

DETECÇÃO DE FALHAS ESTRUTURAIS UTILIZANDO MÉTODO DA IMPEDÂNCIA ELÉTRICA E PIEZELETRICIDADE.

Vitor Ramos Franco,
Vicente Lopes Junior - Mecânica dos Sólidos e Projetos - Engenharia Mecânica -
Departamento de Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Campus
de Ilha Solteira.

O número e variedade de aplicações em engenharia para as técnicas de diagnóstico e prognóstico de falhas estruturais aplicados ao monitoramento da condição de estruturas (Structural Health Monitoring, SHM) estão expandindo rapidamente. A principal característica para obtenção de um sistema eficiente é o monitoramento, em tempo real, de uma função não destrutiva (nondestructive evaluation, NDE) que seja capaz de identificar e prever o desenvolvimento de danos estruturais.

Métodos de diagnóstico procuram detectar, localizar e quantificar danos em componentes estruturais usando dados medidos dos sistemas reais, enquanto, métodos de prognóstico procuram prever a capacidade futura do sistema estrutural, em tempo próximo ao real com certo grau de confiança estatística. Estes métodos usam as informações da etapa de diagnóstico e modelos matemáticos para estimar a expectativa futura de vida útil da estrutura. De uma maneira geral, métodos de diagnóstico envolvem a solução do problema inverso para caracterização do dano, ao passo que, os métodos de prognóstico envolvem a solução do problema direto para prever o comprometimento do dano (Inman et al, 2005).

Para obtenção de um sistema eficiente de monitoramento da condição, SHM, os métodos de diagnóstico e prognóstico devem ser implementados simultaneamente. Vários benefícios em termos de segurança, custo e desempenho podem ser conseguidos através da adoção desta metodologia. O acelerado avanço tecnológico é acompanhado por uma busca incessante na melhoria de soluções para os problemas do cotidiano. Assim, cada vez mais se busca melhorar meios de produção através do aumento do rendimento das máquinas e equipamentos em geral, além do constante interesse em minimizar perdas de matéria prima e tempo de serviço.

No problema direto, de posse dos parâmetros estruturais tais como matrizes de massa, rigidez e amortecimento, pode-se fazer um estudo estático e dinâmico da estrutura. Partindo de medidas experimentais existe uma infinidade de combinações entre os parâmetros estruturais que levam a mesma solução, este é o chamado problema inverso. Neste contexto, a engenharia deve se propor a estudar de forma aplicada as técnicas disponíveis de resolução destes problemas.

Entre a comunidade de dinâmica estrutural, é sabido que danos como trincas, corrosão, cortes, etc, causam alterações na massa, rigidez e amortecimento das estruturas. Consequentemente, essas mudanças causam reflexos nos parâmetros modais da estrutura, tais como: frequências naturais, modos de vibrar e fator de amortecimento. Existem técnicas bastante difundidas utilizando parâmetros modais para avaliação de falhas estruturais.

Embora existam diversos trabalhos apresentando a utilização de parâmetros modais na detecção e localização de falhas estruturais, o emprego desta metodologia não é trivial e apresenta alguns obstáculos, um exemplo é o fato da falha ser um fenômeno local, enquanto as informações modais refletem as informações globais do sistema. Neste sentido, o método da impedância elétrica apresenta vantagens para a detecção e localização de falhas em estruturas. O método emprega materiais piezelétricos (PZT's) para atuarem como sensores e atuadores. O mesmo transdutor piezelétrico é usado como atuador, por meio de uma voltagem a ele submetida, e ainda capta o sinal gerado pela deformação estrutural. O método emprega altas faixas de frequência (tipicamente acima de 10KHz), pois esta faixa de frequência permite trabalhar com os dados locais, avaliando, assim, apenas as informações correspondentes à área de atuação de cada PZT. A figura 1 mostra as direções principais de um material piezelétrico com direção de polarização na direção 3 (eixo x_3).

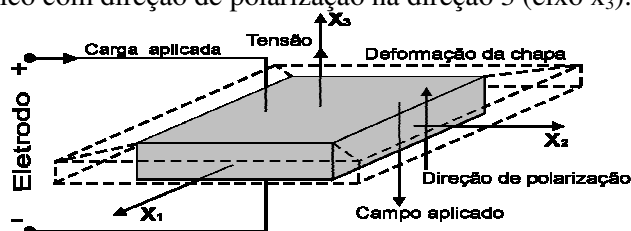


Figura 1 - Direções principais dos materiais piezelétricos

Impedância mecânica é definida como a razão entre a força aplicada e a velocidade resultante no domínio da frequência (Ewins, 1991), enquanto a impedância elétrica é definida com o a razão entre a tensão elétrica de entrada e corrente resultante. O princípio básico da técnica empregada consiste em monitorar a variação da impedância mecânica, causada devido a uma mudança estrutural (falha), através da impedância elétrica. A figura 2 mostra o desenho esquemático do acoplamento eletromecânico do atuador e a estrutura base.

O transdutor eletromecânico acopla as impedâncias elétrica e mecânica. Sendo mais fácil medir a impedância elétrica do que a mecânica, esta característica pode ser utilizada com vantagens para muitas aplicações, como por exemplo, em situações onde a FRF poderia ser de difícil obtenção (Lopes Jr e Inman, 2000).

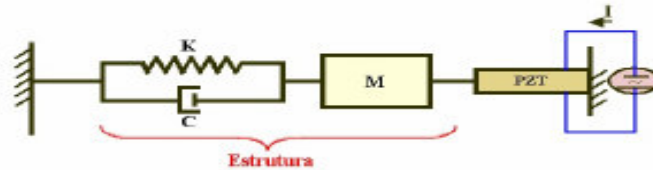


Figura 2 - Modelo representativo de acoplamento eletromecânico

Os testes experimentais foram feitos com uma viga de alumínio de seção retangular 25 x 4,5 mm, com 550 mm de comprimento na condição engastada-livre, mostrada na figura 3. Dois PZTs foram colados à estrutura, sendo colados a distâncias de 68mm e 481mm do engaste . As falhas foram implementadas acrescentando massa em diferentes posições na viga.

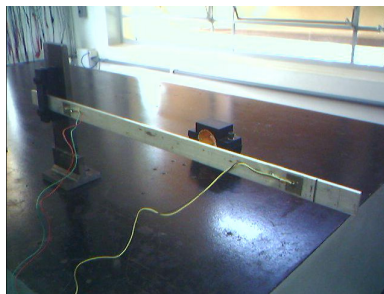


Figura 3 - Viga de alumínio utilizada na condição engastada-livre.

Os aparelhos utilizados foram os softwares SignalCalc ACE® e MAT LAB®, um microcomputador com placa de aquisição compatível, um amplificador de sinais, um filtro para eliminação de possíveis ruídos nos sinais e um aparelho medidor de impedância construído pelo grupo GMSINT (Grupo de Materiais e Sistemas Inteligentes), chamado MIBC (ou Medidor de Impedância de Baixo Custo), figura 4. A figura 5 mostra a disposição dos equipamentos utilizados para a aquisição de sinais.



Figura 4 – MIBC (Medidor de Impedância de Baixo Custo).

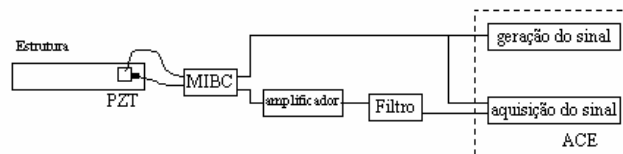


Figura 5 – Sistema de aquisição de sinais.

Primeiramente, fez-se os testes para a estrutura (viga engastada livre) sem falha, utilizando os dois PZT's acoplados na viga. Os PZT's foram excitados separadamente e para cada teste anotou-se os dados obtidos através do software SignalCalc ACE®. Em seguida, introduziu-se a falha na estrutura. A falha é representada por um aumento de massa (figura 6a), acoplada diretamente na estrutura (figura 6b), em uma posição que esteja na região de influência do PZT.

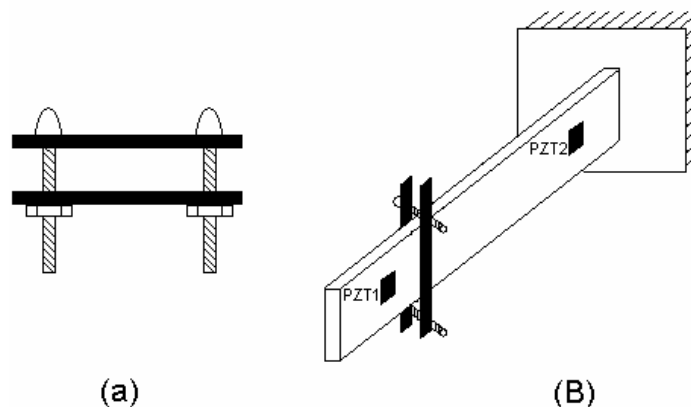


Figura 6 - Falha: (a) representação; (b) acoplada na estrutura.

Portanto, tem-se as seguintes situações:

- Sem falha 1. Excitou-se a estrutura sem falha com o PZT1 ;
- Sem falha 2. Excitou-se a estrutura sem falha com o PZT2;
- Falha 1. Acrescentou-se a falha na estrutura (próxima ao PZT1) excitando-a com o PZT1;
- Falha 2. Mudou-se a falha de posição (ainda próxima ao PZT1) e excitou-se a estrutura com o PZT1;
- Falha 3: Mudou-se, novamente a falha de posição (agora próxima ao PZT2) e excitou-se a estrutura com o PZT2;

Assim, para cada situação, anotou-se os dados obtidos através do software SignalCalc ACE®. Com esses dados e com a implementação de um algoritmo pelo software MAT LAB®, é possível mostrar um gráfico da impedância elétrica da estrutura. Os dados são apresentados pelo software SignalCalc ACE® em uma matriz de três colunas, sendo a primeira coluna a frequência utilizada, a segunda a parte real da impedância e a terceira a parte imaginária, medidas para uma faixa de frequência pré determinada. O usuário deve definir a frequência de aquisição e o número de médias desejadas. Este processo é repetido para a estrutura com falha e sem falha. A figura 7 mostra a variação das curvas em função da condição estrutural. Nesta figura, a estrutura sem falha é representada pelo traço azul e a com falha pelo traço vermelho.

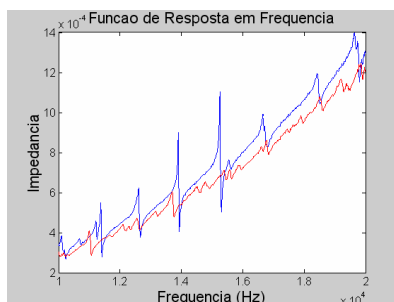


Figura 7 : Impedância elétrica para a estrutura com e sem falha (situação Sem falha 1 e Falha 1).

Um método prático para se obter o monitoramento on-line, pelo método de impedância elétrica, é a utilização da falha métrica, que fornece uma estimativa de quanto a estrutura está afetada, por meio da equação (1).

$$M = \sum_{i=1}^n [(Y_{i,1}) - (Y_{i,2})]^2 \quad (1)$$

A figura 8 mostra os valores da falha métrica para a estrutura analisada nas situações sem falha e com as diferentes falhas.

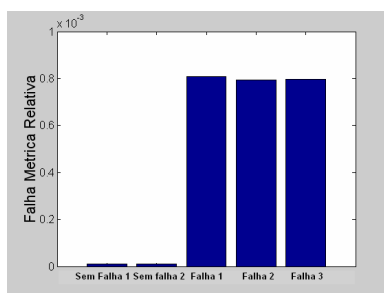


Figura 8 : Falha métrica.

A técnica aqui apresentada se mostrou apropriada para detecção de falhas. Embora aplicada para uma estrutura simples, o procedimento é o mesmo para qualquer tipo de estrutura. Por utilizar modos locais, a técnica é aplicada em áreas de influência do PZT e isto permite sua aplicabilidade prática no monitoramento de estruturas em tempo real.

É importante ressaltar, também, que esta técnica determina apenas a localização da falha. No entanto, a severidade da falha pode ser mais facilmente determinada se a região for conhecida a priori. O cálculo da severidade é baseado na solução do problema inverso, e pode ser realizado através de diversas técnicas, como por exemplo, redes neurais, algoritmos genéticos, nuvem de partículas, etc.

Referências Bibliográficas

- [1] Lopes Jr., V., Inman, D.J., Farrar, C.R., Steffen Jr., V., “Damage Prognosis for Aerospace, Civil and Mechanical Systems”, John Wiley & Sons, Ltd, 449 pages, ISBN 0-470-86907-0, 2005
- [2] Lopes Jr., V., Inman, D.J. et. al. Damage Detection in Structures by Electrical Impedance and Optimization Technique – IUTAM – Smart Structures and Structronic Systems - Magdeburg, Germany, Sep. 2000.
- [3] Ayres, J. W., “Qualitative Health Monitoring and Incipient Damage Inspection/ Evaluation”, Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University – CIMSS, 1996.