

Filtro analógico para la cancelación activa del ruido en protectores auditivos

J. García Alba y P. Cobo Parra
Instituto de Acústica. C.S.I.C. Serrano 144. 28006 Madrid

Summary

This paper reports on active noise cancellation in conventional hearing protectors. First the protector's properties are analyzed. Then an electronic filter is designed together with a loudspeaker and a microphone to introduce noise cancellation in the low frequencies range.

Introducción

El ruido constituye uno de los factores importantes de contaminación ambiental. La actuación sobre el ruido para reducirlo a unos niveles aceptables para la población que lo padece se denomina control del ruido. Este control puede ser llevado a cabo por métodos activos o pasivos.

Los métodos pasivos no introducen energía externa al sistema y buscan interrumpir adecuadamente la propagación del ruido. La pérdida de eficiencia en baja frecuencia es un rasgo común de todos los sistemas de control pasivo. Para compensar esta pérdida surgen los sistemas de control activo, que constan de una serie de sensores del ruido primario, una serie de fuentes de ruido secundario en contrafase (el antiruido) y de un filtro que controla el proceso de cancelación (Cobo Parra, 1997).

Control en protectores auditivos

Para controlar el ruido en la cavidad formada por el oído y el interior de los protectores auriculares, se utilizará un método de absorción acústica activa regido por un bucle de reacción electroacústico.

Para ilustrar las explicaciones se utilizará la Figura 1, donde aparece un diagrama de bloques que sintetiza el lazo de control dentro de la cavidad. La cavidad consiste en un protector auditivo que envuelve al

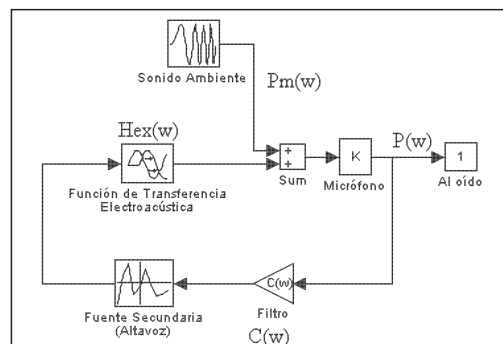


Figura 1. Lazo de control.

oído externo. Dentro de esta cavidad se encuentran el altavoz, fuente de ruido secundario, el micrófono de error, en torno al cual se generará la “concha de silencio” y el oído interno, que debe estar contenido en esta concha de silencio para que el efecto sea perceptible por el usuario. Finalmente, conectando la señal detectada por el micrófono con el altavoz, se encuentra el filtro corrector, que en función del ruido detectado, generará la señal adecuada, teniendo en cuenta las características físicas de la cavidad y del altavoz.

Función de transferencia electroacústica

Como hemos avanzado anteriormente, una característica fundamental del sistema completo es la función de transferencia electroacústica, que incluye el efecto del altavoz y de la propagación de la señal sonora, desde el altavoz al micrófono. Esta función de transferencia depende de la geometría de las dos cavidades que aparecen en el proceso : la cápsula del auricular y el oído externo.

Para la medición de esta función de transferencia introducíamos por el altavoz un pulso cuadrado estrecho (un click) y captábamos la respuesta del lazo abierto con el micrófono. La relación entre las transformadas de Fourier de la salida y la entrada nos da la función de transferencia electroacústica.

Absorción acústica activa

A partir de la función de transferencia electroacústica del sistema, deducíamos una función de transferencia de un orden determinado para el filtro de manera que se maximice la absorción acústica activa. Finalmente, a partir de esta función de transferencia diseñábamos el filtro electrónico propiamente dicho. La función de transferencia total del bucle cerrado (Nelson y Elliott, 1992; Carme, 1988), y por lo tanto la relación entre el ruido atenuado y el ruido ambiente, es la siguiente (Figura 1)

$$\frac{P(\omega)}{P_m(\omega)} = \frac{1}{1 - C(\omega)H_{ex}(\omega)} \quad (1)$$

Donde $P(\omega)$ es la presión sonora percibida, $P_m(\omega)$ es la presión sonora externa, $H_{ex}(\omega)$ es la función de transferencia electroacústica y $C(\omega)$ es la función de transferencia del filtro.

Así pues, para que la atenuación sea máxima, se debe cumplir que :

$$\left| \frac{P(\omega)}{P_m(\omega)} \right| \rightarrow 0 \text{ si } \begin{cases} | - C(\omega)H_{ex}(\omega) | \rightarrow \infty \\ y \\ | - C(\omega)H_{ex}(\omega) | \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Diseño del filtro

Debido a su respuesta más plana en fase, parece adecuado utilizar como filtro de control, un filtro bicuadrático de segundo orden.

Supongamos que el filtro que queremos diseñar tiene la siguiente función de transferencia:

$$C(\omega) = K \frac{s^2 + A_1s + A_0}{s^2 + (f_0/Q)s + f_0^2} \quad (3)$$

Los factores sobre los que se puede actuar son : K , A_1 , A_0 , f_0 y Q . Los efectos de f_0 y Q sobre la función de transferencia han sido estudiados aparte y se han impuesto valores determinados por las necesidades (atenuación en baja frecuencia, ancho de banda de atenuación ...). Los valores de K , A_1 y A_0 se podría decir que están relacionados con las ganancias respectivas de los efectos paso alto, paso banda y paso bajo.

Pero si bien más o menos se puede entrever el papel de cada uno de estos factores sobre la función de transferencia del filtro, resulta menos inmediato predecir cómo actuarán sobre la función de transferencia del lazo cerrado del sistema, que al fin y al cabo es el que representa la absorción acústica activa.

Para la determinación de estos valores, se ha utilizado un algoritmo recursivo de optimización, en el que se pretendía minimizar la atenuación realizada en la banda de frecuencias de interés, manteniendo la estabilidad del lazo cerrado.

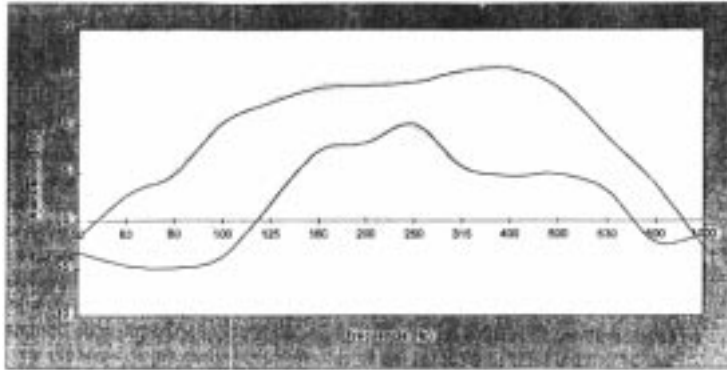


Figura 2. Curvas de atenuación del ANR Headset (curva inferior) y de nuestro diseño (curva superior).

Una vez determinada la función de transferencia óptima del filtro, se ha diseñado un circuito electrónico con esta función de transferencia y se han hecho los ensayos.

Resultados

La Figura 2 muestra la curva de atenuación del sistema activo diseñado (curva superior), comparada con un sistema activo comercial ANR Headset (curva inferior). Como se puede apreciar, se obtienen cancelaciones de hasta 20 dB, en una banda de frecuencias bastante ancha (García Alba, 1997).

Referencias

- Carme, Ch., 1988. "Absorption acoustique active dans les cavités auditives". *ACUSTICA*, 66(5), 233-246.
- Cobo Parra, P., 1997. *Control Activo del Ruido: Principios y Aplicaciones*. Editorial CSIC (En proceso).
- García Alba, J., 1997. Filtro analógico para la cancelación activa del ruido en protectores auditivos. Proyecto Fin de Carrera (ICAI).
- Nelson, P.A. y Elliott, S.J., 1992. *Active Control of Sound*. Academic Press, London.

Agradecimiento

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto AMB96-2387-E). Uno de los autores (JGA) agradece también al Departamento de Postgrado y Especialización del CSIC, por la concesión de una Beca de Introducción a la Investigación.

