

OBTEÇÃO AUTOMÁTICA DE PARÂMETROS PIEZOELETRICOS DE CERÂMICAS E POLÍMEROS: O CASO DE CERÂMICAS NACIONAIS PARA USO EM ULTRA-SONOGRAFIA.

L.A.H.MEDINA<sup>1</sup> e J.C.MACHADO<sup>2</sup>

**RESUMO** -- É apresentada uma metodologia baseada em instrumentação controlada por microcomputador para levantar de forma automática a impedância elétrica, o fator de acoplamento eletromecânico, a capacitância e o fator de qualidade mecânico de materiais piezoelétricos usados em transdutores ultra-sônicos de equipamentos médicos. Um conjunto de 10 (dez) cerâmicas nacionais é testado e os resultados indicam que o coeficiente de acoplamento eletromecânico é menor do que em geral se encontra na literatura e o fator de qualidade mecânico possui uma dispersão de cerca de 40% em torno do valor médio. Porém, havendo um adequado controle de qualidade na escolha das cerâmicas essas podem ser utilizadas em equipamentos médicos de ultra-sonografia.

**INTRODUÇÃO**

Na construção de transdutor ultra-sônico o elemento piezoelétrico (cerâmica ou polímero) é o que mais influencia no seu comportamento eletromecânico. Dessa forma torna-se importante o conhecimento de determinados parâmetros do material piezoelétrico, os quais se constituem em informações necessárias para os cálculos contidos nos projetos desses transdutores. Dentre esses parâmetros podem ser citados por exemplo, a impedância elétrica,  $Z$ , do elemento piezoelétrico em função da frequência ultra-sônica, o fator de acoplamento eletromecânico,  $k$ , e a capacitância  $C_0$  medida entre as faces do elemento piezoelétrico quando estas estão bloqueadas, impondo-lhes a condição de deslocamento nulo.

Os fabricantes não fornecem, na sua maioria, os valores desses parâmetros e quando o fazem, muitas vezes seus dados podem variar de até 20% do valor real.

Quando o elemento piezoelétrico se apresenta na forma de um disco, cuja vibração se dá no modo espessura, há o método de duas frequências, Mason e col. (1964), Richardson e col. (1957) e Hueter-Bolt (1955), utilizado na determinação do valor de  $k$ . Outros trabalhos, de Bui, L. e col. (1977), e Fox, M. e col. (1978), apresentam outros métodos de determinação de  $k$  que podem ser utilizados para materiais piezoelétricos com baixo valor para o fator de qualidade mecânico  $Q$ , como é o caso de polímeros piezoelétricos.

Em termos nacionais já existem no mercado cerâmicas piezoelétricas fabricadas pela THORNTON. Procurando então conhecer características eletromecânicas dessas cerâmicas, o presente trabalho visa fornecer alguns resultados quanto às suas especificações que são necessárias nos projetos dos transdutores. São avaliadas 10 cerâmicas sendo que, segundo o fabricante, funcionam em 2.2 MHz. Os parâmetros levantados são  $Z$ ,  $k$ ,  $Q$  e  $C_0$ . Na determinação de  $k$  e  $Q$  utiliza-se a metodologia apresentada por Bui L. (1977).

- 
- 1- Professor, Dpto. Física, Universidad de Santiago de Chile (CHILE), atualmente é aluno de Mestrado do Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ.
  - 2- Professor Adjunto do Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ

## METODOLOGIA

De acordo com o trabalho de Bui, (1977) a obtenção de  $\theta$  e  $k$  consiste na medição de  $Z$ , em função da frequência, para um disco piezoelétrico vibrando com suas faces livres. A impedância  $Z$  para este caso, é dada por :

$$Z(\omega) = R_a + jX_a + 1/j\omega C_o \quad (1)$$

Para valores de  $\omega$  próximo de  $\omega_0$  tem-se que :

$$X_a/R_a = -2Q \omega/\omega_0 + 2Q \quad (2)$$

O valor de  $k$  é determinado a partir da seguinte equação :

$$k^2 = \pi^2 \omega_0 C_o \hat{R}_a / 8Q \quad (3)$$

A capacitância  $C_o$  é obtida da medição de  $Z$  em uma frequência cerca de 4 vezes  $\omega_0$  e não coincidente com componentes harmônicos de vibração de disco piezoelétrico (FOX.M, 1978). Nessa frequência de medição a impedância  $Z$  é puramente capacitiva.

Dessa forma, conhecidos  $Z(\omega)$  e  $C_o$ , então pela equação (1) obtêm-se  $X_a$  e  $R_a$ , e esses valores substituídos na equação (2) fornecem  $\theta$ .

Outros termos usados nestas equações são determinados como:

$$\hat{R}_a = (\omega/\omega_0) R_a / \text{He}(\theta); \quad \theta = \pi(\omega/\omega_0) \quad (4)$$

$$\text{He}(\theta) = \pi(\theta + \text{sen}\theta)/(16\theta^2 \{ (1+(\theta/4\theta^2)^2) \cos^2\theta/2 + (\theta/4\theta^2) \text{sen}^2\theta/2 \}) \quad (5)$$

sendo :

- $R_a$  = resistência de radiação de perdas do elemento piezoelétrico
- $X_a$  = parte reativa de  $Z$
- $C_o$  = capacitância entre as faces bloqueadas do disco piezoelétrico
- $\omega$  = frequência angular, sendo  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  a frequência ultrasônica
- $\omega_0$  = frequência de ressonância do disco piezoelétrico,  $\omega_0 = \pi c / L$
- $c$  = a velocidade de propagação da onda ultra-sônica no disco piezoelétrico
- $L$  = a espessura do disco,
- $j$  =  $\sqrt{-1}$

## SISTEMA DE MEDIÇÃO

A figura 1 mostra um diagrama de bloco do sistema integrado para medição, aquisição de dados e apresentação dos resultados.

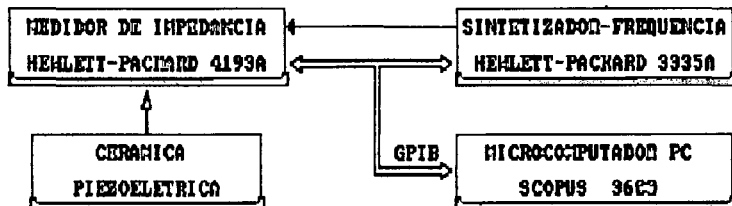


Figura 1. Instrumentação usada para medir a impedância elétrica da cerâmica e determinar a capacitância, o fator de qualidade mecânico e o coeficiente de acoplamento eletromecânico.

Um programa em FORTRAN é utilizado no microcomputador tipo PC para gerenciar a interface GPIB, variar a frequência da sinal gerada no sintetizador de frequência e receber os valores medidos do módulo e fase de Z para cada frequência .

A frequência  $f_0$  é obtida do gráfico da fase de Z versus frequência e corresponde ao valor em que a fase cruza o zero ao passar de valores positivos para valores negativos. Logo após fo o módulo de Z atinge um valor máximo. As informações fornecidas pelo microcomputador são, além dos valores de Q e k , a curva de  $X_a/R_a$  em torno de  $\omega_0$  conforme se vê na figura 2, e os gráficos de Z, figura 3, mostrados na página seguinte.

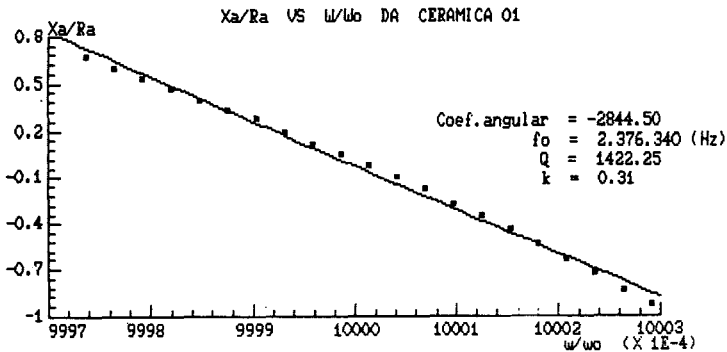


Figura 2 . Gráfico para calcular Q e k

### RESULTADOS

Foram adquiridas 10 (dez) cerâmicas piezoelétricas em forma de disco com diametro de 15 mm e espessura de 0.9 mm. O fabricante, THORTON - INPEC ELETRONICA S/A situado em Vinhedo - S.P., especificou apenas a frequência de ressonância em 2.2 MHz. Nada foi mencionado se tratava-se da frequência de ressonância série ou paralela.

Foram então realizadas medições de  $f_0$ ,  $C_0$ , Q e k para cada cerâmica cujos valores se encontram na tabela I.

Tabela I . Valores de  $f_0$ ,  $C_0$ , Q e k para as 10 cerâmicas.

Cerâmica No	$f_0$ (MHz)	$C_0$ (nF)	Q	k
1	2.376	2.105	1442.3	0.31
2	2.324	2.430	1537.0	0.31
3	2.317	2.082	721.4	0.31
4	2.301	2.010	339.8	0.38
5	2.333	2.070	1515.0	0.25
6	2.426	2.090	748.9	0.31
7	2.355	2.047	1138.0	0.26
8	2.326	2.190	1695.8	0.27
9	2.338	1.990	565.0	0.27
10	2.327	1.991	1229.9	0.26
Média	2.343	2.060	109.31	0.28
Desvio padrão	0.036	0.061	69.509	0.043

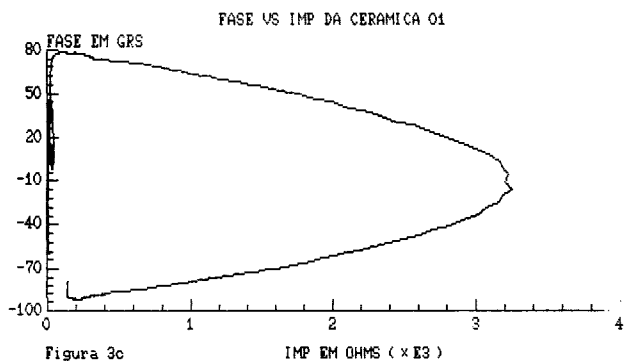
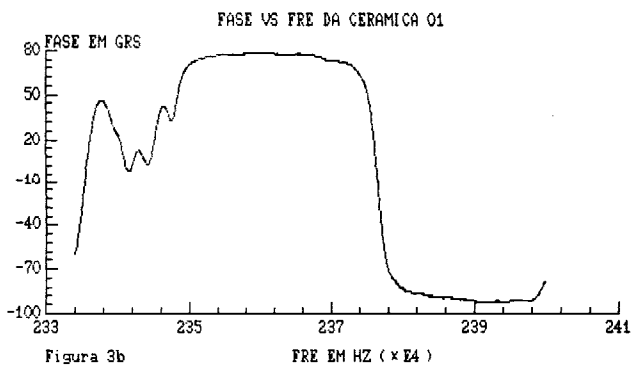
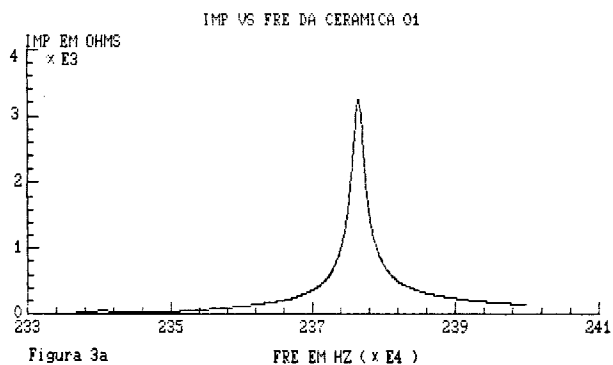


Figura 3. Os gráficos (a),(b) e (c) mostram para a cerâmica 01 as variações da impedância e fase em função da frequência, e a variação da fase em função da impedância respectivamente. Abreviações: IMP= impedância, FRE= frequência, VS= versus

### CONCLUSÕES

De acordo com os resultados das tabelas I pode-se concluir que :

- a) o valor médio de  $f_0$  está ligeiramente superior ao valor da frequência fornecida pelo fabricante. E de se supor que o fabricante especificou a frequência de ressonância série e não a frequência natural de oscilação do disco. O desvio padrão para  $f_0$  é menor que 10% do valor de  $f_0$ ,
- b) há repetibilidade quanto ao valor de  $C_0$  se considerado o fato de que o desvio padrão foi pequeno ( menor que 10% do valor médio ),
- c) há uma grande dispersão nos valores de  $Q$ , e isso significa que, dentro de um lote de 10 discos alguns podem ser utilizados para transdutores pulsáteis e outros para aqueles que utilizam radiação contínua,
- d) os valores de  $k$  apresentam um desvio padrão de quase 20% em torno da média. Além do mais esses valores estão abaixo daqueles que normalmente são citados na literatura (veja Hajicostis e col 1984) para cerâmicas piezoelétricas do tipo PZT-4 e PZT-5 (Titanato Zirconato de Chumbo) cujo valores de  $k$  são de 0.5.

### DISCUSSÃO

Procura-se com este trabalho levantar algumas características piezoelétricas de cerâmicas nacionais, sobre as quais se ouve sempre o questionamento quanto à qualidade. Da análise de um grupo de 10 discos pode-se verificar que a qualidade é aceitável, quanto a  $f_0$  e  $C_0$ , ficando a desejar apenas um maior controle do fator de qualidade destas cerâmicas .

O fator de qualidade depende em parte, das concentrações dos materiais como da homogeneidade das misturas utilizadas na fabricação. Pode ser neste fato onde o fabricante não está exercendo melhor controle de qualidade.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio prestado pela CAPES, pelo PADCT/SINST e pela Universidad de Santiago de Chile ( CHILE )

### REFERENCIAS

- BERLICOURT D. A.; DANIEL, R.C. and JAFFE H. (1964), "Physical Acoustics", Volume I Part A, Ed. por Warren P. Mason, Academic Press.
- BUI, L.N., SHAW, H.J., ZITELLI L.T. (1977), "Study of Acoustic Wave Resonance in Piezoelectric PVF2 Film. "IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, Vo. SU-24, No.5.
- FOX, M.D and DONNELLY, J. (1978), "Simplified Method for Determining Piezoelectric Constants for Thickness Mode Transducers". J. Acoust Soc. Am. 64(5), Nov.
- HADJICOSTIS, A.N.; HOTTINGER, C.F.; ROSEN, J.J., and WELLS, P.N.T. (1984), "Ultrasonic Transducer Materials for Medical Applications", Ferroelectrics, Vol. 60, pp 107-127.
- HUETER, S.T. and BOLT, R.H. (1955), "Sonics", Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- RICHARDSON, E.G. (1957), "Technical Aspects of Sound" Vol.3 Ed. Elsevier Publishing Company.

AUTOMATIC ACHIEVEMENT OF PIEZOELECTRIC PARAMETERS FOR  
CERAMICS AND POLYMERS : THE CASE OF NATIONAL CERAMICS  
FOR USE IN ULTRASONOGRAPHY.

ABSTRACT -- It is presented a methodology based on microcomputer controlled instrumentation to determine the electrical impedance, the electromechanical coupling coefficient, the capacitance and the mechanical quality factor of piezoelectric materials used to construct ultrasonic transducer for medical equipments. A set of 10 (ten) national ceramics is tested and the results indicate that the electromechanical coupling factor is lower than what is usually found in the literature and the mechanical quality factor has about 40% dispersion around its mean value . Nevertheless, if an adequate quality control is used to chose the ceramics then they can be used in the construction of ultrasonic medical equipments.