

Simulação pelo método de elementos finitos dos modos de vibração de cerâmica piezoelétrica apodizada

Vera Lúcia S. Nantes Button¹; Eduardo Tavares Costa¹

¹Depto. de Engenharia Biomédica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) e Centro de Engenharia Biomédica (CEB) / UNICAMP - Caixa Postal 6040 - Campinas, SP.

E-mail: vera@deb.fee.unicamp.br e educosta@deb.fee.unicamp.br

Resumo - Foram simulados pelo método dos elementos finitos, a apodização de um disco de cerâmica piezoelétrica e os modos de vibração em ressonância e anti-ressonância do disco. A comparação do modo de ressonância principal da cerâmica apodizada com o da cerâmica polarizada convencionalmente, mostrou uma diminuição da vibração da primeira na região próxima à borda, o que deverá contribuir para gerar um campo acústico com menor efeito de difração.

Abstract - The apodization of piezoelectric ceramic disc and the vibrational modes and frequencies are simulated by the finite element method. Comparing the thickness extensional mode of apodized disc to conventional polarized ceramic disc, we noted that there was a smoothing of the ceramic displacement in the edge region. We conclude that the acoustic field will have smaller diffraction effects.

Introdução

Desde que há mais de 25 anos Allik e Hughes¹ desenvolveram o método de discretização de materiais piezoelétricos, o método de elementos finitos (MEF) tem sido constantemente usado para estudar dispositivos piezoelétricos². Desde o início dos anos 80, surgiram estudos de apodização de cerâmicas para formatar o campo acústico gerado, minimizando o efeito das ondas de borda, causa da difração³.

Neste trabalho a apodização de um disco cerâmico piezoelétrico é simulada pelo MEF com o campo elétrico polarizante formatado por um eletrodo esférico de polarização. O objetivo é alinhar mais intensamente os dipolos da região central em relação à região da borda do disco. Os dados da simulação da polarização foram usados na simulação do comportamento vibracional do disco cerâmico apodizado.

Metodologia

Para simular a polarização (Análise Eletrostática do Ansys5.1) utilizou-se um setor de 15° do volume total do modelo, que tem simetria cilíndrica, composto de um disco de cerâmica piezoelétrica com 1 mm de espessura e 12,7 mm de diâmetro, com eletrodo depositado em apenas uma das faces (terra), um eletrodo esférico de aço-carbono com 10 mm de diâmetro (2 kV) encostado no centro da outra face da cerâmica, e óleo mineral isolante, envolvendo o conjunto.

Para simular os modos de vibração (Análise Modal, Efeitos Acoplados do Ansys5.1), o modelo usado foi a metade superior de um setor de 5° do disco cerâmico apodizado, porque as vibrações são

simétricas em relação ao plano central e para reduzir o tamanho das matrizes envolvidas nos cálculos. A face inferior foi representada pelo plano central da espessura. Nesta simulação utiliza-se eletrodos depositados em ambas as faces da cerâmica. As propriedades piezoelétricas e dielétricas e a densidade utilizadas correspondem às de cerâmica piezoelétrica tipo PZT5A.

Resultados e Conclusões

A simulação da apodização permitiu visualizar a distribuição dos vetores do campo elétrico, durante a polarização da cerâmica. Obteve-se maior concentração de vetores no centro do disco em relação à borda, indicando que ali o campo de polarização é mais intenso. Foram obtidas também as curvas de campo elétrico resultante versus distância do centro da cerâmica (raio, 0 a 6,35 mm) para 10 valores de z (espessura da cerâmica, de 0 a 1 mm). As curvas mostraram um campo elétrico de polarização decrescente a partir do centro do disco e para valores decrescentes de z a partir de 1mm. O campo na borda é aproximadamente 50% menor que no centro, e desde o centro até metade da distância radial, o campo tem intensidade maior que 75% do valor máximo. Obteve-se um polinômio de grau 5, média dos ajustes das 10 curvas obtidas, descritivo do campo elétrico ao qual a cerâmica é submetida durante o processo de apodização. Essa equação foi utilizada para modificar as constantes piezoelétrica direta e_{33} e elástica c_{33} ao longo do raio da cerâmica, usadas na simulação dos modos de vibração da cerâmica. O coeficiente piezoelétrico "e" relaciona a tensão de tração na cerâmica ao campo elétrico aplicado. A compliância "c" é a

relação entre as tensões mecânicas de tração e compressão. O primeiro subscrito refere-se à direção do campo elétrico e o segundo à direção da deformação resultante. Por convenção, a direção 3 coincide com a do eixo de polarização (z). A mesma análise foi feita com cerâmica piezoeétrica submetida a polarização convencional, para comparação de resultados.

Os resultados mostraram que a apodização desloca os modos de ressonância e de anti-ressonância para frequências menores, e diminui o coeficiente de acoplamento eletromecânico k . O coeficiente k é definido como a raiz quadrada da razão entre a energia mecânica armazenada e a energia elétrica aplicada (efeito piezoeétrico direto). A diminuição de k é coerente, pois a apodização reduz a intensidade da polarização como um todo. A exceção é o modo radial, o primeiro a ocorrer. Na Tabela I apresenta-se os resultados para 5 dos 15 modos obtidos. O primeiro modo é o radial e o quarto, o modo de espessura extensional. Os modos de frequências mais baixas são mais fortemente acoplados, uma vez que a cerâmica foi simulada oscilando livre.

Tabela I - Frequências de ressonância (R) e anti-ressonância (AR) em kHz e coeficiente de acoplamento eletromecânico (k) das cerâmicas apodizada e sem apodização.

MO DO	R apodizada	AR apodizada	k apod.	R	AR	k
1	111,77	176,8	0,77	181,57	257,18	0,71
4	688,01	787,99	0,49	742,22	905,93	0,57
9	1143,3	1191,3	0,27	1196,9	1279,1	0,35
13	1860,2	1907,2	0,22	2041,4	2103,0	0,24
15	2082,0	2153,8	0,25	2270,3	2344,2	0,25

A apodização tem como resultado, também, uma suavização dos deslocamentos na cerâmica perto da borda, nos modos de frequências mais elevadas. Na figura 1, apresenta-se o deslocamento de um nó situado na borda da cerâmica, com e sem apodização em todos os modos de vibração entre 0 e 2500 kHz. Nota-se que acima de 1 MHz, o deslocamento é menor para a cerâmica apodizada.

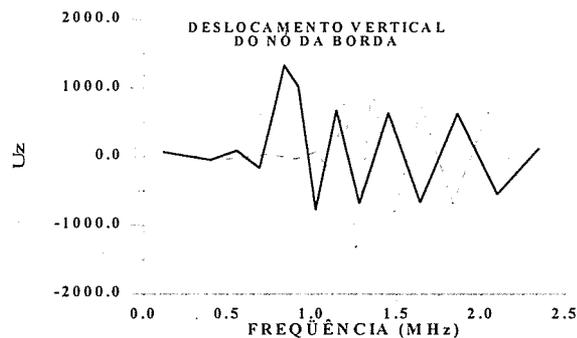


Figura 1. Cerâmica sem apodização (linha pontilhada) e apodizada (linha cheia).

Para o nó localizado no centro do disco cerâmico, verificou-se um pequeno aumento no deslocamento vertical nos modos de vibração acima de 1 MHz, como mostra a figura 2. O deslocamento U_z está normalizado em relação à matriz de massa ("default" da Análise Modal).

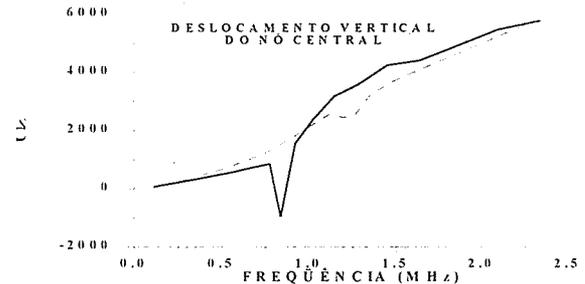


Figura 2. Cerâmica sem apodização (linha pontilhada) e apodizada (linha cheia).

Verificou-se no modo principal de espessura extensional, que a vibração da cerâmica diminui do centro para a borda do disco, mesmo sem apodização, o que está de acordo com resultados apresentados em Kunkel e Locke⁴. A suavização dos deslocamentos, causada pela apodização, é confirmada pelo valor de U_{zmax} , deslocamento máximo fornecido pela análise modal para cada modo. Na figura 3 apresenta-se o modo fundamental de vibração da cerâmica sem apodização. Para a cerâmica apodizada o modo é similar, mas com $U_{zmax} = 5235,9$.

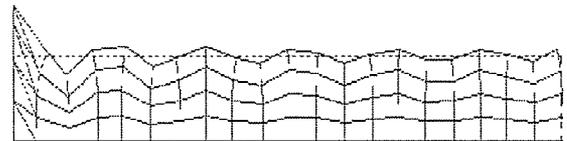


Figura 3. Modo fundamental da cerâmica sem apodização. Freq. = 2041,4 kHz, $U_{zmax} = 5458,6$.

Os resultados da simulação da polarização e dos modos de vibração concluem a primeira parte de um estudo da apodização de cerâmicas piezoeétricas para aplicação em transdutores ultra-sônicos não-difrativos para imagens médicas e ensaios não-destrutivos.

Referências

- ¹ALLIK, H. e HUGHES, T.J.R., "Finite Element Method for Piezoelectric Vibration", *Int J for Numerical Meth in Engin*, Vol.2, p. 151-157, 1970.
- ²LERCH, R., "Simulation of Piezoelectric Devices by Two- and Three-Dimensional Finite Elements", *IEEE Trans UFFC*, Vol 17, p. 233-247, 1990.
- ³BRITTAIN, R.H. e WEIGHT, J.P., "Fabrication of Non-Uniformly Excited Wide-Band Ultrasonics Transducers", *Ultrasonics*, Vol.25,p.100-106,1987.
- ⁴KUNKEL, H. A. e LOCKE, S. (1990), "Finite-Element Analysis of Vibrational Modes in Piezoelectric Ceramic Disks", *IEEE Trans on UFFC*, Vol 37, p. 316-328.