

CONTROLE DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EMPREGANDO CERÂMICAS PIEZOELÉTRICAS COMBINADAS COM CIRCUITOS ELÉTRICOS PASSIVOS

Danuza Cristina Santana

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, caixa postal 593 –CEP 38400-902 Uberlândia – MG – Brasil.

desantana@mecanica.ufu.br

Domingos Alves Rade

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, caixa postal 593 –CEP 38400-902 Uberlândia – MG – Brasil.

domingos@ufu.br

Valder Steffen Júnior

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, caixa postal 593 –CEP 38400-902 Uberlândia – MG – Brasil.

vsteffen@mecanica.ufu.br

Resumo: *O presente trabalho trata de uma técnica de controle passivo de vibrações que utiliza cerâmicas piezoelétricas PZT (zirconato titanato de chumbo) ligadas a circuitos elétricos passivos. Estes circuitos elétricos podem ser puramente resistivos, resistivos-indutivos, capacitivos ou chaveados (switched). A associação entre a pastilha piezoelétrica e o circuito resistivo, dispositivo denominado shunt resistivo, confere ao material piezoelétrico um amortecimento similar ao dos materiais viscoelásticos. Quando a pastilha piezoelétrica é ligada ao circuito resistivo-indutivo forma-se shunt ressonante e produz-se no sistema uma ressonância elétrica que pode ser sintonizada para o controle de um determinado modo de vibração desejado, como nos absorvedores dinâmicos de vibração. Neste trabalho apresenta-se uma revisão sobre shunts resistivos e ressonantes, suas modelagens analíticas e simulações numéricas e resultados preliminares de um experimento realizado com shunt ressonante em paralelo.*

Palavras-chave: *Vibrações, Controle Passivo, Piezoelectricidade, Circuitos shunt.*

1. INTRODUÇÃO

A utilização de materiais piezoelétricos como atuadores e sensores para o controle ativo de vibrações e ruído têm sido amplamente investigada (Abreu *et al.*, 2003)

Forward (1979) propôs, em um trabalho pioneiro, a utilização de elementos piezoelétricos associados a circuitos elétricos passivos (*shunts* piezoelétricos) no controle passivo de vibrações. O princípio básico consiste em converter a energia mecânica da estrutura em energia elétrica através da utilização dos elementos piezoelétricos e dissipar esta energia por meio do circuito elétrico externo (*shunt*).

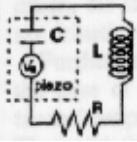
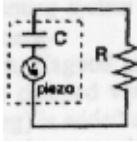
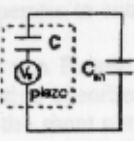
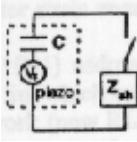
A partir do trabalho de Forward, Hagood e Von Flotow (1991) propuseram a utilização de cerâmicas piezoelétricas PZT (zirconato titanato de chumbo) associadas a circuitos elétricos puramente resistivos (*shunt* resistivo) e a circuitos elétricos resistivo- indutivo (*shunts* ressonantes). Através de uma análise qualitativa foi observado que o *shunt* resistivo confere ao material piezoelétrico um amortecimento similar ao obtido com os materiais viscoelásticos. Por outro lado, o *shunt* ressonante produz no sistema uma ressonância elétrica que pode ser sintonizada para o controle de um determinado modo de vibração desejado, de maneira similar aos absorvedores dinâmicos de vibração.

Um outro tipo de *shunt* piezoelétrico, denominado *shunt switched* (chaveado), foi proposto por Guyomar *et al.* (1999). Nesta configuração, realiza-se o chaveamento contínuo de um transdutor piezoelétrico integrado a uma estrutura vibrante. O chaveamento remove periodicamente as cargas elétricas dos elementos piezoelétricos, alterando a rigidez mecânica e criando não linearidades, gerando, desta forma, uma série de mecanismos de dissipação.

Davis e Lesieurte (2000), estudaram a utilização de *shunts* capacitivos como atuadores piezoelétricos inerciais e verificam que a associação dos capacitores com chaveamento cria um absorvedor dinâmico de vibrações semi-ativo. Estes autores constataram que *shunts* capacitivos promovem a alteração da freqüência natural do sistema e os *shunts* resistivos promovem a alteração da freqüência natural e do amortecimento modal.

A Tabela (1) sumariza as principais configurações de *shunts* piezoelétricos.

Tabela 1: Principais configurações de *shunts* piezoelétricos.

Ressonante	Resistivo	Capacitivo	Chaveado
 Absorvedor Ressonante	 Amortecimento dependente da freqüência	 Rigidez dependente da freqüência	 Transferência de energia controlada

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Materiais piezoelétricos podem ser utilizados segundo o efeito piezoelétrico direto ou inverso. O efeito piezoelétrico direto é o efeito de sensor: quando uma tensão mecânica é aplicada, desenvolvem-se polarizações (distribuições de cargas elétricas por unidade de área), que são proporcionais à tensão aplicada. O efeito piezoelétrico inverso traduz o efeito de atuador: quando um campo elétrico é aplicado, o material desenvolve alongamentos e distorções, que são proporcionais ao campo elétrico aplicado.

O acoplamento eletromecânico característico dos materiais piezoelétricos é representado pela seguinte equação constitutiva, na forma matricial (IEEE):

$$\begin{bmatrix} D \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon^T & d \\ d_t & s^E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ T \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde: D é o vetor de deslocamentos elétricos.

d é a matriz dos módulos piezoelétricos do material.

ϵ é a matriz de permissividade do material piezoelétrico.

E é o vetor campo elétrico.

S é o vetor de deformações.

s é a matriz de flexibilidade.

A direção 3 está associada com a direção de polarização do material piezoelétrico que é aproximadamente isotrópico nas outras duas direções, como mostra a Fig. 1. O superescrito $()^T$ indica

que estes valores foram medidos com tensão mecânica constante e o superescrito ()^E significa que foram medidos em campo elétrico constante.

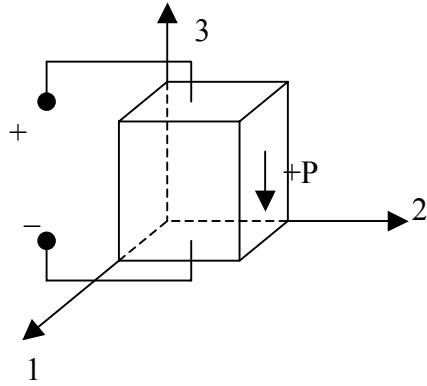


Figura 1- Sistema de referência e direção de polarização do material piezoelétrico.

Assumindo que o campo elétrico dentro do material seja uniforme e que os deslocamentos na superfície também são uniformes, é possível reescrever a equação (1) no domínio de Laplace, em termos de voltagem e corrente, sob a forma (Hagood e Von Flotow, 1991):

$$\begin{bmatrix} I \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sC_p^T & sAd \\ d_t L^{-1} & s^E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^D(s) & sAd \\ d_t L^{-1} & s^E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ T \end{bmatrix} \quad (2)$$

onde: I é a corrente elétrica.

V é a tensão elétrica.

A é a matriz diagonal das áreas das faces do elemento piezoelétrico.

L é a matriz diagonal dos comprimentos do elemento piezoelétrico.

C_p^T é a capacitância entre as faces do elemento piezoelétrico.

Y^D é a matriz de admitâncias do elemento piezoelétrico em circuito aberto, devida a sua capacitância inerente, com condições de contorno livres.

Para aplicações com *shunts* piezoelétricos, um circuito elétrico passivo é conectado entre as superfícies dos eletrodos, como mostra a Fig. 2. Como o circuito é posicionado sobre os eletrodos ele fica em paralelo com a capacitância inerente do piezoelétrico naquela direção. Como as admitâncias em paralelo somam-se, a equação (2) pode então ser escrita como:

$$\begin{bmatrix} I \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^{EL} & sAd \\ d_t L^{-1} & s^E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ T \end{bmatrix} \quad (3)$$

onde: $(Y^{EL})^{-1} = Z^{EL}$ (4)

sendo Z^{EL} é a matriz de impedância elétrica combinada do PZT e do circuito *shunt*.

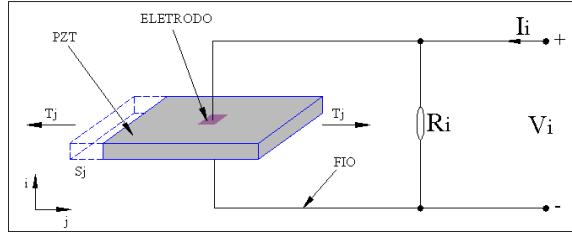


Figura 2- Modelo físico simplificado de um *shunt* piezoelétrico resistivo.

Desenvolvendo a equação (3), obtém-se a seguinte expressão que relaciona a flexibilidade do elemento piezoelétrico e as impedâncias elétricas normalizadas:

$$s^{SU} = s^E \left(1 - k_{ij}^2 \bar{Z}^{EL} \right) \quad (5)$$

onde k_{ij}^2 é o coeficiente de acoplamento eletromecânico. Este coeficiente é definido como sendo a razão entre a máxima energia armazenada pelo capacitor e a máxima energia armazenada na deformação do material com os eletrodos piezoelétricos abertos. Fisicamente, representa a porcentagem de energia mecânica de deformação que é convertida em energia elétrica.

Define-se a impedância do circuito elétrico *shunt* como sendo:

$$\bar{Z}^{ME} = \frac{(1 - k_{ij}^2)}{(1 - k_{ij}^2 \bar{Z}^{EL}(s))} \quad (6)$$

2.1 Circuito *Shunt* Resistivo

No circuito *shunt* piezoelétrico resistivo, um resistor é posicionado em paralelo com a capacitância inerente ao piezoelétrico. O resistor proporciona a dissipação de energia por efeito Joule e permite assim que o fator de perda seja aumentado, chegando a ser superior ao fator de perda do circuito piezoelétrico aberto ou em curto circuito. Para a este caso, a impedância adimensional é dada por:

$$\bar{Z}^{EL} = \frac{R_i C_{pi}^T s}{(R_i C_{pi}^T s + 1)} \quad (7)$$

O resistor altera as propriedades do material piezoelétrico, tornando seu comportamento similar ao dos materiais viscoelásticos, sendo o fator de perda e o módulo complexo dados, respectivamente por:

$$\eta(\omega) = \frac{\rho_i k_{ij}^2}{\{(1 - k_{ij}^2) + \rho^2\}} \quad , \quad \bar{E}_{jj}(\omega) = \frac{1 - k_{ij}^2 + \rho^2}{(1 + \rho^2)} = 1 - \frac{k_{ij}^2}{(1 + \rho^2)} \quad (8)$$

A Figura 3 apresenta a influência do fator de acoplamento k_{31} no fator de perda e módulo de armazenamento do *shunt* resistivo. Verifica-se que quanto maior o fator de acoplamento eletro – mecânico, maior será o fator de perda do circuito *shunt* resistivo e maior será o amortecimento. Isto decorre do fato que o fator de acoplamento eletro mecânico representa a quantidade de energia mecânica que está sendo transformada em energia elétrica, que por sua vez será dissipada por efeito

Joule através do resistor. Quanto maior for esta energia dissipada, maior será o amortecimento introduzido no sistema. Observa-se também que para uma dada resistência, a rigidez do piezoelétrico muda do seu valor de circuito fechado, em baixas freqüências, para o seu valor de circuito aberto nas altas freqüências. A freqüência de transição é determinada pela resistência *shunt*. É possível verificar também que tanto o fator de perda como o módulo de armazenamento são fortemente dependentes da freqüência. Esta dependência é relativamente mais acentuada do que ocorre para a maioria dos materiais viscoelásticos. Verifica-se que, no ponto de inflexão da curva do módulo de armazenamento, o fator de perda atinge o ponto máximo. Assim, a escolha apropriada do valor da resistência permite mover o valor máximo do fator de perda para a freqüência desejada.

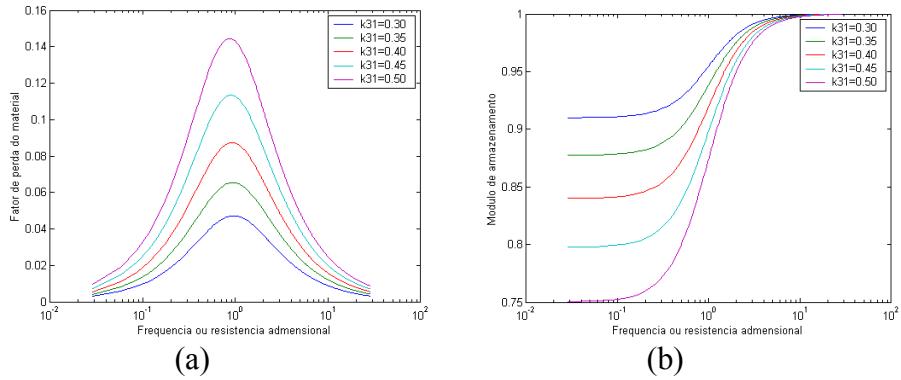


Figura 3 – Influência do fator de acoplamento k_{31} nas propriedades materiais, fator de perda e módulo de armazenamento, do circuito *shunt* resistivo.

2.2 Circuito *Shunt* Ressonante

Este circuito consiste em utilizar um resistor e um capacitor acoplados ao PZT, de tal forma que, juntamente com a capacitância inerente ao PZT, eles formem um circuito RLC. Este circuito pode ser ajustado para aumentar consideravelmente o amortecimento de um dado modo e tem atuação similar ao absorvedor dinâmico de vibrações. Neste tipo de circuito *shunt*, resistor e indutor podem estar conectados em série ou em paralelo. De acordo com esta ligação, origina-se o circuito shunt ressonante em série ou o circuito shunt em paralelo.

A impedância mecânica adimensional do circuito *shunt* piezoelétrico ressonante em série é dada por (Hagood e Von Flotow, 1991):

$$\bar{Z}^{RSP} = 1 - k_{ij}^2 \frac{\delta^2}{(\gamma^2 + \delta^2 \gamma r + \delta^2)}, \quad (9)$$

onde as normalizações são definidas em relação a alguma freqüência arbitrária de normalização ω_n .

O parâmetro δ reflete a freqüência para a qual o circuito elétrico é sintonizado e o parâmetro r é uma expressão para o amortecimento no circuito *shunt*.

$$\delta = \frac{\omega_e}{\omega_n}, \quad \gamma = \frac{s}{\omega^E}, \quad r = \omega_n^E R_i C_p^S \quad (10)$$

Para esta configuração, o fator de perda e o módulo complexo são expressos sob a forma:

$$\eta_{ii}^{RSP} = \frac{k_{ij}^2 \delta^2 r g}{(\delta^2 - g^2)^2 + (\delta g r)^2 - k_{ij}^2 \delta^2 (\delta^2 - g^2)}, \quad \bar{E}^{RSP} = 1 - k_{ij}^2 \frac{\delta^2 (\delta^2 - g^2)}{((\delta^2 - g^2)^2 + (\delta g r)^2)} \quad (11)$$

onde g é a forma real de γ .

A Figura 4 apresenta curvas de fatores de perda e módulo de armazenamento para diferentes valores do coeficiente de acoplamento k_{31} , sendo possível verificar que quanto maior o coeficiente de acoplamento, maior será o fator de perda e o amortecimento.

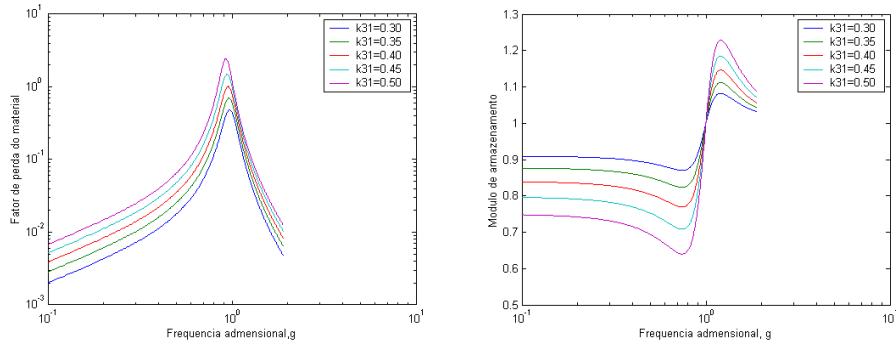


Figura 4 – Influência do fator de acoplamento k_{31} nas propriedades materiais, fator de perda e módulo de armazenamento, do circuito *shunt* ressonante.

Comparando-se as Fig.3 e 4 observa-se uma significativa diferença das curvas do fator de perda e módulo de armazenamento para o caso do *shunt* resistivo e ressonante. Para este último, a rigidez efetiva do material e o amortecimento possuem variações altamente não lineares com a frequência e o parâmetro δ . Devido a isto, o processo de otimização para a obtenção da máxima energia dissipada é realizado através da observação das similaridades com os absorvedores dinâmicos de vibrações. Comparando-se os dois sistemas verifica-se que o coeficiente de acoplamento eletromecânico para o piezoelétrico sintonizado, k_{ij}^2 , possui a mesma função que a razão de massa β para o absorvedor dinâmico de vibrações. Por meio desta analogia, através de um desenvolvimento relativamente longo, realizado sobre as funções de transferência dos dois sistemas, obtém-se os valores ótimos para o parâmetro de sintonia e o amortecimento ótimo do circuito, cujas expressões são dadas respectivamente por:

$$\delta_{ij}^{opt} = \sqrt{1+k_{ij}^2} \quad , \quad r^{opt} = \frac{\sqrt{2}}{(1+k_{ij}^2)} k_{ij}^2 \quad (12)$$

A Tabela 2 apresenta os valores utilizados na simulação computacional do circuito *shunt* ressonante. Com base nestes dados foram calculados os valores ótimos do parâmetro de sintonia e do fator de amortecimento, que são dados, respectivamente, por: 1,0125 e 0,22.

Tabela 2 – Parâmetros do circuito shunt resistivo adotados na simulação computacional

Resistência ótima [Ω]	Indutância ótima [H]	Capacitância do PZT [μF]	Fator de acoplamento k_{31}	Freqüência natural da viga [Hz]
6640	142,4	0,156	0,1591	33,35

A Figura 5 apresenta as curvas de amplitudes da função de transferência x/x_{st} do shunt ressoante para diferentes valores de fator de amortecimento. Através da análise desta figura observa-se a semelhança entre o circuito *shunt* ressonante e os absorvedores dinâmicos de vibrações (ADVs), pois nos dois sistemas são observados dois pontos invariantes pelos quais passam todas as curvas, independente do fator de amortecimento. Verifica-se também na Fig. 5(a) que, quando o fator de amortecimento é inferior ao amortecimento ótimo do sistema, a curva do sistema de um grau de liberdade passa a apresentar dois picos, caracterizando um sistema de dois graus de liberdade. Porém, quando o fator de amortecimento assume valores superiores ao amortecimento ótimo, a amplitude do pico de resposta aumenta consideravelmente.(Fig. 5(b)).

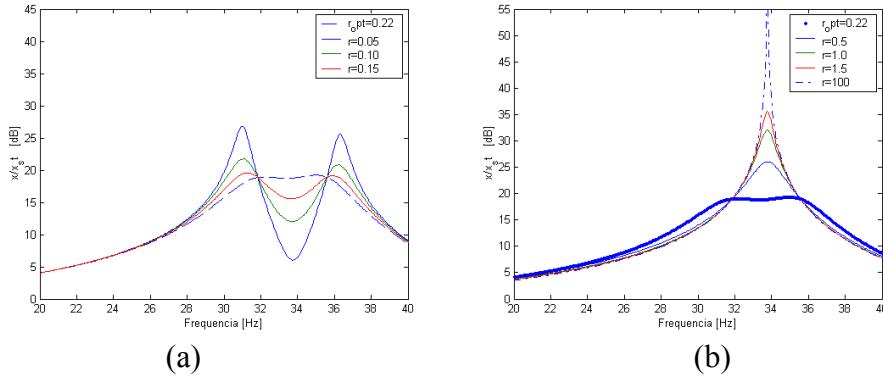


Figura 5 – Curvas da função de transferência do circuito *shunt* para valores inferiores ao coeficiente de amortecimento ótimo $r = 0.22$ (a) e para valores superiores ao valor do coeficiente de amortecimento ótimo(b).

Para o circuito shunt em paralelo a impedância mecânica no domínio de Laplace é dada por:

$$Z(s) = Ms + \frac{1}{s} \left(K + \frac{A}{ls_{11}^E} \right) + \frac{K_{31}^2}{s} \left(K + \frac{A}{ls_{11}^E} \right) \left(\frac{s^2 RLC^s}{s^2 RLC^s + sL + R} \right) \quad (13)$$

onde A é a área da seção transversal da pastilha piezoelétrica, L é comprimento da seção transversal da pastilha, s_{11}^E é a flexibilidade do *shunt* piezoelétrico e K_{31}^2 é o coeficiente de acoplamento generalizado, que é dado por:

$$K_{31}^2 = \frac{Ak_{31}^2}{ls_{11}^E \left(K + \frac{A}{ls_{11}^E} \right) \left(1 - k_{31}^2 \right)} \quad (14)$$

3. VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL (BRANDÃO ET AL.,2003)

Para o circuito *shunt* ressonante em paralelo foram realizados alguns experimentos preliminares cujos resultados são apresentados a seguir. A Fig. 6 apresenta o esquema completo do experimento.

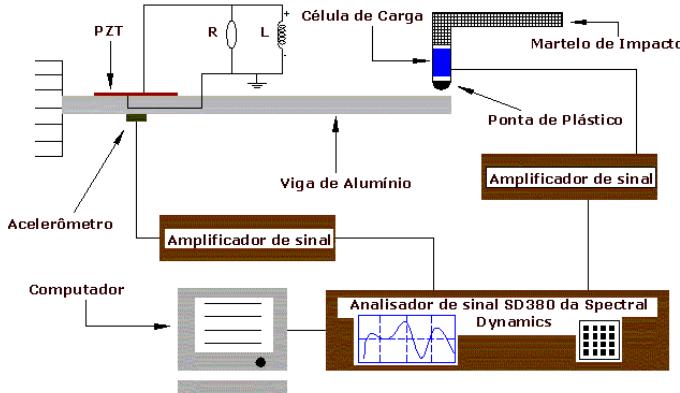


Figura 6 – Esquema completo do experimento para um circuito em paralelo.

A bancada de teste foi constituída por uma viga de alumínio, engastada-livre, de dimensões (255x31x3) [mm], atuador piezelétrico QUICKPACK® modelo QP15N, da empresa ACX com dimensões (1,81x0,81x0,005) [in] e capacitância de 100 nF, colado sobre a viga de dimensões (255 x31x3)[mm] a uma distância de 10 [mm] do engastamento, um resistor elétrico (R), um indutor sintético (L). Os equipamentos utilizados para realizar os testes foram: um analisador de sinal SD380 da Spectral Dynamics (2 canais), dois condicionadores (amplificadores) de sinal, um martelo de impacto da B&K, um acelerômetro da B&K, colocado a 35 [mm] do engastamento, do lado oposto do PZT.

A Tabela 3 apresenta os valores da freqüência de ressonância com os terminais do PZT em aberto, f_o , e a freqüência de ressonância com os terminais do PZT fechados, f_s . Mostram-se também os valores da indutância ótima e da resistência ótima, teóricas e reais, para todas as três freqüências de ressonância da viga.

Tabela 3 – Freqüências f_o e f_s – Valores ótimos dos parâmetros.

1º modo		2º modo		3º modo	
f_o [Hz]	f_s [Hz]	f_o [Hz]	f_s [Hz]	f_o [Hz]	f_s [Hz]
35,54	35,47	218,91	218,79	542,70	542,60
L[Henry]	R [KΩ]	L[Henry]	R [KΩ]	L[Henry]	R [KΩ]
Teóricos	259,60	654,50	6,79	207,34	1,10
Reais	253,21	656,50	6,31	207,05	1,04
					138,70
					138,10

As Figuras 7(a), 7(b) e 7(c) mostram respectivamente os gráficos da FRF da viga de alumínio, em torno de 35 [Hz], com os terminais do PZT abertos (linha azul), fechados (linha preta) e com o circuito *shunt* (linha vermelha) instalado para atenuar a vibração no 1º modo próprio da viga, o gráfico da FRF da viga de alumínio, em torno de 218 [Hz], com os terminais do PZT abertos (linha azul), fechados (linha preta) e com o circuito *shunt* (linha vermelha) instalado para atenuar a vibração no 2º modo próprio da viga e o gráfico da FRF da viga de alumínio, em torno de 542 [Hz], com os terminais do PZT abertos (linha azul), fechados (linha preta) e com o circuito *shunt* (linha vermelha) instalado para atenuar a vibração no 3º modo próprio da viga. Pode-se observar que significativa atenuação das amplitudes das respostas vibratórias foram obtidas mediante a utilização do dispositivo de controle passivo.

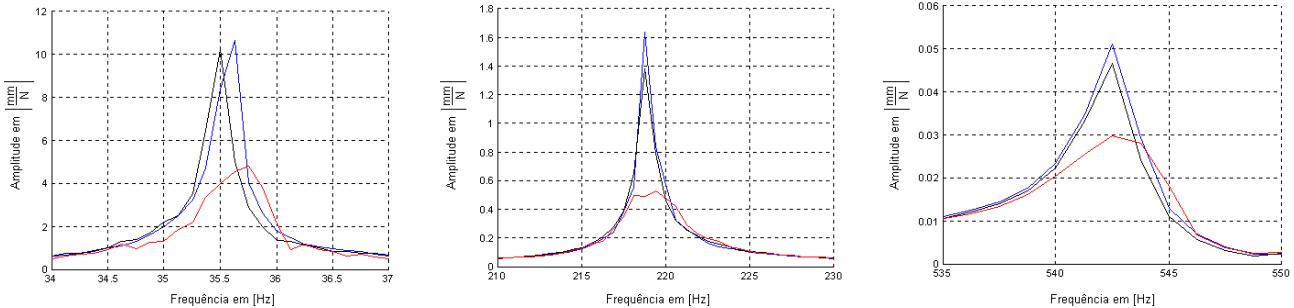


Figura 7 – Gráficos da FRF em torno de 35 [Hz] (a), 218 [Hz] (b) e 542 [Hz] (c).

4. CONCLUSÕES

O levantamento do atual estado da arte revela que o controle passivo de vibrações e ruído empregando piezocerâmicas combinadas com circuitos *shunt* é uma técnica promissora, passível de aplicação em diversos produtos industriais, com significativo ganho de eficiência e custo quando comparado a outras técnicas de controle passivo de vibrações.

Destacam-se algumas vantagens específicas de vários tipos de circuitos *shunt* descritos neste trabalho; os circuitos *shunt* resistivos possuem relativa insensibilidade à temperatura (comparado com materiais viscoelásticos) e elevados fatores de perda; os circuitos *shunt* ressonantes apresentam comportamento semelhante aos absorvedores dinâmicos de vibrações, assim, para o controle de um dado modo de interesse é necessário que o dispositivo *shunt* ressonante seja sintonizado na freqüência natural deste modo.

Cabe salientar que é possível atenuar vibrações em um sistema mecatrônico numa faixa ampla de freqüência pela instalação de vários PZTs com circuitos *shunt* sintonizando cada circuito a uma freqüência da faixa sintonia. Neste caso, os parâmetros dos vários circuitos shunt devem ser obtidos através de técnicas de otimização.

Finalmente, um aspecto que merece atenção é o fato dos sistemas de controle passivo dispensarem a utilização de fontes externas de potência e de complexos sistemas de controle, tais como os encontrados nos sistemas ativos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao ex-bolsista de iniciação científica, Joel P. Da Silva Júnior, pelos ensaios experimentais relatados neste trabalho. Agradece-se também ao apoio da FAPEMIG através do projeto TEC205/2002. D. A. Rade agradece ao CNPq pelo suporte às suas atividades de pesquisa através do processo 501051/2003-1.

6. REFERÊNCIAS

- Forward, R.L., 1979, “Electronic damping of vibrations in optical structures”, *Journal of Applied Optics*, Vol 18 (5), pp 690-697.
- Hagood, N.W., Flotow, A.V., 1991, “Damping of structural vibrations with piezoelectric materials and passive electrical networks”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol 146(2), pp 243-268.
- Guyomar, D., Richard, C., Audigier, D., 1999, “A new vibration damping method using a semi-passive control” 2ND EAA International Symposium on Hydroacoustics.
- Davis, C.L., Lesieutre, G.A., 2000, “An actively tuned solid-state vibration absorber using capacitive shunting of piezoelectric stiffness”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol 232, pp

601-617.

Davis, C.L., Lesieutre, G.A., Dosch, J., "A tunable electrically shunted piezoceramic vibration absorber. (PIA)" SPIE Vol 3045, pp51-59.

IEEE Std 176-1978 IEEE Standard in Piezoelectricity, 1978 9-14. The institute of electrical and electronics Engineers.

Behrens, S., Fleming, A.J., Moheimani, S.O.R., 2003, "A broadband controller for shunt piezoelectric damping of structural vibration" Smart Materials and Structures, Vol 12, pp18-28.

Corr, L. R., Clark, W. W., 2002, "Comparison of low frequency piezoelectric switching shunt techniques for structural damping" Smart Materials and Structures, Vol 11, pp 370-376.

Abreu, G. L.C.M.; Ribeiro, J.F. and Steffen Jr, V.; 2003, "Experiments on optimal vibration control of a flexible beam containing piezoelectric sensors and actuators", Shock and Vibration, Vol 10 (5,6), pp 283-300.

Brandão, R.; Silva, J. e Steffen Jr, V.; "Controle Passivo de Vibrações usando PZT acoplado a circuito elétrico ressonador", Anais I Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações – DINCON 2002 (in CD) ; São José do Rio Preto – SP; 29 Jul.-01 Ago.,2002.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores retém os direitos autorais por este trabalho.

VIBRATION CONTROL USING PIEZOCERAMICS COMBINED WITH SHUNT CIRCUITS.

Danuza Cristina Santana

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, P.O. Box 593 –CEP 38400-902 Uberlândia –MG – Brasil.

dcsantana@mecanica.ufu.br

Domingos Alves Rade

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, P.O. Box 593 –CEP 38400-902 Uberlândia –MG – Brasil.

domingos@ufu.br

Valder Steffen Jr

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, P.O. Box 593 –CEP 38400-902 Uberlândia –MG – Brasil.

vsteffen@mecanica.ufu.br

Due to the development of new technologies, industrial structures are made of lighter materials and work at higher operation speeds. Since the fifties last century, the use of piezoelectric elements in noise and vibration control systems has been investigated. The present paper addresses a passive technique for vibration control by employing piezoelectric patches associated with passive electrical circuits, assuming the following configurations: purely resistive (shunt resistive); resistive inductive (shunt resonant) capacitive (shunt capacitive) and switched (shunt switched). The resistive shunt produces an effect similar to the viscoelastic materials. The resonant shunt introduces an electrical resonance, which can be optimally tuned to structural resonances, in a similar manner to a mechanical vibration absorber. This paper presents a review of resistive and resonant shunts, their analytical modeling and the resulting mechatronic system together with some preliminary results of an experiment made with parallel resonant shunt.

Key-words: *Vibration, Passive control, Piezoelectric, Shunts.*