

TRANSDUCTOR TIPO SÁNDWICH PARA APLICACIONES ULTRASÓNICAS EN FRUTAS

PACS 43.35.Cg

Camarena Francisco; Martínez Juan Antonio; Ardid Miguel; Espinosa Víctor; Ramis Jaime
Escuela Politécnica Superior de Gandia
Ctra. Natzaret-Oliva s/n
46730 Grau de Gandia. Valencia. Spain
Tlf: 962 849 300
FAX: 962 849 309
E-mail: fracafe@fis.upv.es

ABSTRACT

We show the design and construction of a sandwich transducer to be used in the experiment for fruit characterization by means of ultrasound techniques. The transducer has been designed to work at 50 kHz, using an analytical approximation with the next hypothesis: the bounding media are ignored, the ceramic is visualized as a passive, homogeneous and isotropic medium and so are the backing and radiating layers and through them only longitudinal waves propagate. A similar approximation is used to design the horn that allows the connexion with the fruit, in such a way that it will oscillate at the same frequency than the transducer. In the present communication we show the design process taking into account the approximation, the transducer and horn building details and the final characterization.

RESUMEN

Se presenta el diseño y la construcción de un transductor tipo sándwich para su utilización en el experimento de caracterización de frutas mediante técnicas de ultrasonidos. El transductor ha sido diseñado para trabajar a una frecuencia de 50 kHz, utilizando una aproximación analítica que supone las siguientes hipótesis: los medios circundantes son despreciados, la cerámica se interpreta como un medio pasivo homogéneo e isótropo, así como el "backing" y las capas delanteras y sólo se propagan ondas longitudinales a través de ellos. Una aproximación análoga se utiliza para el diseño del focalizador que permitirá el acoplamiento con las muestras vegetales, de tal forma que su tamaño sea el adecuado para sintonizar a la misma frecuencia que oscila el transductor. En la presenta comunicación se muestra el proceso de diseño en base a esta aproximación, los detalles de la construcción del detector y del focalizador y su caracterización final.

1. INTRODUCCIÓN

Con el objeto de construir un dispositivo ultrasónico no destructivo para la evaluación del grado de hidratación de cítricos, se planteó la posibilidad de construir un par de transductores tipo sándwich (uno funcionando como emisor y otro como receptor) dotados de un focalizador que concentrase la energía ultrasónica en una región relativamente pequeña de la fruta. Mediante este tipo de transductores será posible hacer propagar una onda de ultrasonidos a través de la superficie de la fruta y posteriormente detectarla y extraer la información sobre el estado de la

piel. Este tipo de dispositivo permitiría realizar medidas no destructivas de las muestras, favoreciendo la realización de medidas y mejorando la resolución de los actuales prototipos de medida (destructivos) en estudios de la evolución temporal de las muestras.

Para el diseño del transductor se utilizó una aproximación analítica al problema [1], por lo general bastante complicado debido a la forma y los diferentes tipos de materiales que componen estos transductores. Los focalizadores también fueron diseñados en base a una aproximación analítica al problema [2], construyendo varios de ellos de diferente longitud y sección para poder estudiar el efecto de la superficie de contacto entre los focalizadores y las muestras de frutas. En el apartado 2 se detallan las particularidades de las aproximaciones utilizadas, en el tercer apartado se describe el dispositivo experimental y el procedimiento de construcción, y finalmente, el apartado 4 aborda los resultados obtenidos.

2. APROXIMACIÓN ANALÍTICA

Un transductor tipo sándwich está formado por:

- a) una capa activa o fuente de vibración, generalmente, cerámica piezoeléctrica.
- b) una capa backing, en la parte trasera del transductor.
- c) una capa delantera que transmite las vibraciones hacia el medio de trabajo.

La figura 1 muestra un esquema de sus componentes.

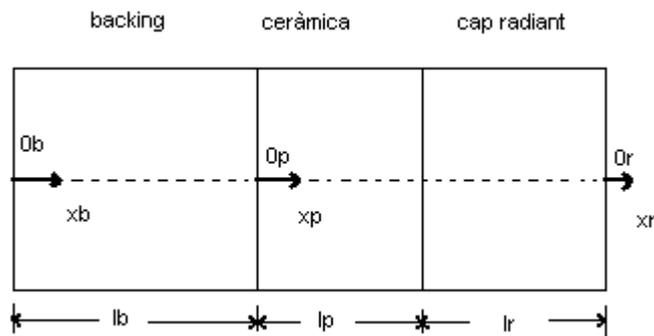


Figura 1.- Elementos constituyentes de un transductor tipo sándwich.

Si hacemos las siguientes suposiciones: la cerámica piezoeléctrica, el backing y la parte delantera son medios pasivos, homogéneos e isotrópicos, se ignoran los medios circundantes y se acepta que las ondas que viajan a través de los tres medios son ondas planas, podemos obtener una ecuación, relacionando los parámetros físicos y geométricos de los tres medios, que determinaría las dimensiones de cada una de las partes para que el transductor vibrase a una frecuencia natural predefinida.

La ecuación (1) muestra la ecuación de ondas en los tres medios ($i=b$ backing, $i=p$ cerámica piezoeléctrica y $i=r$ zona de radiación). ξ representa el desplazamiento de las partículas en cada medio y ρ y E la densidad y el Módulo de Young de cada uno de los materiales utilizados.

$$(1) \quad \frac{\partial^2 \xi_i^t}{\partial x_i^2} = \frac{\rho_i}{E_i} \frac{\partial^2 \xi_i^t}{\partial t^2} \quad (i = b, p, r)$$

La hipótesis de onda plana supone que ξ es función del tiempo y de la coordenada x :

$$(2) \quad \xi_i^t = \xi_i e^{j\omega t}$$

Aplicando las siguientes condiciones de contorno:

- presión nula en los extremos del backing y de la parte delantera.
- continuidad en el desplazamiento en las regiones de contacto entre la cerámica y el backing y la parte delantera.
- continuidad de las fuerzas en las mismas zonas.

se llega a la ecuación general del transductor sándwich:

$$(3) \quad \cos(k_b l_b) \sin(k_p l_p) \cos(k_r l_r) + Z_{rp} \cos(k_b l_b) \sin(k_r l_r) \cos(k_p l_p) + \\ + Z_{bp} \sin(k_b l_b) \cos(k_p l_p) \cos(k_r l_r) - Z_{rp} Z_{bp} \sin(k_b l_b) \sin(k_r l_r) \sin(k_p l_p) = 0$$

donde Z_{ij} representa el cociente entre las impedancias acústicas de los medios i y j .

Fijado el espesor de la cerámica piezoeléctrica, la ecuación 3 proporcionaría la relación entre las dimensiones del backing y de la parte delantera para que el transductor vibrase a una frecuencia natural predeterminada. No obstante, el número de soluciones sería infinita.

De entre estas infinitas soluciones nos interesan aquellas cuya relación entre la vibración de la parte delantera y del backing es mayor, pues favorecen la emisión de ultrasonidos hacia la parte delantera del transductor. Se define la ganancia del transductor como:

$$(4) \quad G = \frac{A_r^2}{A_b^2} = \frac{1 + (Z_{bp}^2 - 1) \sin^2(k_b l_b)}{1 + (Z_{rp}^2 - 1) \sin^2(k_r l_r)}$$

donde A_r y A_b representan la amplitud de la oscilación en la parte delantera y en el backing.

Escogiendo las soluciones de (3) que maximizan (4) llegamos a las relaciones presentadas en la tabla 1:

	G_M	l_b	l_p	l_r
$Z_{bp} > 1, Z_{rp} > 1$ $Z_{bp} \geq Z_{rp}$	Z_{bp}^2	$\lambda_b/4$	$\lambda_p/4$	$0, \lambda_r/2$
$Z_{bp} > 1, Z_{rp} = 1$	Z_{bp}^2	$\lambda_b/4$	$\tan(2\pi \frac{l_p}{\lambda_p}) \tan(2\pi \frac{l_r}{\lambda_r}) = 1$	
$Z_{bp} > 1, Z_{rp} < 1$	Z_{bp}^2 / Z_{rp}^2	$\lambda_b/4$	$0, \lambda_p/2$	$\lambda_r/4$
$Z_{bp} = 1, Z_{rp} < 1$	$1 / Z_{rp}^2$	$\tan(2\pi \frac{l_b}{\lambda_b}) \tan(2\pi \frac{l_p}{\lambda_p}) = 1$		$\lambda_r/4$
$Z_{bp} < 1, Z_{rp} < 1$ $Z_{bp} \geq Z_{rp}$	$1 / Z_{rp}^2$	$0, \lambda_b/2$	$\lambda_p/4$	$\lambda_r/4$

Tabla 1.- Dimensiones del transductor sándwich para obtener valores óptimos de G

Para el diseño del focalizador se partió de la ecuación que describe la propagación de ondas longitudinales planas a través de una barra de sección variable (ecuación 5) como la que se muestra en la figura 2.

$$(5) \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} (\ln S_x) = \frac{1}{c_L^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$



Figura 2.- Ejemplo de un focalizador de sección cónica.

donde ψ es el potencial velocidad y S_x el área de la sección transversal a la distancia x .

Suponiendo las hipótesis de onda plana, una variación exponencial en la sección del focalizador y que su longitud debe de ser un número entero de semilongitudes de onda llegamos a la expresión para las dimensiones del focalizador:

$$(6) \quad L = \left(n \cdot \frac{c}{2f} \right) \left[1 + \left(\ln M / n\pi \right)^2 \right]^{1/2}$$

3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

En base a las expresiones deducidas anteriormente se proyectó la construcción de los siguientes transductores:

	Configuración	Ganancia	L backing (mm)	L piezo (mm)	L head (mm)	Frecuencia (kHz)
T 1	Al-PZT-AL	3.6	17.04	6	8.52	185.2
T 2	AL-2PZT-AL	3.6	34.1	12	17.04	92.6
T 3	Acero-PZT-AL	6.2	3.88	6	4.26	370.4
T 4	Latón-PZT-AL	3.6	16.01	6	31.56	50
T 5	Latón-2PZT-AL	3.6	10.13	12	31.56	50

Tabla 2.- Transductores proyectados. AL (Aluminio). Sus dimensiones, su ganancia y su frecuencia natural de oscilación en $\lambda/2$

Se diseñó un conjunto de focalizadores exponenciales de aluminio preparados para resonar a las frecuencias de los transductores de la tabla 2. Los diámetros de la superficie final (contacto con las frutas) fueron de 2 y 4 mm.

En la Figura 3 pueden observarse las piezas construidas.

El primer transductor construido ha sido el número 5, pues se ajustaba mejor a las necesidades del experimento. Se utilizó el focalizador terminado en un área de diámetro 2 mm. Para realizar los contactos en las caras de las cerámicas se utilizaron anillos de cobre-berilio de 0.1 mm de espesor. Una vez ensamblado se procedió a la pretensión de las cerámicas hasta obtener una presión de 20 MPa.



Figura 3.- Piezas diseñadas y construidas para la implementación de los 5 transductores de la Tabla 2 con sus respectivos focalizadores .



Figura 4.- Dispositivo de pretensión del transductor

El aspecto final del transductor número 5 se muestra en la Figura 5.



Figura 5.- Transductor número 5.

4. RESULTADOS

Haciendo uso del analizador de impedancias disponible en el laboratorio se caracterizó el transductor. En la Figura 6 pueden observarse tres modos diferentes de vibración del transductor. La frecuencia en torno a 28 kHz corresponde a un modo de oscilación de $\lambda/4$ para el cuerpo del transductor y $\lambda/4$ para el focalizador. La de 37 kHz a un modo $\lambda/2$ más $\lambda/2$. Finalmente, la frecuencia de oscilación de 52 kHz correspondería a un modo λ más λ .

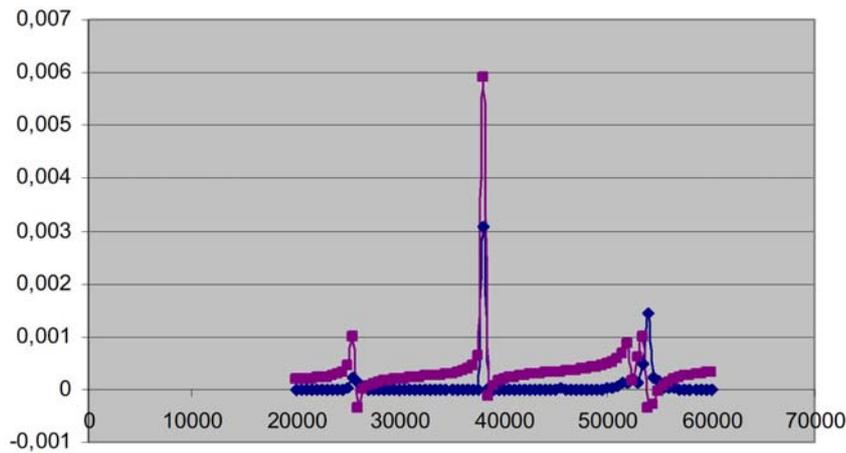


Figura 6.- Conductancia y susceptancia del transductor. Eje x frecuencia en Hz. Eje Y admitancia ($1/\Omega$)

5. CONCLUSIONES

Se ha utilizado una aproximación analítica al problema del diseño de un transductor tipo sándwich para diseñar y construir una serie de transductores adecuados para el estudio de la propagación de ultrasonidos en tejidos vegetales. El transductor, una vez ensamblado y caracterizado, ha resultado vibrar en modos cercanos a la frecuencia estimada en el cálculo, no obstante, para obtener resultados más precisos sería necesario recurrir a estimaciones numéricas del problema. Se han mostrado las bases para la resolución del problema y las técnicas experimentales para la construcción de este tipo de transductores.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado bajo el soporte del proyecto de la Generalitat Valenciana GV06/098.

REFERENCIAS

- [1] Dominguez, R. and Ranz, C. "Sandwich Transducer, Simplified Mathematical Model (I) and (II). *Acustica*. Vol 29 (1973)
- [2] Amza, G. and Drimer, D. "The design and construction of solid concentrators for ultrasonic energy". *Ultrasonics*. September 1976.