



CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO ATUADOR PIEZELÉTRICO FPA-1450-I

Ricardo Hiroyoshi Haguimoto

Universidade Federal de Uberlândia
rhaguimoto@gmail.com

Domingos Alves Rade

Universidade Federal de Uberlândia
domingos@ufu.br

Vera Lúcia D. S. Franco

Universidade Federal de Uberlândia
vlfranco@ufu.br

Valder Steffen Júnior

Universidade Federal de Uberlândia
vsteffen@mecanica.ufu.br

Patrick Magalhães Cardoso

Universidade Federal de Uberlândia
patrick_m_cardoso@yahoo.com.br

Loïc Marlet

Universidade Federal de Uberlândia
loic.marlet@laposte.net

Resumo: *A finalidade deste trabalho é caracterizar um atuador piezoeletrico considerando os dados fornecidos pelo fabricante. Nesta caracterização serão realizadas medições referentes à força, deslocamento, potência e o rendimento do atuador. Inicialmente estes parâmetros serão avaliados através de modelagem matemática, seguindo-se uma análise experimental. Através dos resultados obtidos serão validados os dados do fabricante. Com o processo de modelagem e metodologia de caracterização experimental desenvolvidos neste trabalho busca-se facilitar a utilização de atuadores piezoeletricos em novos projetos, já que esse tipo de tecnologia pode ser aplicado em diversas áreas da Engenharia.*

Palavras-chave: PZT, atuador piezoeletrico, força bloqueada, potência, rendimento.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais piezoeletricos pertencem à classe dos dielétricos (isolantes) que exibem deformação significativa em resposta a aplicação de um campo elétrico. Inversamente, produzem uma polarização dielétrica, ou seja, uma distribuição de cargas elétricas em resposta à deformação imposta ao material.

Com base nas características mencionadas acima, os materiais piezoeletricos podem ser utilizados tanto como sensores de deformação e movimento quanto como atuadores (geradores de movimento). Eles oferecerem vantagens importantes em relação a outros tipos de sensores e atuadores, tais como pequena massa acrescentada, alta sensibilidade e alta capacidade de carga.

Os dois tipos de materiais piezoeletricos mais utilizados são os piezocerâmicos e os piezopolímeros. Entre estes, o titanato zirconato de chumbo (PZTs) e o polifluoreto de vinilideno (PVDF), respectivamente, são os mais utilizados em aplicações industriais. Os PZTs possuem rigidez comparável à dos metais. Isto faz com que estes materiais sejam mais adequados em aplicações como atuadores. A principal desvantagem consiste no fato de as cerâmicas serem muito

frágil, sendo pouco resistentes a tensões de tração. Por isso devem ser manuseadas com cuidado. Os PVDFs, por sua vez, possuem a aparência de filmes plásticos e podem ser cortados e colados em qualquer tamanho e forma. Eles são usados como sensores de elevada eficiência e sensibilidade, mas são menos indicados para usos como atuadores devido à sua baixa rigidez. Este resumo introdutório está disponível em Revista Controle & Automação, UNESP (2006)

O presente trabalho enfoca a caracterização eletromecânica de um tipo específico de atuador piezelétrico comercial, modelo FPA-1450-I, fabricado DSM, enfatizando-se as características de resposta em frequência, relação força \times deslocamento, potência e rendimento.

2. DESCRIÇÃO DO ATUADOR

O atuador considerado, ilustrado na Figura 1, é constituído de três empilhamentos de cerâmica de PZT e um sistema mecânico de amplificação de deslocamento. A cerâmica utilizada é do tipo “Industry type 5H” e “Navy type VI”. A aplicação de voltagem ao atuador provoca a deformação longitudinal do empilhamento de pastilhas PZT e, conseqüentemente, o deslocamento do atuador na direção transversal. Na Figura 1, a seta branca mostra a direção de deformação das cerâmicas PZT e a preta o deslocamento amplificado. Dados retirados da empresa fabricante, DSM.

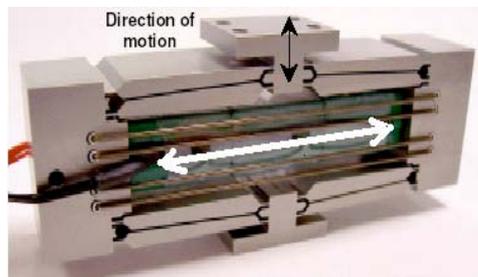


Figura 1- Ilustração do atuador FPA-1450-I

3. MODELAGEM DO ATUADOR

3.1. Modelo elétrico

O atuador pode ser modelado por modelos elétrico e mecânico, que são acoplados formando um modelo eletromecânico, de acordo com o procedimento sugerido Bernard et al. (2005).

A cerâmica PZT é um bom isolante. Sendo assim, do ponto de vista do comportamento elétrico, o atuador pode ser modelado como sendo uma capacitância e uma resistência em paralelo.

A Equação 1 fornece a admitância do circuito equivalente, sendo considerado que a resistência é muito pequena. A Equação 2 permite calcular a corrente consumida pelo atuador em função da frequência e da voltagem. Os valores de V_e e ω são respectivamente a amplitude e a frequência (em rad/s) do sinal na entrada do atuador. A corrente instantânea consumida é dada pela Equação 3. Este modelo é válido para as frequências abaixo da ressonância mecânica do atuador.

$$Y(\omega) = \frac{1}{R_0} + jC_0\omega \quad (1)$$

$$i_e = \omega C_0 V_e \quad (2)$$

$$i_e(t) = jC_0\omega V_e(t) = C_0 \frac{dV_e(t)}{dt} \quad (3)$$

3.2. Modelo mecânico

Do ponto de vista do comportamento dinâmico, o atuador é modelado como um sistema constituído de uma massa M , uma mola de constante k e um amortecedor de coeficiente F . As equações 4 e 5 dão o valor da admitância desse circuito e a segunda relação faz aparecer o fator de amortecimento z e a pulsação natural ω_n , que são definidos nas equações 6 e 7.

$$Y(p) = \frac{u}{F} = \frac{i}{V} = \frac{C}{1 + pRC + p^2LC} \quad (4)$$

$$Y(p) = \frac{C}{1 + \frac{2z}{\omega_n} p + \frac{p^2}{\omega_n^2}} \quad (5)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (6)$$

$$z = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (7)$$

3.3. Modelo eletromecânico

O acoplamento do modelo mecânico com o modelo elétrico é feito com base na idéia de um transformador de voltagem de relação N . Este coeficiente estabelece a relação entre a voltagem na entrada (V_e) e a força na saída, como mostra a Equação 8 e também a relação entre a velocidade do atuador e a corrente consumida, na Equação 9.

$$V_e = NF \quad (8)$$

$$u = Ni \quad (9)$$

Para retirar o transformador do modelo e obter o modelo definitivo da Figura 2, basta substituir os parâmetros M , k , F , expressos pelas equações 10, 11 e 12.

$$C = \frac{1}{kN^2} \quad (10)$$

$$L = MN^2 \quad (11)$$

$$R = fN^2 \quad (12)$$

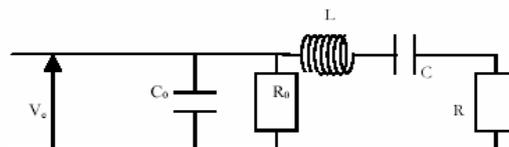


Figura 2- Modelo elétrico equivalente definitivo do atuador

As equações 13 e 14 fornecem a admitância do circuito elétrico da Figura 2. Para realizar a identificação do atuador, é necessário determinar os parâmetros L , R , C , R_0 e C_0 .

$$Y(p) = \frac{\frac{1}{R_0} + p \left(C + C_0 + \frac{RC}{R_0} \right) + p^2 \left(\frac{LC}{R_0} + RCC_0 \right) + p^3 LCC_0}{1 + pRC + p^2 LC} \quad (13)$$

$$Y(p) = \frac{\frac{1}{R_0} + p \left(C + C_0 + \frac{2z}{\omega_n R_0} \right) + p^2 \left(\frac{1}{\omega_n^2 R_0} + \frac{2zC_0}{\omega_n} \right) + p^3 \frac{C_0}{\omega_n^2}}{1 + \frac{2z}{\omega_n} p + \frac{p^2}{\omega_n^2}} \quad (14)$$

4. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO ATUADOR

A Tabela 1 mostra os valores dos parâmetros do atuador fornecidos pelo fabricante.

Tabela 1: Valores fornecidos pelo fabricante

Deslocamento máximo	1,45mm	Massa	220 g
Rigidez	0,21 N/μm	Capacitância	$C_0 \cong 22 \mu\text{F}$
Frequência de ressonância sem carga	190 Hz	Dimensão	83x36x19 (mm)
Força máxima bloqueada	300 N(compressão)		

O gráfico da Figura 3 representa o diagrama de Bode da resposta do atuador, fornecido pelo fabricante. A saída é o deslocamento relativo do atuador.

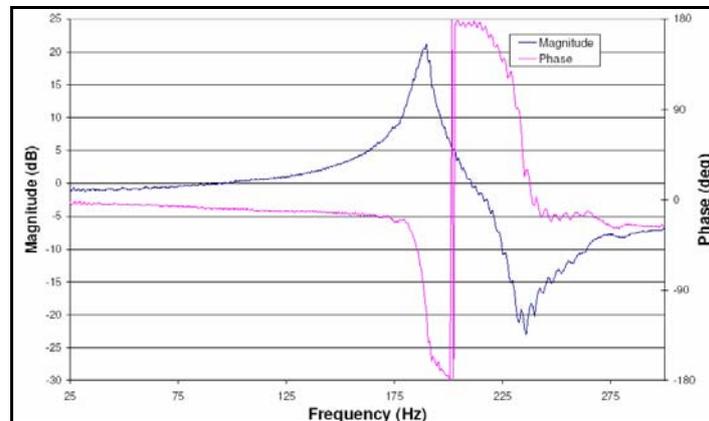


Figura 3 - Diagrama de Bode do atuador.

A frequência de ressonância do sistema mecânico encontra-se no diagrama de Bode e tem valor aproximado de 190 Hz.

O coeficiente de amortecimento z pode ser determinado com o diagrama de Bode e com a Equação 15, a partir do valor da amplificação na frequência de ressonância. O resultado encontrado foi de $Z=0,03$.

$$f_r = f_n \sqrt{1 - 2z^2} \quad (15)$$

Um coeficiente de amortecimento tão baixo traduz o caráter muito oscilante do atuador, fato que impede de utilizá-lo para frequências próximas da frequência de ressonância. A empresa que fabrica o atuador recomenda limitar a frequência de acionamento ao máximo de 80% da frequência de ressonância.

A partir do coeficiente de amortecimento z e a frequência de ressonância retirado do diagrama de Bode, calcula-se a frequência natural do atuador, restando determinar o valor de um dos parâmetros L , R ou C para obter os valores dos dois outros parâmetros com as equações 6 e 7.

Para encontrar os parâmetros L , R , C , é necessário dispor de uma outra relação entre eles. Por isso, utilizamos o outro ponto particular do diagrama de Bode representado pelo mínimo da curva. Para resolver este problema, utilizamos a função de busca de mínimo de uma função do programa MATLAB. Antes disso foi necessário adaptar a função de transferência da Equação 13 para ter o deslocamento na saída no lugar da corrente. A Equação 16 expressa a nova função $H(p)$.

$$H(p) = \frac{x}{U_e} = \frac{v/p}{U_e} = \frac{v/pN}{U_e} = \frac{Y(p)}{Np} \quad (16)$$

Com os cálculos realizados com MATLAB, obtemos o valor de $C = 0,1 \mu\text{F}$, $R = 1,7 \Omega$ e $L = 0,07\text{H}$. Já conhecemos o valor de $C_0 = 22 \mu\text{F}$ e foi adotado um valor para a resistência $R_0 = 1\text{M}\Omega$ que representa a resistência das cerâmicas PZT.

5. ANÁLISE DE POTÊNCIA

O atuador utilizado nos ensaios experimentais deve ser alimentado com uma tensão elétrica alternada assimétrica para que este atinja o nível máximo de deslocamento (ou força exercida). Sendo assim, pode-se representar a tensão elétrica aplicada no atuador PZT sob a forma da equação 17:

$$v(t) = V_0 + V \sin(\omega t) \quad (17)$$

Sendo $v(t)$, a tensão elétrica instantânea aplicada no PZT, o valor de V_0 é o nível DC estático deste sinal de alimentação, V é o valor da amplitude do sinal de tensão e ω é o valor da frequência do sinal de alimentação e t representa o instante de tempo.

É possível escrever a corrente elétrica instantânea que passa pelo atuador piezoelétrico levando-se em consideração o ângulo de defasagem ϕ entre a tensão elétrica aplicada e a corrente que circula pelo PZT, como mostra a Equação 18:

$$i(t) = I \sin(\omega t - \phi) \quad (18)$$

Onde I é a amplitude da corrente que passa pelo PZT. Por definição tem-se que a potência elétrica instantânea é dada pelo produto entre a tensão e a corrente, como mostra a Equação 19:

$$P(t) = v(t)i(t) \quad (19)$$

Substituindo as equações para a tensão elétrica de alimentação e corrente no PZT tem-se a equação 20:

$$P(t) = [V_0 + V \sin(\omega t)]I \sin(\omega t - \phi) \quad (20)$$

Expandindo-se a expressão acima se obtém a equação 21:

$$P(t) = \frac{1}{2}VI \cos(\phi) - \frac{1}{2}VI \cos(\omega t - \phi) + V_0 I \sin(\omega t - \phi) \quad (21)$$

A equação 21 resumida é expressa pela equação 22 e pode-se verificar esse desmembramento pelas equações 23 e 24:

$$P(t) = P_{ativa} + P_{reativa}(t) \quad (22)$$

$$P(t) = \frac{1}{2}VI \cos(\phi) \quad (23)$$

$$P(t) = -\frac{1}{2}VI \cos(2\omega t - \phi) + V_0 I \sin(\omega t - \phi) \quad (24)$$

Das equações acima podem ser tiradas algumas conclusões importantes, sendo que o nível DC do sinal de alimentação não influencia a potência ativa, que é a máxima potência que poderia ser utilizada na realização de trabalho.

Ainda sobre o nível DC, este afeta significativamente a potência reativa, e também a potência elétrica consumida pelo atuador, que é uma soma da potência ativa e a potência reativa. Ao se reduzir a potência reativa, por exemplo, eliminando o nível DC do sinal de alimentação, a potência elétrica consumida também é reduzida. Este fato nos leva a preferir atuadores piezoelétricos que atuem de forma assimétrica, ou seja, que não necessitem de uma tensão elétrica com nível DC para se explorar toda a faixa de trabalho, que significa a máxima força ou máximo deslocamento que o atuador pode gerar.

O ângulo ϕ entre a tensão elétrica de alimentação e a corrente que circula pelo atuador piezoelétrico deve ser o menor possível, mais próximo de zero, para que se tenham maiores valores de potência ativa disponível.

O atuador piezoelétrico deverá estar acoplado a um sistema mecânico sobre o qual ele irá realizar um trabalho. Supondo este sistema como sendo um sistema mecânico de um grau de liberdade composto por uma massa (m_e), rigidez (k_e) e amortecimento (c_e), tem-se que o deslocamento da massa (u_e) é apenas uma fração do deslocamento total do atuador piezoelétrico (u_{isa}), quando este está livre (sem a aplicação de carga). Definindo a razão de rigidez (r) como sendo a razão entre a rigidez do sistema acoplado ao atuador (k_e) e a rigidez interna do atuador piezoelétrico (k_i), ou seja, $r=k_e/k_i$, tem-se a equação 25:

$$u_e = \frac{1}{1+r} u_{isa} \quad (25)$$

O valor do deslocamento dinâmico livre do atuador piezoelétrico pode ser estimado a partir de algumas propriedades do atuador através da Equação 26:

$$u_{isa} = l \frac{V}{t} d \quad (26)$$

Sendo l o comprimento da pilha (stack) de PZT, t a espessura de cada lâmina que compõe a pilha de PZT, d o coeficiente de deformação piezoelétrica e V a tensão elétrica aplicada no atuador. A potência de saída do atuador piezoelétrico pode ser escrita com a equação 27:

$$P_{out} = w \left(\frac{1}{2} k_e u_e^2 \right) \quad (27)$$

Na expressão acima o termo entre parênteses é a energia de deformação da mola acoplada ao atuador piezoelétrico. Substituindo a equação 25 na equação 27, tem-se a equação 28:

$$P_{out} = w \frac{r}{(1+r)^2} \left(\frac{1}{2} k_i u_{isa}^2 \right) \quad (28)$$

A equação 28 pode ser aplicada a sistemas mecânicos com baixo amortecimento, operando bem abaixo da frequência de ressonância. Próximo à frequência de ressonância, a razão de rigidez sofre variações com a frequência e não se pode mais utilizar a razão de rigidez estática ($r=k_e/k_i$).

Com a dedução das equações acima se pode concluir que a potência de saída é dependente da função $F(r) = r/(1+r)^2$.

A potência máxima que o atuador piezoelétrico poderá fornecer a um sistema mecânico será obtida quando a razão de rigidez for próxima da unidade. Nesta situação tem-se a equação 29:

$$P_{out}^{máx} = w \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} k_t u_{isa}^2 \right) \quad (29)$$

Sendo assim, ao se carregar o atuador piezoelétrico com um sistema cuja rigidez esteja próxima da rigidez do atuador, a baixas frequências, bem abaixo da frequência de ressonância do sistema, tem-se o máximo de potência de saída e o máximo rendimento do atuador. Para análise de potência foi utilizado a metodologia de Rogers and Giurgiutiu (1996).

6. DESCRIÇÃO TÉCNICA DO ATUADOR

6.1. Relação entre força e deslocamento

Existe uma relação entre o deslocamento e força que o atuador pode exercer. Quanto maior for o deslocamento, menor será a força e vice-versa. A equação 17 fornece a relação entre os dois parâmetros quando a tensão é máxima, sendo $F_{máx}$ e $\delta_{máx}$. Se a tensão na entrada for menor do que 150 V são necessários utilizar a equação 31, válida para o atuador livre. O modelo do atuador permitirá determinar o parâmetro δ_1 desta equação, que representa o valor do deslocamento do atuador livre. Será feito um estudo para encontrar a relação entre a força bloqueada, ou seja, o valor do parâmetro F_1 , e a amplitude e a frequência da tensão. A representação gráfica das equações 30 e (33) são mostradas na Figura 4.

$$F_{pzt} = F_{máx} \left(1 - \frac{\delta_{pzt}}{\delta_{máx}} \right) \quad (30)$$

$$F_{pzt} = F_1 \left(1 - \frac{\delta_{pzt}}{\delta_{máx}} \right) \therefore F_1 < F_{máx} \therefore \delta_1 < \delta_{máx} \Leftrightarrow V < V_{máx} \quad (31)$$

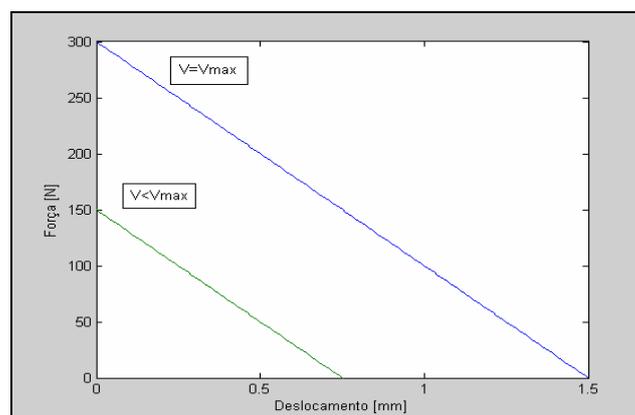


Figura 4: Relação entre Força e Deslocamento

Constatou-se que a relação entre a força disponível na saída do atuador e o deslocamento por uma tensão constante, é uma função linear no caso da tração e quase linear na compressão.

6.2. Influência de uma carga externa

Este item trata da influência de uma carga na saída do atuador. Um peso morto apenas modifica o ponto de equilíbrio e a inércia do atuador. A força aplicada pelo peso morto é compensada pela força elástica da mola.

Utilizando uma força variável do tipo mola, cuja intensidade depende do deslocamento, verifica-se que o caso é diferente. Este tipo de carga pode modificar a posição do ponto de equilíbrio do atuador se a mola for pré-comprimida. O deslocamento máximo δ atingido pelo atuador com uma mola, de constante elástica k_{mola} , na saída é dado pela fórmula da equação 32. Nesta fórmula o parâmetro k_{pzt} é a elasticidade do atuador e δ_{livre} o deslocamento atingido sem a deformação da mola. É possível modelar este efeito colocando uma constante multiplicativa na fórmula da função de transferência da equação 33.

$$\delta \approx \delta_{livre} \frac{k_{pzt}}{k_{mola} + k_{pzt}} < \delta_{max} \Leftrightarrow k_{mola} > 0 \quad (32)$$

$$H_{\{mola+atuador\}}(p) = K \times H_{\{atuador\}}(p) \text{ com } K = \frac{k_{pzt}}{k_{mola} + k_{pzt}} \quad (33)$$

7. ANÁLISE EXPERIMENTAL

7.1. Ensaio para validar os dados fornecidos pelo manual do atuador

Colocou-se na entrada do atuador uma tensão senoidal do gerador de função, depois de ser amplificada. Utilizou-se um osciloscópio para medir a tensão na entrada do atuador e na saída foi usado um sensor de proximidade que fornece o valor do deslocamento do atuador. O multímetro permite medir a corrente consumida pelo atuador com o objetivo de calcular a capacitância elétrica equivalente C_0 .

Todos os testes foram realizados com frequências inferiores a 80% da frequência de ressonância, ou seja, o valor máximo que se pode atingir com este atuador.

A Figura 5 mostra o resultado dos testes experimentais realizados em laboratório.

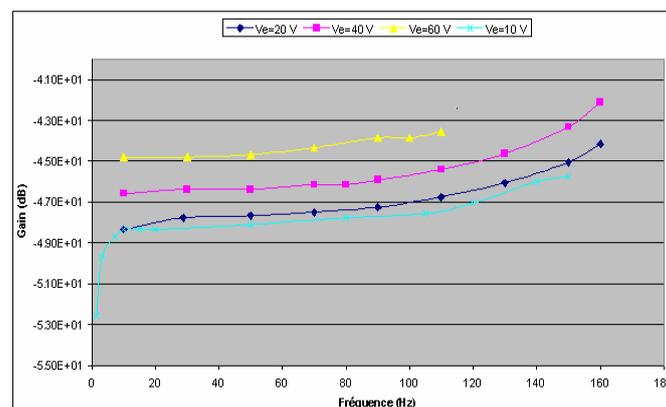


Figura 5: Diagrama de Bode em amplitude do atuador

A realização do diagrama de Bode em relação à amplitude do atuador, com uma tensão na entrada e um deslocamento na saída validou o comportamento previsto pelo modelo estabelecido.

Primeiramente, constatou-se que o ganho aumenta muito lentamente na faixa de frequência entre 10 e 120 Hz. Acima de 120 Hz, observa-se uma elevação mais rápida do ganho quando as frequências se aproximam da ressonância.

Em segundo lugar, observou-se que o diagrama de Bode depende do valor da frequência e da amplitude da tensão na entrada. Isso comprova que o atuador não é um sistema linear. Em terceiro lugar, com as medidas da corrente consumida pelo atuador, foi possível validar a Equação 2 e o valor de 22 μF para a capacitância elétrica equivalente C_0 fornecido pela empresa. Os resultados

mostraram que a corrente é realmente uma função linear da frequência de um lado e da tensão do outro. O valor experimental que foi encontrado para a capacitância equivalente é $C_0 = 14 \mu\text{F}$.

Os parâmetros do modelo R, L, C dependem do valor da capacitância, por isso foi necessário calculá-los novamente e foram obtidos os seguintes valores: $C = 0,7\text{e-}5 \text{ F}$, $R = 4,5 \Omega$ e $L = 0,1 \text{ H}$ no caso tem $C_0 = 14 \mu\text{F}$, $R_0 = 1 \text{ M}\Omega$ e $z = 0,02$.

7.2. Ensaio experimental para obter o valor da força bloqueada

Foi realizado um ensaio para verificar o valor da força bloqueada exercida no atuador piezelétrico. Foram utilizados para este ensaio o osciloscópio digital, gerador de funções, amplificador de potência, multímetro digital, célula de carga e o atuador. O procedimento inicial foi montar uma estrutura capaz de fixar o atuador e a célula de carga no mesmo conjunto da forma mais rígida possível sobre a bancada. Posteriormente, foram anexados os equipamentos de análise experimental no atuador e na célula de carga para colher dados referentes à tensão de saída. Foi utilizada uma frequência de 50Hz e tensão de alimentação variando de 10V até 60V. A Figura 6 mostra o gráfico da força bloqueada em função da tensão.

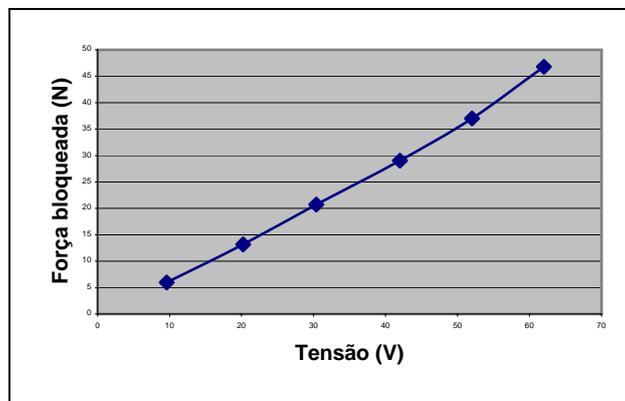


Figura 6: Gráfico da Força bloqueada

7.3. Ensaio de potência para determinação do rendimento do atuador

Em primeiro lugar foi feito um ensaio para obter a função resposta em frequência do sistema (atuador + sistema dissipativo). Para realização deste ensaio utilizaram-se os seguintes instrumentos: acelerômetros, martelo de impacto instrumentado, condicionadores de sinais, amortecedor, um sistema de aquisição de dados. Verificou-se que a frequência de ressonância do sistema é de aproximadamente 59 Hz. Continuando o procedimento experimental utilizando um sistema dissipativo como mostra a Figura 10, foi realizado o ensaio de potência para encontrar o rendimento do atuador.



Figura 10: Sistema atuador +amortecedor

O atuador piezoelétrico foi alimentado com uma tensão senoidal com 10 Vpp, sem nível DC. A variação de frequência foi definida entre 15 Hz e 90 Hz. A variação de frequência foi realizada a cada 5 Hz e na região da frequência próxima a de ressonância do sistema esta variação foi de 2 Hz. Verificou-se que a potência consumida máxima foi na frequência de ressonância do sistema atuador-amortecedor. Esse valor de rendimento chegou próximo de 38% como mostra o gráfico da Figura 7.

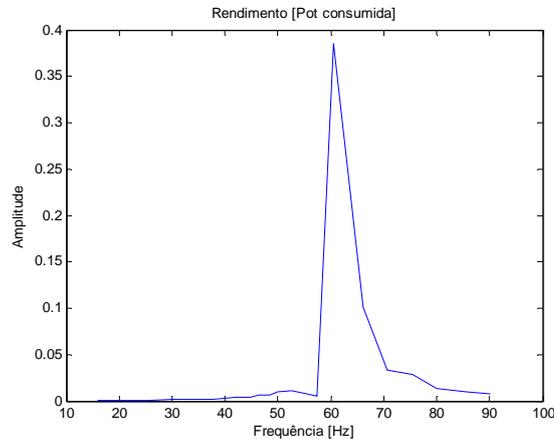


Figura 7: Gráfico do rendimento

8. CONCLUSÕES

O trabalho para a caracterização do FPA-1450-I realizado permitiu conhecer a resposta em deslocamento do atuador segundo a amplitude e a frequência da tensão de entrada. Foi mostrado com os testes na bancada que o atuador é um sistema não-linear, porque o comportamento do atuador depende da amplitude da tensão de entrada. Foi possível verificar os níveis de potência entregue ao atuador e o quanto foi consumido, gerando um rendimento que está muito próximo aos valores teóricos.

Em relação ao ensaio de potência do atuador, foi comprovado que o atuador trabalha com rendimento máximo na ressonância do sistema, confirmando a análise teórica feita anteriormente.

O método de caracterização do atuador pode ser utilizado para modelar a maioria dos atuadores piezoelétricos, mas é necessário para cada novo atuador realizar testes para determinar os parâmetros do circuito elétrico equivalente.

9. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa EMBRACO pelo suporte financeiro concedido no âmbito de um projeto de cooperação científica com a FEMEC/UFU.

10. REFERÊNCIAS

- Marlet L., Caracterização de Atuadores Piezoelétricos aplicados à Sistemas Mecânicos. Projeto de fim de curso, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.
- Dynamic Structures&Materials, FPA-1450-I Piezoelectric Actuator, Disponível em: <http://www.dynamic-structures.com>. Acesso em abril de 2007
- Bernard Y., Sunyoto S., Daniel L., Caractérisation Électromécanique d'un actionner piézoéletrique, Disponível em <http://belz.univubs.fr/jg2m/Documentation/CFM2005/articles/1204.pdf>. Acesso em março de 2007.

- Pomirleanu, R., Giurgiutiu, V. Full-Stroke and Dynamic Analysis of High-power Piezoelectric Actuators. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.13, May 2002, Department of Mechanical Engineering, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA.
- Rogers, G. A. and Giurgiutiu, V. Dynamic Power and Energy Capabilities of Commercially-Available Electro-Active Induce-Strain Actuators. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.7, November 1996, Center for Intelligent Material Systems and Structures, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
- Tebaldi A., Coelho L. S., Junior V. L., Detecção de falhas em estruturas inteligentes usando otimização por nuvem de partículas: fundamentos e estudo de casos. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php>. Acesso em maio de 2007
- Nunes, O. A. Jr., Apostila de Estudo Dirigido I - Fundamentos da Piezoelectricidade. Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

CHARACTERIZATION OF ACTUATOR PIEZOELECTRIC FPA-1450-I

Ricardo Hiroyoshi Haguimoto

Federal University of Uberlândia
rhaguimoto@gmail.com

Domingos Alves Rade

Federal University of Uberlândia
domingos@ufu.br

Vera Lúcia D. S. Franco

Federal University of Uberlândia
vfranco@ufu.br

Valder Steffen Júnior

Federal University of Uberlândia
vsteffen@mecanica.ufu.br

Patrick Magalhães Cardoso

Federal University of Uberlândia
patrick_m_cardoso@yahoo.com.br

Loïc Marlet

Federal University of Uberlândia
loic.marlet@laposte.net

Abstract: *The intention of this work is to characterize a piezoelectric actuator considering the data given by the manufacturer. In this characterization, measurements related to force, displacement, power and efficiency of the actuator are obtained. Initially these parameters are evaluated by mathematical modeling, followed by experimental analyses carried-out in laboratory. Based on the obtained results, the manufacturer's data are validated. With the process of modeling and characterization methodology developed in this work, the use and application of actuators in new projects become easier, as this kind of technology can be applied in different engineering areas.*

Keywords: *PZT, piezoelectric actuator, blocked force, power, efficiency.*