

MECANISMOS DE RADIACIÓN: ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE CANCELACIÓN

PACS: 43.40.Rj

Alarcón Rovira, Gabriel¹; Romeu Garbí, Jordi²

¹ SENER, Ingeniería y Sistemas, S.A.;

Provença, 392.

08025 Barcelona.

Tel.932 283 355. Fax.932 283 322

E-mail: gabriel.alarcon@sener.es

² LEAM-UPC

Colom, 11.

08222 Terrassa.

Tel. 937 398 061. Fax. 937 398 101

E-mail: jordi.romeu@upc.edu

ABSTRACT

The far-field acoustic radiation is dependent on the vibration response of the structures. Therefore, two basic strategies could be chosen to reduce it: the reduction of the response (AVC) and the modification of the vibration pattern according the acoustic goal (ASAC).

This work studies the radiation mechanisms in a rectangular plane plate at some single frequencies. Two basic one-error-one-control active control systems have been performed in order to compare them and to analyse the changes in the radiation and vibration behaviour. The results depend on the frequency and the modeshapes involved but ASAC always gives the best performance.

RESUMEN

La radiación en campo lejano depende de la respuesta vibratoria de las estructuras. Por lo tanto, existen dos estrategias básicas para reducirla: limitar las vibraciones (AVC) y modificar el patrón de vibración de acuerdo con el objetivo acústico (ASAC).

Este trabajo estudia los mecanismos de radiación en una placa plana rectangular a algunas frecuencias discretas. Se han desarrollado dos sistemas básicos de control activo con una señal de error y una de control, que permiten compararlos y analizar los cambios que se producen en el comportamiento a vibraciones y ruido. Los resultados son sensibles a la frecuencia y a las formas modales involucradas, aunque el ASAC siempre ofrece el mejor comportamiento.

INTRODUCCIÓN

Dado que la radiación sonora en campo lejano depende directamente de la respuesta vibratoria de la placa, el hecho de conseguir eliminar las vibraciones conduciría a la eliminación del ruido radiado por ésta. Sin embargo, esta estratégica de cancelación necesita de infinidad de sensores y, sobre todo, de actuadores, no siendo en absoluto la mejor alternativa posible [1].

A continuación se describen los experimentos llevados a cabo con una placa rectangular en cuanto a la determinación de sus características de radiación y los resultados de la aplicación de dos técnicas distintas de reducción de ruido radiado, ambas basadas en el control activo: control activo de vibración clásico (AVC) y control activo de radiación (Active Structural-Acoustic Control).

DESCRIPCIÓN DE LA PLACA

Características Físicas

La placa seleccionada presenta unas dimensiones de 380mm*300mm*2mm aproximadamente y está construida en acero. Se consiguieron condiciones de contorno similares a aristas simplemente apoyadas mediante una sub-estructura diseñada a tal efecto y se lastró el conjunto para evitar desplazamientos. Algunas referencias de ensayos anteriores muestran como parecidos montajes modelan adecuadamente estas condiciones de contorno [2, 3].

Análisis Modal

Se realizó un análisis modal de la placa anterior extrayendo las frecuencias de resonancia y comparándolas con los resultados analíticos obtenidos a partir de la teoría clásica de placas planas. Para una placa plana simplemente apoyada en sus aristas, la respuesta en cuanto a desplazamiento puede escribirse de la siguiente forma [4]:

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{L_x}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{L_y}\right) e^{j\omega t}, \quad (1)$$

donde m y n representan el número de modo; L_x y L_y las dimensiones de la placa; ω es la frecuencia circular, y A_{mn} son las amplitudes modales. En la tabla nº1 se recogen los resultados obtenidos en los ensayos y se compararan con los teóricos a partir de la ecuación (1). Para referencias futuras en el texto, se incluyen en la figura nº1 unos esquemas simples de los primeros modos propios.

Nº Modo	m	n	Frecuencia teórica (Hz)	Frecuencia ensayo (Hz)	Desviación
1	1	1	81,4	81	-0,4%
2	2	1	175,2	177	1,0%
3	1	2	231,6	203	-12,3%
4	2	2	325,4	306	-6,0%
5	3	1	331,7	314	-5,3%
6	3	2	481,9	452	-6,2%
7	1	3	481,9	493	2,3%
8	4	1	550,8	535	-2,9%
9	2	3	575,8	555	-3,6%

Tabla nº1: Comparativa teórico-experimental del análisis modal de la placa

Radiación Sonora

Los experimentos se desarrollaron en la cámara semi-anecoica del Laboratorio de Ingeniería Acústica y Mecánica (LEAM) de la Universidad Politécnica de Cataluña en Terrassa, disponiéndose una plataforma de madera suficientemente amplia alrededor de la placa para reducir el efecto dipolo creado por las caras superior e inferior de la placa (ver figura nº3 más adelante). Además, bajo la plataforma se dispuso material absorbente en suficiente cantidad.

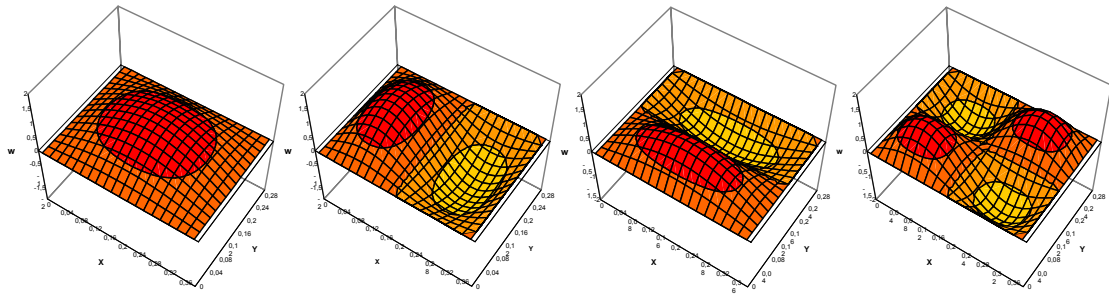


Figura n°1: Primeros 4 modos propios de la placa rectangular. Respectivamente: (1,1), (2,1), (1,2) y (2,2)

El elemento generador de la excitación ha sido un vibrador (shaker) B&K Type 4809, que excitaba a la placa, mediante una varilla especialmente construida, por la parte posterior de la misma y en la posición (-90, -50) tomando el centro como origen. Las lecturas de vibración (también para el análisis modal) se han efectuado mediante un conjunto de mini-acelerómetros PCB-Piezotronics modelo 352 B10, con un peso unitario de sólo 0,7 gr, no distorsionando así el patrón de vibración de placa. Se obtuvieron señales en 9 posiciones distintas en la placa. Ver figura n°2.

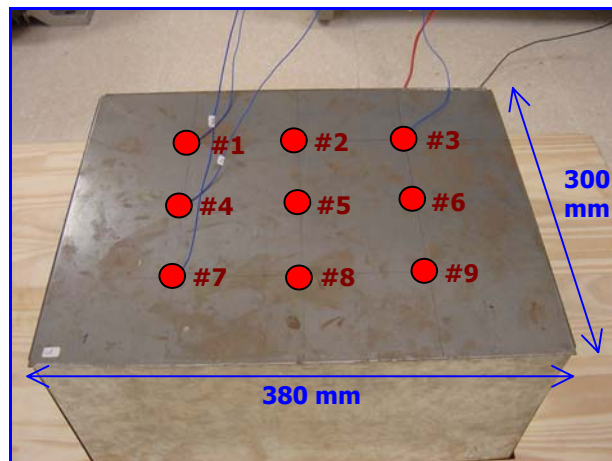


Figura n°2: Placa ensayada y posición de los acelerómetros

Los patrones de radiación fueron obtenidos a partir de una distribución permanente de 13 micrófonos dispuestos en forma de semi-circunferencia vertical de radio 2 m e incrementos de 15° a partir del plano horizontal de la placa, según se muestra en la figura n°3. Aunque hubiera sido deseable una mayor radio para las frecuencias estudiadas, se trataba del mayor posible dadas las dimensiones finitas de la cámara y, de todos modos, los resultados han resultado suficientemente representativos respecto a las condiciones teóricas ideales.



Figura n°3: Disposición del ensayo

CONTROL ACTIVO DE VIBRACIÓN (AVC)

Para generar la perturbación de control a la señal primaria del shaker se ha escogido un único actuador piezoeléctrico de dimensiones 38 mm * 30 mm y material PZT G-1195, facilitado por CTS. Este actuador se ha colocado en el centro geométrico de la placa y la decisión de disponer un solo actuador, pese a la asimetría del par de flexión generado, se ha tomado por no tratar este experimento de optimizar este tipo de actuación de control sino de comparar dos técnicas de control distintas.

El sistema de control activo ha sido del tipo adaptativo feedforward y se ha implementado mediante la tarjeta EZ-ANC de Causal Systems, inicialmente diseñada para control activo de ruido pero que puede ajustarse para ser usada en control activo de vibración y en control activo de radiación [5]. Como señal de referencia para el control se ha tomado la suministrada por el generador de funciones, debidamente acondicionada. Como señal de error se ha tomado la del acelerómetro posicionado en el centro geométrico de la placa (#5).

CONTROL ACTIVO DE RADIACIÓN (ASAC)

Las condiciones en cuanto a señal de referencia, excitación y actuador son idénticas a las del AVC. Sin embargo, en este caso la señal de error provenía del micrófono central de la semi-circunferencia (#7): el situado justo 2 m por encima del centro de la placa.

RESULTADOS

Para analizar el comportamiento radiante de la placa y comparar distintas estrategias de cancelación se ha optado por excitar la misma mediante tonos puros y poder así comprender los distintos fenómenos que ocurren y su dependencia con la frecuencia. Se muestran a continuación algunas de las frecuencias analizadas:

Comportamiento a 65 Hz

Se trata de una frecuencia muy baja, anterior al campo ondulatorio de la placa pero cercana a la primera frecuencia propia (81 Hz). La figura nº4 muestra el comportamiento radiante sin control y con cada una de las estrategias empleadas. Se aprecian unos significativos descensos de la presión sonora y bastante uniformes en todo el campo acústico. Se demuestra como la estrategia ASAC es mucho más efectiva que la del control activo de vibración.

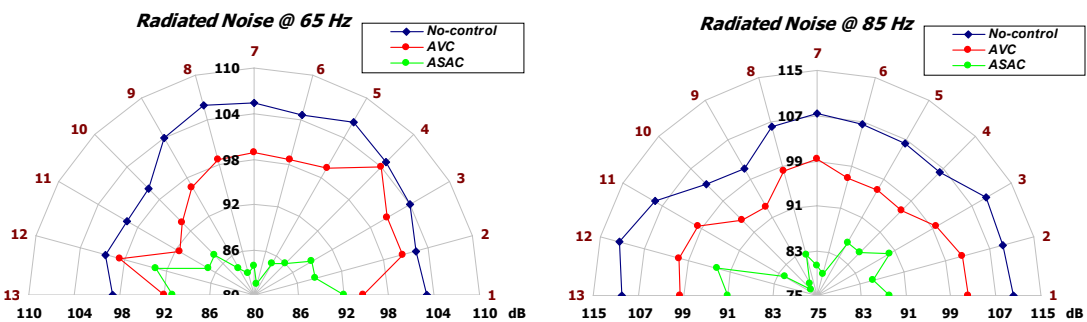


Figura nº4: Directividad a 65 Hz y a 85 Hz

Revisando ahora el comportamiento en cuanto a vibraciones, quedan claras las diferencias en el mecanismo de cancelación (ver figura nº5). El campo de vibraciones original es el clásico de una placa vibrando según su modo 1,1 ó por debajo de éste. El control activo de vibración no provoca cambios en el patrón de vibración al buscar la reducción del nivel de vibración del punto central de la placa. Sin embargo, cuando el objetivo no es reducir vibraciones sino directamente ruido (ASAC), la placa cambia su patrón de comportamiento y

vibra según un patrón de modo par (el 2,1) aún estando lejos de la frecuencia propia de éste. El resultado es un descenso acusado del ruido radiado.

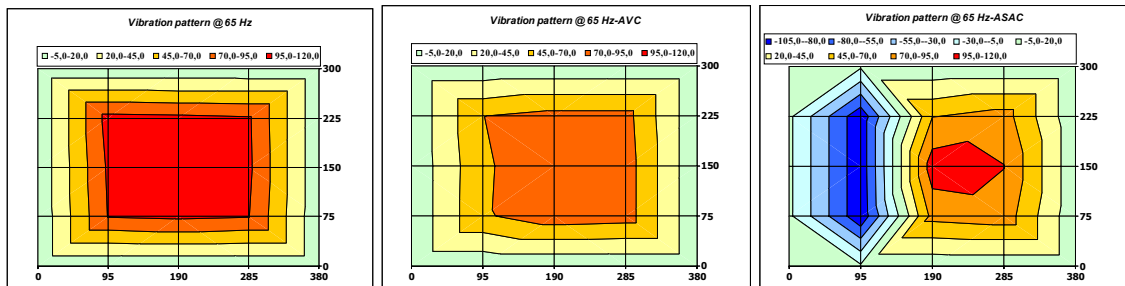


Figura nº5: Vibración de la placa a 65 Hz. Respectivamente: sin control, control AVC y control ASAC

Comportamiento a 85 Hz

Se trata de una frecuencia ligeramente por encima de la primera frecuencia propia de la placa (81 Hz), siendo el comportamiento prácticamente resonante. La figura nº4 anterior muestra el comportamiento radiante sin control y con cada una de las estrategias empleadas. Igual que a 65 Hz, el descenso de ruido es global en todo el campo acústico y con las dos estrategias pero la basada en ASAC se muestra mucho más eficaz. De igual forma, el comportamiento vibratorio original y las variaciones de éste con ambas estrategias son equivalentes a lo sucedido a 65 Hz.

Comportamiento a 185 Hz

Se trata de una frecuencia ya plenamente dentro del campo ondulatorio de la placa, situada entre la frecuencia propia correspondiente al modo 2,1 (177 Hz) y la del modo 1,2 (203 Hz). La figura nº6 muestra el comportamiento radiante sin control y con cada una de las estrategias empleadas. Destaca en este caso el efecto contrario al deseado (se produce un incremento global del ruido) de la aplicación del control activo de vibraciones. Además, la técnica del ASAC discrimina claramente la zona de reducción del ruido: se reduce muchísimo en el micrófono #7, siendo el resto de descensos menores.

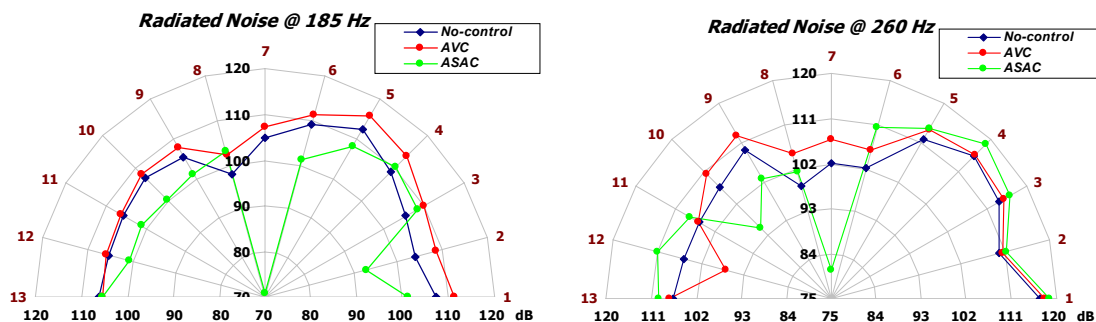


Figura nº6: Directividad a 185 Hz y a 260 Hz

Revisando el patrón vibratorio de la placa, vuelven a aparecer diferencias significativas (ver figura nº7). El comportamiento original es claramente el del modo 2,1. El control activo de vibración no provoca apenas cambios en el patrón de vibración pero, al buscar la reducción del nivel de vibración del punto central de la placa, desciende el nivel en ese punto. De esta manera, el proceso de cancelación de ruido radiado por parejas de semi-celdas se reduce, provocando incrementos en los niveles de presión sonora medidos [6]. En cambio, al aplicar la estrategia ASAC, la placa cambia su patrón de comportamiento y vibra según una combinación de los modos 2,1 y 1,2: el centro de la placa y el perímetro vibran en contra-fase. El resultado es un descenso acusado del ruido radiado para el micrófono de error, siendo este descenso muy pequeño en el resto de micrófonos.

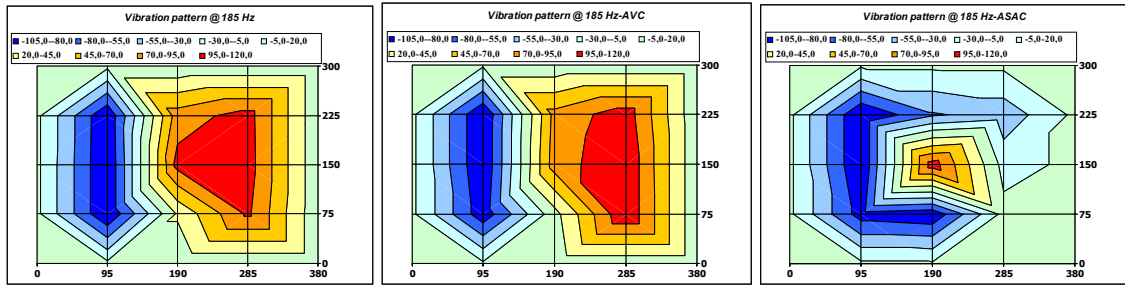


Figura n°7: Vibración de la placa a 185 Hz. Respectivamente: sin control, control AVC y control ASAC

Comportamiento a 260 Hz

En este caso la frecuencia escogida se encuentra entre la frecuencia propia correspondiente al modo 1,2 (203 Hz) y la del modo 2,2 (306 Hz). La figura n°6 anterior muestra el comportamiento radiante sin control y con cada una de las estrategias empleadas. Por otra parte, el comportamiento vibratorio original y las variaciones de éste con ambas estrategias son comparables a lo sucedido a 185 Hz aunque los patrones sean distintos.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados anteriores se deducen las siguientes conclusiones:

- La estrategia ASAC es, en general para el caso estudiado, más apropiada que la AVC para reducir la radiación acústica.
- Existe una relación directa entre cómo reducir el ruido radiado y los modos propios que participan en cada frecuencia.
- Un menor nivel de vibraciones no es sinónimo de menor radiación acústica. Puede obtenerse incluso más ruido. Es, por lo tanto, una estrategia muy sensible a la técnica de obtención de señales de error.
- La estrategia ASAC a frecuencias altas se muestra de incidencia muy local: si se requiere una cancelación global deben estudiarse otras técnicas para obtener señales de error: mayor número de micrófonos o detectar patrones de vibración perjudiciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. L. Clark and C. R. Fuller, "Modal sensing of efficient acoustic radiators with polyvinylidene fluoride distributed sensors in active structural acoustic control approaches," Journal of the Acoustical Society of America 91, 3321-3329 (1992).
- [2] R. L. Clark and C. R. Fuller, "Experiments on active control of structurally radiated sound using multiple piezoceramic actuators," Journal of the Acoustical Society of America 91, 3313-3320 (1992).
- [3] J. Ochs and J. Snowdon, "Transmissibility across simply supported thin plates, 1. Rectangular and square plates with and without damping layers". Journal of the Acoustical Society of America 58, 832-840 (1975).
- [4] W. Soedel, "Vibration of Shells and Plates", Marcel Dekker, Inc, New York, 1993
- [5] S. D. Snyder and G. Vokalek, "EZ-ANC User's Guide," Causal Systems Pty Ltd, Adelaide, South Australia, 1994.
- [6] F. Fahy, "Sound and Structural Vibration. Radiation, transmission and response," Academic Press, San Diego, California, 1985.