desarrollado sistemas de investigación acústica marina, que incluyen rangos de frecuencia entre los 5 Hz y los 200 kHz. Estos sistemas, básicamente se componen de las etapas de adquisición de señales, acondicionamiento de señal y de registro o transmisión. La etapa de adquisición consiste en el transductor electroacústico. Frecuentemente, la salida del transductor debe ser acondicionada con el fin de obtener señales confiables para su registro o envío. El acondicionamiento de señal se encarga de amplificar las señales de bajo nivel, además de realizar la filtración del ruido presente. Finalmente, la etapa de registro o transmisión permite el almacenamiento y/o envío de la señal adquirida con el objeto de su análisis y proceso posterior.

El registro de las señales de ruido y los cantos de mamíferos marinos se puede realizar empleando hidrófonos, que típicamente emplean transductores cerámicos piezoeléctricos. Aunque, ya se tienen mecanismos de transducción basados en conversión optoacústica [2]. Los transductores piezoeléctricos presentan buena estabilidad térmica, sin embargo, las difíciles condiciones ambientales marinas, hacen que se investigue la influencia de los cambios de temperatura en el trabajo del sensor.

En el artículo se presenta el desarrollo de la etapa de adquisición, incluyendo el cálculo de los parámetros principales del sensor piezoeléctrico. Además, se realiza el análisis de su

función de transferencia para diferente cambio de temperatura. Se analiza el mejor tipo de estabilización térmica teniendo como criterio de comparación la confiabilidad y autonomía del sistema de registro electrónico.

DESARROLLO DE LA ETAPA DE ADQUISICIÓN

El elemento principal de esta etapa es el hidrófono piezoeléctrico, basado en la propiedad de respuesta de materiales tales como el PZT (Zirconato titanato de plomo), PVDF (Polivinil fluorido) y otros, para responder a los cambios de presión positiva y negativa que se generan cuando una onda de sonido se desplaza en un medio elástico [3]. En cuanto al desempeño en el medio marino, los piezoeléctricos muestran una buena respuesta y características de resistencia a la corrosión, que permiten su uso bajo estas condiciones. Adicionalmente, estos proveen baja impedancia en calidad de transductores acústicos, factor que minimiza las pérdidas de señal por refracción y/o reflexión sonora.

Una vez adquiridas las señales de manera conveniente, se hace necesario llevar a cabo el proceso de acondicionamiento que permita establecer niveles confiables para el análisis e interpretación de la información recopilada. Un circuito de interfaz diseñado apropiadamente juega un papel clave en la optimización de los transductores piezoeléctricos. En muchos casos éstos se pueden conectar directamente a circuitos electrónicos sin consideraciones de interfaz especiales.

Las consideraciones a tener en cuenta para el diseño del circuito de acondicionamiento se basan en los parámetros fundamentales del transductor: tipo, métodos de construcción utilizados, la dirección de polarización, la forma del material y el eje que se escoja para registrar la tensión física aplicada.

En orden a obtener un patrón omnidireccional necesario para las investigaciones acústicas marinas, en la práctica se prefiere la estructura tetraédrica, además, ésta cuenta con mayor área sensible a la presión sonora con respecto a las demás formas poliédricas, como se aprecia en la figura 1.

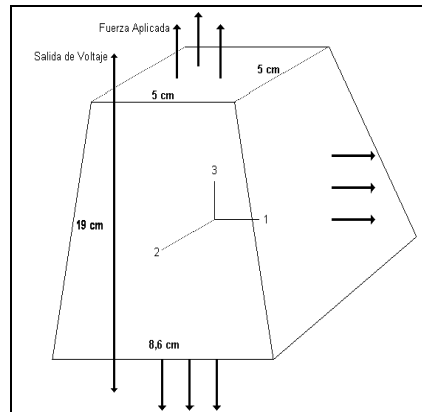


Figura 1. Estructura mecánica del transductor piezoeléctrico

Por las características de construcción, la mayor susceptibilidad se da cuando la onda sonora incide de manera paralela al eje 3. En el caso particular, el transductor PZT de forma piramidal cúbica, con dirección de polarización longitudinal, es el eje 3 con dirección longitudinal, el de aplicación de tensión física. Los ejes secundarios de tensión física son el 1 y 2 (caras laterales).

Dado que la aplicación aprovecha el efecto piezoeléctrico reflejando cambios de forma en señales eléctricas, la salida de voltaje para un tetraedro en el que incide fuerza radial viene dada por:

$$V = (g_{33}F_3L)/(Wh) - \text{Eje 3}, V = g_{31}F_1/W - \text{Eje 1}, V = g_{31}F_2/t - \text{Eje 2}, \quad (1)$$

Donde el coeficiente piezoeléctrico g_{ij} [Vm/N] ó [m²/C] muestra la relación del estiramiento sobre la carga aplicada por área del electrodo, en el cual i indica que los electrodos están perpendiculares al eje i , mientras j indica que el estiramiento piezoeléctrico inducido (o fuerza aplicada) está en dirección j . Así, g_{31} es el coeficiente piezoeléctrico que indica que los electrodos son perpendiculares al eje 3 y la tensión física se aplica en la dirección 1. Para el PZT empleado, g_{33} puede tomar valores entre $18 \cdot 10^{-3}$ y $30 \cdot 10^{-3}$. Las fuerzas corresponden a F_1 tensión física aplicada en el eje 1 (lateral), F_2 tensión aplicada en el eje 2 (lateral) y F_3 es la tensión aplicada en el eje 3 (radial). Los valores para este caso son de $g_{31} = -10,9 \cdot 10^{-3}$, $g_{33} = 30,2 \cdot 10^{-3}$ Vm/N.

El parámetro básico de diseño para la etapa de acondicionamiento es voltaje por medida de presión en el transductor, que está dado por:

$$V = (g_{33}F_3L) / (Wh) = (g_{33}A p L) / (Wh) \quad (1)$$

Donde p es la presión ejercida por la onda sonora, tomada del orden de 150 dB, correspondiente a 31,623 Pa y suficiente para el adecuado desempeño del transductor. W y h son el ancho y alto, respectivamente de la cara de incidencia, mientras L es la distancia entre las bases del piezoeléctrico. En el cálculo de la fuerza se toma la incidencia de presión sobre la cara inferior, por ser ésta la de mayor sensibilidad. Como resultado se obtiene una relación V/p del orden de $5,68 \cdot 10^{-3}$ V/Pa, que se considera suficiente para el registro de señales acústicas marinas diferenciables del ruido.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TÉRMICA

La estabilidad de la respuesta de transferencia (RF) en los piezoeléctricos ante perturbaciones mecánicas (golpes, vibraciones, aceleración lineal, etc.) está dada por sus coeficientes de tensión física, que en el caso del PZT empleado están dados en (2). Como se observa, no se presenta ninguna dependencia de la frecuencia. De cualquier manera, los sensores se montan sobre bases mecánicas seguras y estables.

El análisis experimental del transductor PZT empleado mostró que se presenta una RF correspondiente a un filtro pasa alto, usualmente propia de los materiales piezoeléctricos. Este comportamiento se debe a que su circuito equivalente simplificado muestra una característica capacitiva en serie con una fuente voltaje, lo que puede sugerir que existan cambios en la forma de respuesta debidos a variaciones de la temperatura de operación. En los dispositivos monolíticos piezoeléctricos la estabilidad térmica de la RF, esencialmente, depende de sus partes resonantes [4], la cual es función del ángulo de orientación de corte y del tipo del cristal. Así, para cada rango de cambio de temperatura se puede hallar un corte específico del cristal, que de mejor manera presente estabilidad térmica. Por ejemplo, para el corte YZb/35°11", el correspondiente rango de temperatura óptimo de trabajo está entre $-20...70^{\circ}\text{C}$, mientras en el mismo dispositivo, para un rango ampliado de $-50...85^{\circ}\text{C}$ el corte óptimo es 35°17" con valores de inestabilidad del orden de 10^{-6} . Como se observa, los cambios esperados en la RF deben ser mínimos.

En general, en caso de necesidad, existen dos formas de controlar la inestabilidad de frecuencia de los transductores piezoeléctricos [5]: *a)* con circuitos de termocompensación y *b)* con calibración periódica. En el primer tipo, los circuitos requieren del registro de más variables eléctricas y, por tanto, energéticamente son más costosos, además de aumentar el volumen del sensor. En el segundo caso, se dispone de una serie de pruebas periódicas con señales patrón de calibración que indican la posible inestabilidad, debidas a cambios de temperatura del cristal. Los resultados experimentales obtenidos del análisis de la influencia de la temperatura del transductor en su RF se muestran en la figura 2. Los parámetros de la prueba fueron los siguientes: Ancho de banda $\Delta f = 5$ kHz ($f_{min} = 100$ Hz; $f_{max} = 5.5$ kHz), rango de temperatura $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$ ($T_{min} = 10^{\circ}\text{C}$; $T_{max} = 40^{\circ}\text{C}$). Las variaciones observadas de comportamiento en la respuesta del transductor, debidas a los cambios de temperatura se consideran despreciables, haciendo innecesaria la compensación.

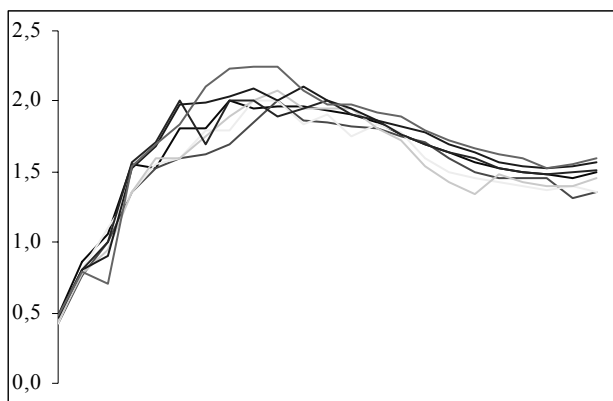


Figura 2. Respuesta de frecuencia experimental del transductor (10...40 °C)

CONCLUSIONES

El método de cálculo de los parámetros principales del sensor piezoeléctrico resulta suficiente para el análisis de su función de transferencia para diferentes cambios de temperatura, como lo mostraron las medidas experimentales de la respuesta de frecuencia obtenidas. En general, el circuito de acondicionamiento de señal desarrollado muestra alta termoestabilidad en frecuencia, tanto en la etapa de amplificación como de filtrado. Los circuitos propuestos de control de inestabilidad por calibración requieren pocos dispositivos externos y son de fácil ajuste y diseño, además son de muy bajo consumo de potencia, mejorando la autonomía de los sistemas de investigación marina.

REFERENCIAS

- [1] Croll, D. A. Et al. Marine Vertebrates and Low Frequency Sound. Technical Report for LSA EIS. Marine Manual and Seabird Ecology Group. Feb. 1999
- [2] Davis, C. M. Et al. Fiberoptic Sensor Technology Handbook. Optical Technologies – OPTEC USA 1986
- [3] Lach, M. Et al. Piezoelectric Materials for Ultrasonic Probes. Vol. 1 NDTnet Sep. 1996
- [4] Dmitriev V.V. et al. Integralnye Piezoelektricheskie ustroystva filtratsii i obrabotki signalov (Rus). RiS. 1985
- [5] Kochemasov V.N. Sobol N.V., Akustoelektronnye Fourier-Protssory (rus). Radio I Svjaz. 1987.