

AVALIAÇÃO DO MÉTODO DA IMPEDÂNCIA PARA DETECÇÃO DE FALHAS EM UMA VIGA DE ALUMÍNIO-COBRE

Heléa Cristina Pinto Gruppioni

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

heleagruppioni@yahoo.com.br

José Reis Vieira de Moura Júnior

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

qquerum@mourajr.com

Raquel Santini Leandro Rade

Instituto de Física (INFIS), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

rslr@ufu.br

Resumo: O método da impedância é uma técnica de monitoramento da integridade de um sistema baseado na observação da impedância mecânica utilizando materiais piezelétricos como pastilhas PZT. Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação desta técnica para identificação do crescimento de fissuras em uma viga de liga metálica de Alumínio-Cobre (AlCu) engastada-livre. Os ensaios foram feitos adicionando-se, em cada passo, 1 mm de corte em cada lateral da viga e adquirindo-se simultaneamente os sinais de impedância, através de um PZT colado na extremidade livre da mesma, referente aquele estado. Com os resultados pode-se relacionar os tamanhos das falhas provocadas com os sinais de impedância, mostrando assim, que o método é válido para analisar a integridade estrutural do sistema através da medição da impedância em PZTs acoplados à estrutura.

Palavras-chave: Impedância Eletro-Mecânica, Monitoramento da Integridade Estrutural, Detecção de Falhas.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa apresentar o método da impedância utilizado para o monitoramento de falhas em estruturas do tipo viga de alumínio-cobre, engastada-livre, com PZT colados na extremidade livre. O processo consistiu em criar fissuras de tamanhos variados nas laterais da viga, na qual se utiliza o analisador de impedância HP4194A para verificar a variação do sinal da impedância eletro-mecânica em função do tamanho das mesmas. Com este estudo pretende-se detectar danos ou falhas em estruturas reais através do monitoramento do sinal da impedância eletro-mecânica.

1.1. Impedância Eletro-Mecânica e seu Monitoramento Estrutural

O método de monitoramento baseado na impedância eletro-mecânica utiliza sensores, constituídos de pequenas pastilhas piezelétricas, que monitoram mudanças na rigidez da estrutura, no amortecimento e na massa. Estes sensores são pequenas pastilhas piezelétricas de PZT (Titanato Zirconato de Chumbo), usualmente menores que 25x25x0.1 mm que, são utilizadas diretamente para medir a resposta dinâmica local.

Transdutores piezocerâmicos atuam de forma direta produzindo uma carga elétrica quando submetidos a esforços de natureza mecânica. Inversamente, uma deformação mecânica é provocada quando um campo elétrico é aplicado.

Para obter a leitura da impedância eletro-mecânica da estrutura, a técnica de monitoramento baseada na impedância do sistema utiliza simultaneamente os efeitos, diretos e indiretos, dos materiais piezelétricos. Quando o campo elétrico alternado atua na pastilha PZT colada na estrutura, o mesmo se deforma conjuntamente com a estrutura fazendo com que o conjunto vibre. Se a frequência de excitação for muito alta, a resposta dinâmica da estrutura refletirá apenas o comportamento de uma pequena região próxima ao sensor/atuador. A partir da resposta dinâmica da estrutura, o PZT se deforma gerando um campo elétrico. Assim, o mesmo funciona como atuador e como sensor de deformações. Quando algum tipo de dano ou fissura aparece na estrutura, a resposta dinâmica da mesma é alterada e percebida através da resposta elétrica do PZT. Logo a impedância pode ser classificada em dois tipos: a impedância mecânica de um sistema mecânico que pode ser descrita como a divisão da força harmônica aplicada a este sistema pela velocidade com que o mesmo se desloca no mesmo ponto (Raju, 1997) e a impedância elétrica que é descrita como a oposição que um circuito ou componente oferece a corrente alternada. A impedância elétrica é uma grandeza bidimensional e, portanto, dividida em duas partes: resistência e reatância. A resistência nos circuitos de corrente alternada é a mesma que a contraparte da corrente contínua e é expressa como um valor ôhmico positivo. Já a reatância pode ser indutiva, ou seja, valor ôhmico não-negativo, ou capacitiva, ôhmico não-positivo (Gibilisco, 2002).

As pastilhas de PZT utilizam uma diferença de potencial muito baixa, ou seja, menores que 1 V, gerando uma alta frequência de excitação em determinados pontos da estrutura (Moura, 2004). Segundo Raju (1997), o valor de 1 V apresenta bons resultados para identificação de mudanças estruturais do que valores inferiores. O valor de 1 V é o máximo valor que pode ser atribuído pelo equipamento que foi realizado o estudo.

Na Figura 1, apresenta-se o modelo unidimensional eletromecânico do sistema de monitoramento de integridade estrutural utilizando os sinais de impedância eletro-mecânica. Considera-se que um atuador/sensor PZT axial seja posicionado em uma das extremidades do sistema, enquanto a outra está fixa. Liang et al (1994) demonstraram que a admitância $Y(\omega)$ do atuador PZT é uma função combinada da impedância mecânica $Z_a(\omega)$ e da estrutura $Z(\omega)$, como mostra a Equação 1.

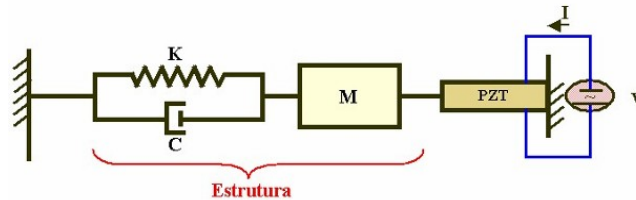


Figura 1 – Modelo unidimensional do acoplamento eletromecânico utilizado pelo método baseado em impedância.

$$Y(\omega) = \frac{I}{V} = i\omega a \left(\bar{\epsilon}_{33}^T - \frac{Z(\omega)}{Z(\omega) + Z_a(\omega)} d_{3x}^2 \hat{Y}_{xx}^E \right) \quad (1)$$

onde V é a voltagem de entrada no atuador PZT, I a corrente de saída do PZT, a é a constante geométrica. d_{3x} é a constante de acoplamento piezelétrico, $\hat{Y}_{xx}^E$ é o Módulo de Young e $\bar{\epsilon}_{33}^T$ a constante dielétrica complexa do PZT com tensão zero.

Supondo que as propriedades mecânicas do PZT não variem ao longo do tempo e que o mesmo é utilizado para o monitoramento, a Equação (1) mostra que a impedância elétrica do PZT é diretamente relacionada com a impedância mecânica da estrutura, levando à utilização dos sinais de

impedância elétrica do PZT para o monitoramento da integridade estrutural do sistema representado pela impedância mecânica da estrutura.

A técnica da impedância consiste basicamente na obtenção de funções de respostas em frequência (FRFs) da estrutura e posterior avaliação da modificação destes sinais. Idealmente, uma modificação destas FRFs indicaria uma modificação estrutural e, portanto, algum tipo de dano (Raju, 1997).

Os gráficos das respostas da impedância fornecem informações qualitativas a respeito da integridade da estrutura, enquanto a informação quantitativa geralmente é fornecida através de um escalar. Este valor escalar é descrito como “desvio da raiz média quadrática”, definida por Sun et al. (1995) pela Equação (2).

$$M = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{[\text{Re}(Z_{i,1}) - \text{Re}(Z_{i,2})]^2}{[\text{Re}(Z_{i,1})]^2}} \quad (2)$$

onde M representa a medida da falha, $Z_{i,1}$ representa o PZT medido sob condições iniciais e $Z_{i,2}$: representa o sinal a ser comparado, para o i -ésimo valor da frequência.

2 . OBJETIVO

O experimento tem como objetivo avaliar a aplicação da técnica de monitoramento da impedância eletromecânica para identificação do crescimento de fissuras em uma viga de liga metálica de Alumínio-Cobre (AlCu) engastada-livre.

3 . METODOLOGIA

Para a realização do experimento, foi utilizado um analisador de impedância HP 4194A, Figura 2, para a aquisição dos sinais de impedância, enquanto as falhas foram inseridas na estrutura através de uma mini-retífica com disco de corte.



Figura 2 – Analisador de Impedância modelo HP 4194A.

A pastilha PZT foi colada na extremidade livre de uma viga engastada-livre, Figura 3, de 20 cm de comprimento e com seção transversal de 4.8 cm de largura por 0,1 cm de espessura. As fissuras foram criadas nas extremidades laterais da viga localizadas a 12 cm da pastilha PZT no sentido do engastamento.

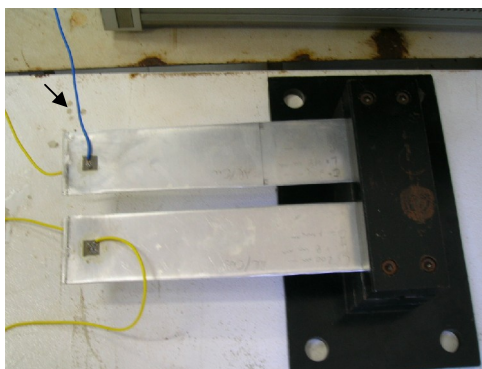


Figura 3 – Viga engastada-livre de alumínio-cobre com PZT.

Em cada passo do experimento acrescentou-se 1 mm de corte em cada lateral da viga, que inicialmente estava sem fissura, e assim sucessivamente até a quinta falha com 5 mm de corte em cada lateral, sendo que após cada corte ter sido feito era adquirido simultaneamente o sinal de impedância da estrutura.

Os dados foram tratados e analisados segundo a Equação 2, sendo possível obter informações a respeito da integridade da estrutura após cada falha.

4 . RESULTADOS

Com os resultados obtidos com o experimento, foi feito um diagrama de barras que mostra o tamanho das falhas obtido através da equação do “desvio da raiz média quadrática”, para cada intervalo de repetições. No intervalo de 0 a 5 mostrado na Figura 4, adquiriu-se o sinal de impedância para a viga sem falhas, no intervalo de 6 a 10 adquiriu-se o sinal de impedância após provocar a primeira falha, ou seja, um corte de 1 mm em cada lateral da viga e assim sucessivamente até a quinta falha com 5 mm de corte em cada lateral, como mostra a respectiva foto (Figura 4), com o entalhe final que foi inserido na viga.



Figura 4 - Viga engastada-livre de alumínio-cobre com fissuras.

A figura 5 representa a evolução do desvio da raiz média quadrática com o número de fissuras.

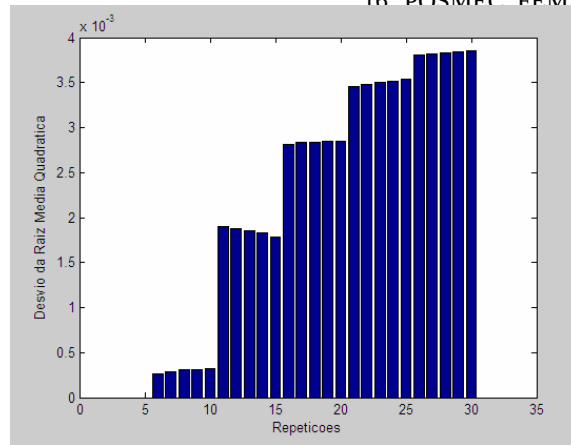


Figura 5 – Diagrama de barras que relaciona o desvio da raiz média quadrática com o número de repetições.

Pode-se notar que à medida que se aumenta a falha, aumenta-se também o valor do escalar obtido pela Equação 2, mostrando a coerência da relação dos dois e que a técnica utilizada é válida para identificar o crescimento da fissura na viga.

O gráfico de caixa apresentado na Figura 6 mostra que o desvio padrão foi bem pequeno, ou seja, os resultados obtidos foram bem próximos e não teve muita variação entre o resultado obtido pela equação do desvio da raiz média quadrática em função da fissura.

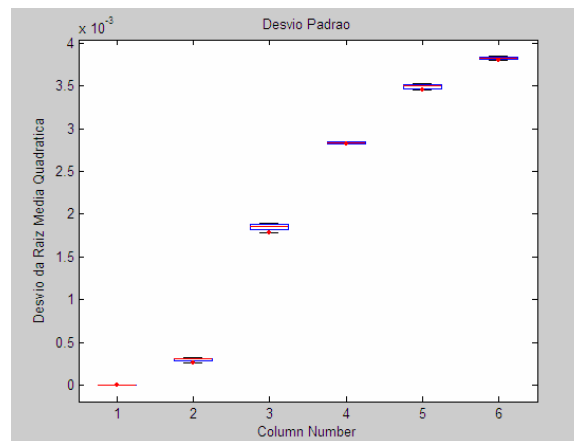


Figura 6 - Gráfico que apresenta o valor da raiz média quadrática com o desvio padrão.

5 . DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Pode ser notado, na Figura 5, a evolução da falha métrica em valores absolutos para cada nível de falha inserida na estrutura, sendo que quanto maior a intensidade da falha, maior foi a variação da impedância elétrica, ou seja, a falha na estrutura cresceu com a variação da impedância no PZT.

Portanto, com os resultados obtidos, é possível afirmar que o método é válido para analisar a integridade estrutural do sistema através da medição da impedância eletro-mecânica em PZTs acoplados à estrutura.

A validade deste método se torna importante, uma vez que ele possui várias vantagens quando comparado a outras técnicas tradicionais de inspeção não destrutiva, sendo este um método prático e de fácil aplicação em componentes estruturais críticos, tais como estruturas metálicas e tubulações dentre outros.

Como continuação deste trabalho, serão realizados estudos sobre a influência de variações ambientais nas técnicas de monitoramento, ou seja, dos impactos causados pela temperatura, umidade e da radiação eletromagnética.

6 . AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao professor Alberto Arnaldo Raslan que teve participação imprescindível neste trabalho, e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pela bolsa de estudo concedida.

7 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gibilisco, S., 2002, “Manual de eletrônica e de telecomunicações”, Reichmann e Afonso Editores, Brasil.
- Liang, C., Sun, F.P., and Rogers, C.A., 1994, “Coupled Electromechanical Analysis of Adaptive Material Systems – Determination of the Actuator Power Consumption and System Energy Transfer”, Journal of Intelligent Material Systems and Structures , Vol. 5, 12 – 20.
- Moura Jr, J. R. V. and Steffan Jr, V., 2004, “Impedance based Health Monitoring: Frequency Band Evaluation”, XXII IMAC, Dearborn, MI – USA.
- Raju, V. , 1997, “Implementing Impedance-Based Health Monitoring. Master thesis”, Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg – USA.
- Sun, F. P., Chaudhry, Z., Liang, C., and Rogers, C.A. , 1995, “Truss Structure Integrity Identification Using PZT Sensor-Actuator”, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 6, 134- 139.

TEST OF THE IMPEDANCE METHOD FOR IDENTIFY FISSURES IN AN AL-CU BEAM

Heléa Cristina Pinto Gruppioni

College of Mechanical Engineering (FEMEC) - Federal University of Uberlândia. Av. Joao Naves De Avilla # 2121
heleagruppioni@yahoo.com.br

José Reis Vieira de Moura Júnior

College of Mechanical Engineering (FEMEC) - Federal University of Uberlândia. Av. Joao Naves De Avilla # 2121
zerjunior@yahoo.com.br

Raquel Santini Leandro Rade

Physics Institute (INFIS) - Federal University of Uberlândia. Av. Joao Naves De Avilla # 2121
rslr@ufu.br

ABSTRACT: *The impedance-based SHM (structural health monitoring) method uses piezoelectric patches for the measuring of changes of the modal parameters of the system. This contribution was focused into a model to identify the growth of fissures in an Al-Cu cantilever beam by the use of the electromechanical impedance measurements. The test was made creating some fissures in a beam, adding in each step, 1 mm of crack in both sides, obtaining simultaneously, signatures of the impedance (real and imaginary parts). The results show that this method is validates to analyze the structural integrity of the systems by the measurement of the impedance in PZT patches bonded on the structure.*

Key words: *Electro-Mechanical Impedance, Structural Health Monitoring, Damage Detection.*

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.