کنفرانس فیزیک ایران
۷ تا ۱۰ شهریور ۱۳۸۴
خرم‌آباد، دانشگاه لرستان
سال جهانی فیزیک - ایران ۱۳۸۴
WORLD YEAR OF PHYSICS - IRAN 2005
دانشگاه لرستان

مطالعه مدهای ارتعاشی سرامیک‌های پیزوالکتریک

مردانی، رضا ؛فلاح، محمدامیر

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مرکز تحقیقات هیدروفیزیک شیراز

چکیده

در این مقاله در ابتدا با معرفی مدهای مختلف ارتعاشی درسرامیکهای پیزوالکتریک حلقوی و دیسکی به محاسبه خصوصیات الکتریکی آنها پرداخته‌ایم. نتایج شبیه‌سازی با نتایج اندازه‌گیری دو نمونه سرامیک پیزوالکتریک مقایسه شده و پس از تائید صحت نتایج حاصله، خروجی‌های بدست آمده مورد ارزیابی و نقد قرار گرفته‌اند. تکنیک به کارگرفته شده در این تحقیق اعمال روش تحلیلی روی مشخصه‌های فیزیکی در این نوع پیزوسرامیکها می‌باشد که به حصول روابط الکتروآکوستیکی مورد نظر می‌انجامد. روابط مذکور در نهایت در یک پروسه شبیه‌سازی قبل از ساخت، به کار گرفته شده و از نتایج آن در افزایش دقت و ساده‌سازی روند ساخت پیزوسرامیک‌ها استفاده می‌شود. ویژگی مهم این روش پیش‌بینی مشخصه‌های الکتروآکوستیکی، توانایی تشخیص دقیق فرکانس رزنانس و آنتی‌رزنانس با توجه به ابعاد و جنس سرامیکهای پیزوالکتریک بدون صرف هزینه و وقت می‌باشد. به علاوه با بودن فرمولاسیون دقیق می‌توان تاثیر پارامترهای مختلف بر مشخصه الکتریکی پیزوالکتریک را به راحتی مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. ***واژه های کلیدی****: سرامیک پیزوالکتریک، مد ارتعاشی، فرکانس رزنانس و آنتی رزنانس، امپدانس*

Studies on Vibration Mode of Piezoelectric Ceramics

Reza, Mardani; Fallah, M. Amir

Hydrophysic Reserch Center,Malek Ashtar University of Technology, Shiraz

Abstract

By introducing different vibrating modes in piezoelectric ceramics in ring and disk forms, the electric specification is evaluated .The simulation results of two kinds of ceramic piezoelectric are compared and after verifying the results, the output has been evaluated. The technique that has been applied in this research is an analytical method on the physical specification of these type of ceramics which results in electroacoustic equations. The equations, finally, in a simulation process before production, is applied and the results are used to simplify and to increase the preciseness of the production process .The important feature of this method is the prediction of the electroacoustic specifications and ability to distinguish the resonance frequency and antiresonance one with respect to the dimension and type of the piezoelectric ceramic without any cost and sparing time. ***Key words****: piezoelectric ceramic, vibration mode, resonance and antiresonance frequency.*
PACS No. 77

مقدمه

سرامیکهای پیزوالکتریک در اشکال مختلف دیسکی، حلقوی، میله‌ای و کروی ساخته می‌شوند و به عنوان سنسور در دستگاههای آکوستیکی بکار می‌روند[1]. این سرامیکها دارای مدهای ارتعاشی متفاوتی مانند مد کروی، شعاعی، طولی و ضخامتی هستند. هر یک از مدهای نامبرده دارای یک مد اصلی و مدهای فرعی دیگری بوده که بر هم اثرمی‌گذارند. از طریق حل معادلات پیزوالکتریک برای اشکال مختلف و در نظر گرفتن ابعاد و ضرائب آنها، می‌توان مدهای ارتعاشی و فرکانسهای رزنانس و آنتی رزنانس را محاسبه کرد.

تئوری کار

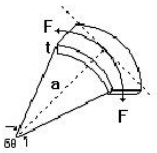
مد شعاعی در پیزوالکتریک حلقوی [2,3]

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

در این قسمت به بررسی معادلات حاکم و محاسبه فرکانس‌رزنانس و آنتی رزنانس مد شعاعی پیزوالکتریک حلقوی‌می‌پردازیم. در یک سرامیک پیزوالکتریک حلقوی نازک به شعاع a، پهنای w و ضخامتt که الکترودهای آن روی سطوح اصلی قرار دارند، داریم:

$$S_1 = s_{11}T_1 + d_{31}E_3 \quad (۱)$$

$$D_3 = d_{31}T_1 + \varepsilon_{33}^T E_3 \quad (۲)$$



شکل۱: المانی از حلقه پیزوالکتریک a>>t,w

در این روابط S_i و T_i استرین و استرس در جهت i ، D_i جابجائی دی‌الکتریک (c/m^2)، ε_{ij}^T جابجائی شعاعی، s_{ij} ثابت نرمش الاستیک (m^2/N) و d_{ij}، ضریب استرین (c/N) می‌باشند. با اعمال میدان الکتریکی E_3 روی سطوح الکترودار سرامیک، یک نیروی شعاعی F_r بوجود می‌آید که مطابق شکل (۱)، باعث تغییر ابعاد در آن می‌شود. استرس کششی T_1 نیروی شعاعی F_r را می‌دهد، که برابر است با :

$$F_r = F\delta\theta = T_1 Wt\delta\theta \quad (۳)$$

از قانون دوم نیوتن خواهیم داشت :

$$\rho Wta\delta\theta(\frac{d^2\varepsilon}{dt^2}) = -T_1 W\delta\theta \quad (٤)$$

که در آن ρ چگالی سرامیک است. با ترکیب معادله (۱) و معادلـه (٤) و با توجه به اینکه $S_1 = \varepsilon/a$ است، خواهیم داشت :

$$(\frac{d^2\varepsilon}{dt^2}) + (\frac{1}{a^2\rho s_{11}^E})\varepsilon = (\frac{d_{31}}{a\rho s_{11}^E})E_3 \quad (٥)$$

با فرض بی‌بار بودن سرامیک $E = 0$ ، فرکانس رزنانس آزاد حلقه برابر است با :

$$\omega_0 = \frac{1}{a^2\rho s_{11}^E} = \frac{(v_b^E)^2}{a^2} \quad (٦)$$

در این رابطه v_b^E سرعت موج طولی در حلقه است.با در نظر گرفتن میدان الکتریکی $E_3 = E.e^{i\omega t}$ معادله (٤) دارای جواب زیر است :

$$\varepsilon = \frac{d_{21}E_r}{a\rho s_{11}^E(\omega_a^2 - \omega^2)} \quad (۷)$$

بااستفاده از معادله فوق و معادله (۱) می‌توان به روش زیرادمیتانس الکتریکی حلقه را تعیین نمود. جابجائی الکتریکی ازمعادله (۱) و معادله (۲) بصورت زیر حاصل می‌شود :

$$D_3 = (\frac{d_{31}}{S_{11}^E})S_1 + \varepsilon_{33}^T(1-k_{31}^2)E_3 \quad (۸)$$

که در آن k_{31} ضریب جفتش پیزوالکتریک بوده و برابر است با : $k_{31}^2 = d_{31}^2/s_{11}^E\varepsilon_{33}^T$. ادمیتانس الکتریکی حلقه پیزوالکتریک را با Y نشان می‌دهیم. مقادیر فرکانس رزنانس و آنتی‌رزنانس به ترتیب از صفر شدن مخرج و صورت Y بدست می‌آیند :

$$Y = \frac{1}{Z} = (\frac{i\omega 2\pi aW}{t})((\frac{k_{31}^2\varepsilon_{33}^T\omega_0}{(\omega_0^2 - \omega^2)}) + (\varepsilon_{33}^T(1-k_{31}^2)) \quad (۹)$$

و فرکانس‌های رزنانس و آنتی‌رزنانس چنین خواهند بود:

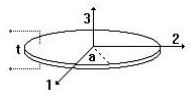
$$\omega_0^2 - \omega_r^2 = 0 \Rightarrow \omega_0 = \omega_r = \frac{1}{a^2\rho s_{11}^E} \;,\; \omega_{ar}^2 = \frac{\omega_r^2}{(1-k_{31}^2)} \quad (۱۰)$$

ودرنتیجه برای ضریب جفتش خواهیم داشت :

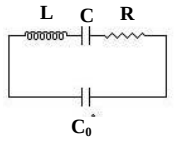
$$k_{31}^2 = \frac{\omega_{ar}^2 - \omega_r^2}{\omega_{ar}^2} \quad (۱۱)$$

مد ضخامتی در پیزوالکتریک دیسکی نازک

در محاسبه مد ضخامتی دیـسک، از روش مـدار معـادل اسـتفاده می‌کنیم. یک دیسک پیزوالکتریک نازک که الکترودهـای آن مطـابق شکل (۲) روی سطوح اصلی قرار گرفتـه‌انـد، دارای مـدار معـادلی مطابق شکل (۳) می‌باشد.



شکل۲:دیـسک‌پیزوالکتریـک



شکل۳: مدار معادل دیسک پیزوسرامیک

ارتباط المانهای الکتریکی و مکانیکی عبارتند از :

$$R = \frac{2ZA}{\phi^2} \;\; L = \frac{\rho tA}{2\phi^2} \;\; C_0 = \frac{\varepsilon_{33}^S A}{t} \;\; C = \frac{2t\phi^2}{\pi^2\rho c_l^2 A} \quad (۱۲)$$

امپدانس آکوستیکی ویژه محیطی که سرامیک در آن قرار دارد $Z = \rho_0 c_0$ است. عامل تبدیل الکترومکانیکی برابر است با : $\phi = \frac{e_{33}A}{t}$ طبق مدار معادل تعریف شده ، ادمیتانس الکتریکی این

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

سرامیک با رابطه ۱۳ محاسبه شده که از آن می‌توان فرکانس رزنانس و آنتی‌رزنانس را بدست آورد .

$$Y = \frac{1}{Z_e} = i\omega C_s + \frac{i\omega C}{1 - L\omega^2 C + i\omega CR} \qquad (۱۳)$$

شبیه‌سازی و نتایج اندازه‌گیری

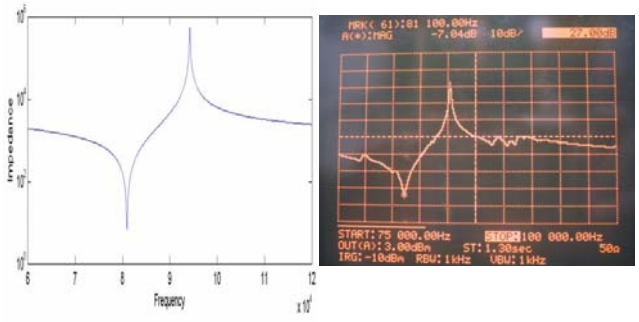
مشخصات فنی دو نوع پیزوسرامیک مورد بررسی در جدول (۱) آمده است. با وارد کردن پارامترهای هندسی و جنس این دوسرامیک در معادلات ارائه شده نمودار امپدانس بر حسب فرکانس سرامیکها شبیه‌سازی شده است که نتایج آن در شکلهای(٤) و (٥) قسمت (ب) آورده شده‌است و نتایج تجربی نیز که با دستگاه Network Spectrum Analyzer Ms4201 بدست آمده در شکلهای(٤) و (٥) قسمت (الف) رسم شده‌اند. مقایسه نتایج تئوری و تجربی فرکانس رزنانس و آنتی‌رزنانس، برای مد شعاعی پیزوسرامیک حلقوی نشان می‌دهد که پیزوسرامیک در این مد ارتعاشی با دقت قابل قبولی مدل شده‌است ومی‌توان با ضریب اطمینان بالایی از روابط فوق در طراحی و ساخت پیزوسرامیکها استفاده کرد (شکل٤). در مد ضخامتی پیزوسرامیک دیسکی اثر مد شعاعی در نظر گرفته نشده است(شکل ٥). در واقع باید گفت که در عمل مدهای ایجاد شده در داخل یک پیزوسرامیک بر هم اثر دارند و این اثر در مدهای با فرکانس بالاتر شدیدتر است. از آنجا که فرکانس رزنانس مد شعاعی پایین‌تر از مد ضخامتی پیزوسرامیک دیسکی می‌باشد، اثر مد شعاعی بر ضخامتی قابل ملاحظه است. بنابراین در نظر نگرفتن این موضوع در مد ضخامتی باعث بالا رفتن خطای محاسباتی در این مد می‌شود می‌توان برای تکمیل این کار با در نظر گرفتن معادلات ترکیبی به بررسی تاثیر مد شعاعی بر مد ضخامتی پرداخت.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی بر این بود که بتوان فرکانس رزنانس و آنتی رزنانس یک سرامیک پیزوالکتریک را قبل از ساخت، که یک پروسه پر هزینه می‌باشد صرفا بر اساس ویژگی‌های فیزیکی شبیه سازی و پیش‌بینی کرد که نتایج شبیه سازی با اندازه‌گیری تجربی تطابق مناسبی دارد.

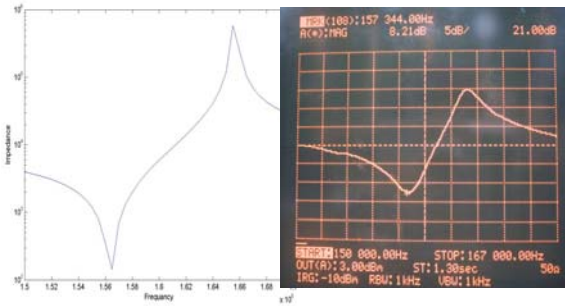
جدول۱ : مشخصات فنی پیزوسرامیکهای نمونه [٥و٤]

نوع	شعاع خارجی (mm)	شعاع داخلی (mm)	ضخامت (mm)	چگالی (kg/m^3)	K_{33}^T	K_p	S_{11}^E
حلقوی	۱۰	٤/٥	۱/٥	٧٦٠٠	۱۳٥۰	۰/٥۸	۱۲/٥
دیسکی	۱۹/٤	۰/۰	۱۳	٧٦٥۰	۱۷٥۰	۰/٦۲	۱٥/٥



(ب) (الف)

شکل٤: نمودار امپدانس بر حسب فرکانس , درمد شعاعی , حلقوی (۸۱ KHz) (الف) تجربی , (ب) تئوری



(ب) (الف)

شکل٥ : نمودارامپدانس بر حسب فرکانس ,درمدضخامتی ,دیسکی , (۱٥۷ KHz) (الف) تجربی , (ب) تئوری

مراجع

[1] Heinrich Kutruff; “Ultrasonic Fundamental and Applications”; Elsevier Applied Science, England, 1991.

[2] W.P. Mason ; “Physical Acoustics Principles and Methods”; vol. 1(A), Academic Press, USA, 1967.

[3]B. Jaffe, W. R. Cook, H. Jaffe; “ Piezoelectric Ceramics”;Academic Press, London, 1971.

[4] H. Jaffe and D. A. Berlincourt;“PiezoelectricTransducer Materials”; IEEE, vol. 53. No. 10, p.p.1372-85, october 1965.

[5] An American National Standard, IEEE Std, No. 176, 1978.

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com