

## SISTEMAS DE CONTROL ACTIVO DE RUIDO EN CONDUCTOS DE VENTILACION

A. Pena Giménez (\*), J.M.Páez Borrallo(\*\*) y L. A.Hernández(\*\*).

(\*) E.T.S.E.Telecomunicación - Universidade de Vigo. VIGO - 36200

(\*\*) E.T.S.I.Telecomunicación - Universidad Politécnica de Madrid. MADRID - 28040

### I. INTRODUCCION

El control del ruido existente en diversas áreas donde se desarrolla habitualmente la vida de las personas, ya sean áreas de trabajo, ocio, transporte, etc., se está convirtiendo en una necesidad apremiante. Las normas actuales de seguridad en el trabajo obligan a una reducción sustancial de muchos ruidos en los ambientes industriales y el nivel de ruido ambiental pasa a ser un parámetro influyente a la hora de juzgar la calidad de vida en determinados entornos de la vida cotidiana. El ruido, como tal, es indeseable y afecta directamente a la comunicación humana, al desarrollo de su trabajo y al equilibrio psíquico de las mismas.

Por otra parte el desarrollo de medios eficaces y de bajo coste para poder aplicar técnicas de Procesado Digital de Señales está suponiendo una revolución en muchos campos y entre ellos, especialmente, la Acústica. Dentro de ésta se ha venido desarrollando en los últimos diez años un trabajo intensivo sobre un tema: el Control Activo de Ruido (ANC).

### II. SILENCIADORES PASIVOS Y SILENCIADORES ACTIVOS

Los silenciadores usados en supresión de ruido en conductos se pueden clasificar en dos grandes familias: los silenciadores pasivos y los silenciadores activos.[1]

- Silenciadores pasivos: En general hablaremos de silenciadores pasivos reactivos y silenciadores pasivos resistivos. Mientras que los primeros se basan en el uso de configuraciones adecuadas de tubos y conducciones para la reducción del ruido en motores de combustión interna y extractores de aire principalmente, los silenciadores pasivos resistivos usan materiales absorbentes para conseguir eliminar en parte el sonido que se propaga, aplicándose típicamente en instalaciones de tubos de ventilación, etc.

- Silenciadores activos: Generan una onda acústica cancelante del ruido a través del uso de altavoces controlados electrónicamente. Pueden ser silenciadores fijos, diseñados para un problema concreto y muy estacionario, o adaptativos, que sigan fácilmente posibles cambios existentes en las características de la señal a cancelar.

Los silenciadores pasivos tienen la gran ventaja de haber sido usados durante largo tiempo, con lo cual toda la tecnología relacionada, la disposición de los elementos y el estudio sobre multitud de materiales usados es extenso, lo que provoca que el diseño de estos sistemas se vea facilitado enormemente. Son, por tanto, de gran fiabilidad y prestaciones conocidas. Trabajan generalmente atenuando en banda ancha y su coste inicial es bajo.

Los silenciadores activos parten, en cambio, de una tecnología nueva por lo que sufren el handicap de carecer de estándares claros, configuraciones fiables y estudios

exhaustivos, lo que provoca la complicación del diseño y el encarecimiento de toda la tecnología relacionada. Su fiabilidad es por ahora limitada, su coste inicial elevado y su zona de trabajo se limita a las bajas frecuencias.

Quedaría clara hasta ahora la elección de un sistema de reducción de ruido por todas las razones antes citadas, pero debemos considerar otros aspectos. Muchas aplicaciones exigen para su correcto funcionamiento obtener espectros "suaves", sin picos espectrales que sean claramente distinguidos aunque el ruido en toda la banda de audición haya sido reducido sustancialmente, labor que no son capaces de realizar los silenciadores pasivos y sí los activos, que precisamente concentran su habilidad en cancelar resonancias espectrales marcadas.

Por otra parte los silenciadores pasivos no son sintonizables, ya que reducen la señal en banda ancha, mientras que los silenciadores activos sí lo son, permitiendo una supresión de ruido, digamos, *inteligente*. Esta programabilidad de los sistemas activos les da otra ventaja importante: su adaptabilidad a cambios en la fuente de ruido a cancelar. Esto hace que un mismo sistema sirva para muchas aplicaciones distintas salvo, quizá, alguna pequeña modificación en alguno de los elementos.

Todo esto nos lleva a hablar del coste TOTAL en el cual englobaríamos todos los gastos necesarios a invertir en una instalación de reducción de ruido, desde su origen hasta su mantenimiento, pasando por las posibles modificaciones en la fuente de ruido que puedan existir. La idea es que en muchas aplicaciones este concepto va a tomar un valor preponderante a la hora de tomar una decisión, con lo que si hacemos un baremo de qué influye en este coste llegaremos a las siguientes conclusiones:

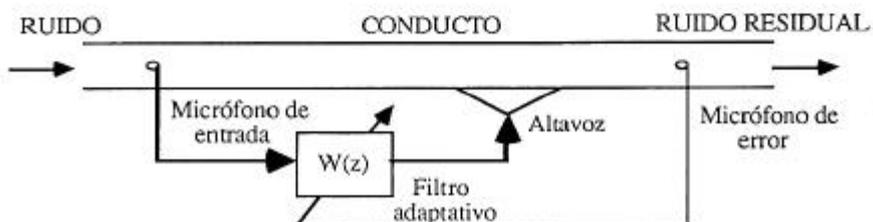
- Aunque el coste INICIAL de una instalación activa es mucho mayor que una pasiva, se prevé que con el desarrollo de estos sistemas y el consiguiente abaratamiento de muchos elementos usados, más la caída del precio de tecnologías íntimamente relacionadas (electrónica, procesadores de tratamiento de señal, etc.), se llegue a una reducción sustancial de este coste primario.

- El mantenimiento de una instalación activa es sencillo, incluyendo en este mantenimiento las variaciones de las características de la fuente a suprimir, siendo además ligeros y pequeños los elementos usados. Su programabilidad garantiza una amplia gama de aplicaciones con prácticamente el mismo diseño. Una instalación pasiva es, generalmente, pesada, grande y muy aparatosa (recordemos que en ellas la atenuación conseguida es directamente proporcional a la longitud del silenciador e inversamente proporcional a la longitud de onda), con una inflexibilidad manifiesta a cualquier cambio posible, lo que provoca tener en muchos casos que desmontar la instalación y acoplar otra. El coste TOTAL es, pues, alto.

### III. CANCELACIÓN ACTIVA DE RUIDO

La técnica se basa en el uso de una serie de micrófonos que nos permiten captar una cierta señal de referencia del ruido a eliminar, uno o varios altavoces que inyectan al sistema la señal generada adaptativamente por un microprocesador y un conjunto de micrófonos que nos informan sobre el ruido residual existente en la zona de interés. Obviamente, en general, conseguiremos reducir el nivel de presión sonora en ciertas zonas a costa de aumentarla en otras, en las cuales no nos importa dicho aumento. El problema se puede plantear de la siguiente manera, tal como se aprecia en la figura de esta misma página:

- Un micrófono de entrada que mide el ruido no deseado y proporciona la señal de referencia al sistema.
- Un filtro adaptativo  $W(z)$  que filtra la señal de referencia.
- Un altavoz que se excita con la señal generada por el sistema e introduce una señal acústica en el conducto.
- Un micrófono de error que recoge la señal residual una vez cancelado parcialmente el ruido.



Una forma simplificada de este sistema de control se puede describir como un proceso de identificación de sistemas en el cual el camino desde el micrófono de referencia hasta el lugar donde está situado el altavoz se denomina la "planta", caracterizada por una cierta función de transferencia. La ventaja de este planteamiento reside en la no especificación de qué algoritmo se usa en el procedimiento adaptativo, ni qué parámetros se usan en el mismo, quedando la elección totalmente abierta.

Evidentemente el planteamiento no es tan sencillo. Considerando ideales los micrófonos usados en la toma de la señal de referencia y en la toma de la señal de error, se debe modelar la respuesta del altavoz usado y el camino de error, camino que va desde el propio altavoz hasta el micrófono de error. Estas respuestas deben ser introducidas en el sistema [2] para poder ser tenidas en cuenta a la hora de hacer converger apropiadamente el algoritmo. Los algoritmos generalmente usados son filtros tipo FIR, o también filtros IIR intentando modelar posibles realimentaciones en el sistema.

#### IV. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CANCELACION ACTIVA

Por una parte se debe determinar el número y la localización óptima de unas fuentes de ruido cancelantes y además se debe realizar un control adaptativo en amplitud y fase de las ondas cancelantes introducidas al sistema por dichas fuentes. Entre muchas cuestiones a considerar se debe imponer una frecuencia límite a cancelar, ya que frecuencias mayores nos llevarían a frecuencias de muestreo tal vez prohibitivas y a la aparición de modos de órdenes superiores mucho más complicados de eliminar con un sistema activo simple. Por todo ello se insiste en combinar el sistema ANC con un sistema de silenciación pasiva que se encargue de atenuar esas frecuencias más altas, obteniendo un **sistema híbrido** que conjunte las ventajas de los dos enfoques.

Un posible planteamiento a la hora de diseñar y poner en funcionamiento un sistema ANC puede ser el siguiente [3]:

##### *a) Estudio previo*

El primer paso es conocer el entorno en donde se desea instalar el sistema de cancelación, su geometría y la naturaleza de la fente de ruido a cancelar. Dependiendo de si nos encontramos en un entorno HVAC (englobando calefactores, ventiladores y aparatos de aire acondicionado) o en un entorno industrial realizaremos la elección de los transductores a usar y la protección necesaria para los mismos.[4]

##### *b) Diseño teórico*

El presupuesto disponible nos suele condicionar la calidad y potencia de cálculo a considerar en el diseño teórico del prototipo, afectando a componentes como el microprocesador usado, la tarjeta de adquisición de datos o el *host* de gestión del hardware necesario. Una vez definidos estos, deberemos realizar un modelado de los transductores y de la fuente de ruido, modelos necesarios para utilizar en la simulación donde determinaremos el algoritmo adaptativo a usar y la determinación de sus parámetros. (Ver figura al final)

##### *c) Sistema real*

Si es posible tener un modelo del conducto (y de la fuente de ruido) a tamaño natural en Laboratorio se recomienda su instalación previa para realizar toda la simulación anterior, el montaje y el ajuste previo del prototipo sobre él. Si no, habrá que implementar el algoritmo elegido sobre la configuración *hardware* deseada ( $\mu$ P, memorias y *host*) y ponerlo a funcionar usando ficheros de prueba, comprobando que los interfaces A/D D/A funcionan según lo especificado.

Tras superar las pruebas en Laboratorio se procede a su instalación en el lugar de trabajo, recomendándose un test de todas sus módulos previo a su funcionamiento. Se procede a ajustar las funciones de transferencia a modelar (altavoz, camino de error...) con los valores obtenidos en su funcionamiento normal, forzando en lo posible todas las variaciones de la fuente de ruido que pudieran darse y comprobando la efectividad del sistema con respecto a la atenuación teórica. Una vez superada esta fase se da por finalizada su instalación, siendo conveniente una comprobación exhaustiva de sus prestaciones durante un tiempo prudencial.

Si el presupuesto y la instalación lo permiten, se sugiere tener en el *host* algún programa de control que ayude a un seguimiento de las prestaciones, avisando de cualquier deterioro en las mismas al usuario del sistema para que éste lo pueda notificar. Una vez avisado, el instalador deberá tener un programa de mantenimiento que le permita detectar comodamente dónde está el fallo para su corrección inmediata.

## V. CONCLUSIONES

Se ha intentado plasmar un panorama de cómo son los sistemas usados en cancelación activa de ruido en conductos, solución a tener en cuenta a la hora de poder obtener un **silenciador híbrido** que permita una atenuación eficaz y flexible de los ruidos típicos en sistemas de ventilación.

## REFERENCIAS

- [1] "Computer-aided silencing: an emerging technology"  
L.J.Eriksson *Sound and Vibration, Julio 1990.*
- [2] "Development of the filtered-U algorithm for active noise control"  
L.J.Eriksson *J.of the Acoustic Society of America, 1990*
- [3] "Diseño de sistemas de control activo de ruido en conductos de ventilación"  
A.Pena et al. *VII Simposium Nacional URSI 1992*
- [4] "An update of commercial experience in silencing air moving devices with ANC"  
Burlage et al. *Proceedings of the Noise-Con 91*

