

Proposta de Desenvolvimento de Sistema de Treinamento e Diagnóstico para manutenção Industrial e Análise de Vibrações em Máquinas Elétricas¹

Meneses, Nicolly Bastos²

Da Costa, Cesar³

RESUMO

Máquinas rotativas são amplamente utilizadas em diversos tipos de aplicações industriais. Para o funcionamento confiável de sistemas mecânicos, o diagnóstico de falhas em elementos rotativos é a tarefa mais importante e crucial. Nas últimas décadas, o diagnóstico de falhas em sistemas mecânicos progrediu com a evolução das máquinas em termos de complexidade e escala. Máquinas de grande porte exigem monitoramento de integridade e diagnóstico de falhas para garantir seu desempenho confiável. A pesquisa sobre diagnóstico de falhas em máquinas rotativas cresceu rapidamente nos últimos anos. O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de treinamento e diagnóstico para manutenção industrial e análise de vibrações em máquinas elétricas para atender as tendências recentes de pesquisa na área de diagnóstico de falhas em máquinas rotativas em termos dos seguintes aspectos: mecanismo de geração de vibração, mecanismo de falha, aquisição e processamento de sinais e diagnóstico de falhas, rede neural artificial, aprendizagem de máquina, etc. Máquinas defeituosas geralmente consomem mais energia do que deveriam, levando ao aumento dos custos operacionais. A solução de problemas usando análise de vibração ajuda as empresas a otimizarem a eficiência dos ativos e reduzir o consumo de energia.

Palavras-chave: Análise de vibração; máquinas elétricas; diagnóstico de falhas.

INTRODUÇÃO

A análise de vibração (ou monitoramento de vibração) é uma poderosa ferramenta de diagnóstico para identificar, monitorar e prevenir falhas mecânicas em máquinas elétricas rotativas (DA COSTA et al, 2010; DA COSTA et al, 2021). É um componente essencial dos programas de manutenção preditiva, permitindo que os técnicos detectem problemas em desenvolvimento nos equipamentos antes que eles levem a paralisações, não planejadas dispendiosas ou falhas catastróficas. A análise de vibração, um componente dos sistemas de monitoramento de condições, utiliza sensores de vibração para medir frequências em uma máquina elétrica e detectar anormalidades, que possam indicar um problema. Basicamente, a análise de vibrações é o estudo dos movimentos oscilatórios das máquinas e seus componentes em torno de um ponto de equilíbrio estabelecido. Essas oscilações podem resultar de uma série de problemas, incluindo desequilíbrios, desalinhamentos, folgas, eixos tortos e defeitos de rolamentos, entre outros

¹ Projeto de IC.

² Aluna Eng. de Controle e Automação; IFSP; São Paulo, SP; e-mail: nicollybastos5522@gmail.com

³ Prof. Dr. Titular; IFSP; São Paulo; SP; e-mail: ccosta@ifsp.edu.br

(YAMAMOTO et al, 2016; RANDALL,2011). Ao medir e analisar as vibrações das máquinas, os técnicos podem avaliar melhor a saúde e o desempenho dos equipamentos, permitindo-lhes identificar problemas e implementar ações corretivas. Como os componentes rotativos e alternativos (por exemplo, motores, compressores, bombas, etc.) tendem a vibrar mais intensamente e mais alto à medida que envelhecem, a análise das mudanças na vibração pode ajudar os gerentes de manutenção a monitorar as condições da máquina em tempo real e identificar proativamente o desgaste dos ativos e danos da máquina elétrica.

Compreendendo as vibrações

As vibrações são multidimensionais, portanto, os testes de vibração requerem a compreensão de vários parâmetros. Os parâmetros primários são amplitude, frequência e fase. A amplitude refere-se à magnitude da vibração, normalmente medida em unidades como deslocamento (milímetros ou micrômetros), velocidade (polegadas por segundo ou milímetros por segundo) ou aceleração (g's). A frequência mede o número de oscilações por unidade de tempo, geralmente expressa em Hertz (Hz). A Fase refere-se ao tempo relativo da forma de onda de vibração, normalmente medido em graus. Os analisadores de vibração podem usar esses fatores, juntamente com outros, como formato da forma de onda e conteúdo harmônico, para identificar falhas específicas da máquina e sua gravidade (SCHMID et al, 2013). Existem também dois tipos principais de vibrações: (i) vibração forçada que ocorre quando uma força externa é aplicada a um sistema, fazendo-o vibrar. Os exemplos incluem as vibrações produzidas por um motor ou bomba em funcionamento; (ii) vibração natural, também conhecida como ressonância, ocorre quando um sistema vibra em sua frequência natural. Este tipo de vibração pode ser problemático, se a frequência natural da máquina coincidir com a frequência de funcionamento, pois pode provocar vibrações excessivas (ROSA et al, 2015; NANDI et al, 2005).

Aplicações de análise de vibrações

A versatilidade da análise de vibração a torna uma metodologia útil em uma ampla variedade de indústrias e tipos de equipamentos. As fábricas utilizam análise de vibração para monitorar a condição de motores (incluindo motores elétricos), caixas de engrenagens, transportadores e máquinas-ferramentas (MONTE et al, 2015; LITTRELL et al, 2009). Os dados de vibração podem ser usados para otimizar processos de produção, reduzir o risco de falha do equipamento e melhorar a eficiência geral da planta. Na indústria automotiva, a análise de vibração desempenha um papel significativo no projeto, desenvolvimento e teste de componentes. A análise das características de vibração de motores, transmissões e sistemas de suspensão pode ajudar os engenheiros a otimizar seus projetos para melhorar o desempenho e a confiabilidade no mundo real e aumentar o conforto dos passageiros.

Na indústria aeroespacial, a análise de vibração permite que os engenheiros identifiquem e resolvam problemas como vibração excessiva, ressonância ou fadiga de materiais para aumentar a confiabilidade e a longevidade dos sistemas da aeronave. E no setor de energia eólica, a análise de vibração ajuda os operadores de turbinas a monitorar a saúde da turbina, a fim de identificar desequilíbrios nas pás, falhas na caixa de engrenagens e/ou defeitos nos rolamentos (KORPELA, 2019; JEONG et al, 2016; HONGXIN et al, 2016; DA COSTA et al, 2018).

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de treinamento e diagnóstico para manutenção industrial e análise de vibrações, *on line*, em tempo real, para máquinas elétricas.

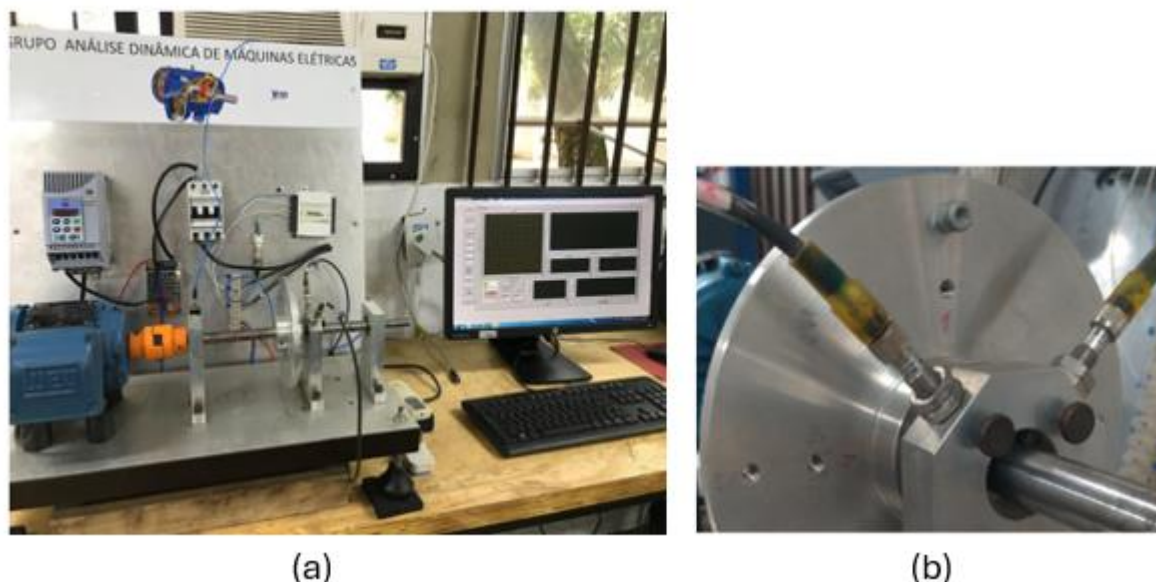
METODOLOGIA

O sistema proposto é resultado de parte de uma pesquisa realizada pelo Laboratório de Análise Dinâmica de Máquinas Elétricas e Eficiência Energética (ADMEEE) do Instituto Federal de São Paulo - Campus São Paulo (IFSP-SPO). Trata-se de um projeto desafiador que envolve a investigação científica de métodos e processos para melhorar a integridade e a confiabilidade das máquinas elétricas. O Sistema proposto está dividido em duas partes: (i) Kit de simulação para treinamento em análise de vibração; (ii) Software para diagnóstico de falhas, *on line*, em tempo real para máquinas elétricas.

Protótipo de Kit de Simulação para Treinamento em Análise de Vibração

O protótipo do kit de simulação para treinamento em análise de vibração desenvolvido neste trabalho é apresentado na Figura 1. A Fig. 1a apresenta a bancada e os seus componentes, enquanto a Fig. 1b ilustra o disco com a distribuição dos furos radiais, destacando a massa posicionada no furo 1 que possibilita a simulação de desbalanceamento do eixo para estudo e a disposição dos sensores de vibração.

Figura 1 – Protótipo do Kit do sistema de diagnóstico de falhas montado (a). Disco com massa posicionada no furo 1 e a disposição dos sensores (b).

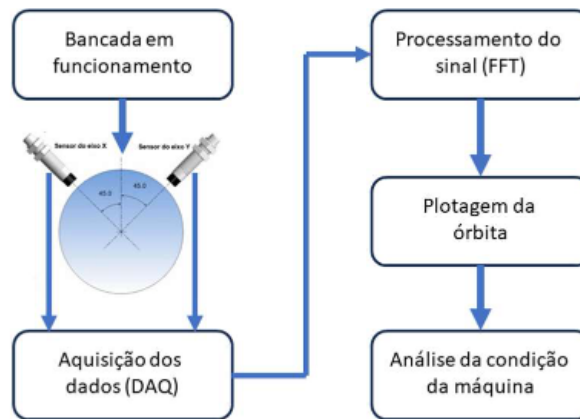


Fonte: Os autores

Software para diagnóstico de falhas

A arquitetura do sistema baseia-se no fluxograma de etapas do processamento de dados, conforme mostra a Figura 2. Este fluxograma compreende desde a etapa de coleta de dados de vibração do rotor em funcionamento, até a apresentação dos resultados, com a análise das condições de operação da máquina elétrica. O software faz a leitura de dois sensores, devidamente posicionados no rotor, num ângulo de 90^0 , referentes aos eixos X e Y. Utiliza-se um dispositivo DAQ para aquisição de dados, que são processados por meio da transformada rápida de Fourier - FFT.

Figura 2 – Fluxograma do Sistema de Diagnóstico de Falhas.

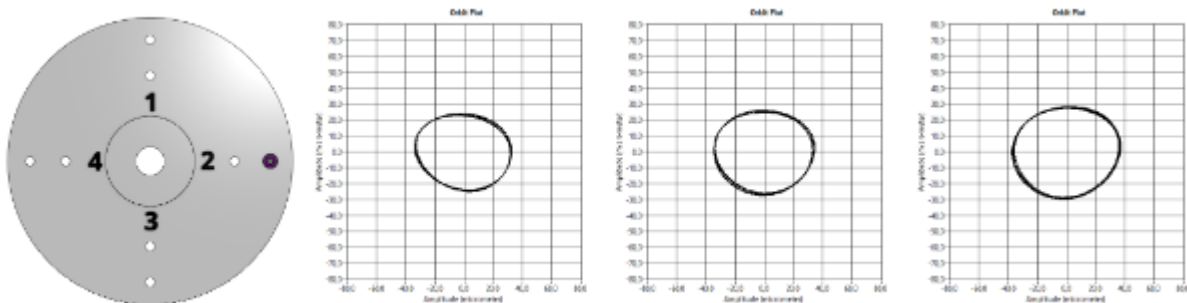


. Fonte: Os autores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento experimental envolveu a indução de deflexões no eixo do Kit de treinamento, inserindo massas desbalanceadas de 3, 6 e 9 gramas em diferentes posições no disco, a uma velocidade nominal de 60 Hz (1.800 rpm). Após essa etapa, os resultados são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Massa desbalanceada na posição 2 e análise de órbita para 3, 6 e 9 gramas.



Fonte: Os autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÃO

Após a realização dos testes com massas desbalanceadas aplicadas em uma posição por vez, observou-se que as órbitas geradas apresentaram um formato elíptico. Esse formato é característico do desbalanceamento do rotor, e a inclinação da órbita indica o movimento predominante do eixo do rotor. Adicionalmente, notou-se que a posição 2 apresentou as maiores amplitudes de órbita. A hipótese de que um aumento de massa resultaria em amplificação de órbita também foi investigada adicionando-se diferentes massas na mesma posição, conforme ilustrado na Figura 3. Existe um formato de órbita característico para o desbalanceamento, e a correlação entre esse formato teórico de órbita e a órbita reproduzida nos testes experimentais foi verificada na prática. Os espectros das órbitas registradas apresentaram resultados consistentes, por meio dos quais foi possível confirmar que a variação no espectro observado se correlaciona com a variação no comportamento vibracional registrado pelos sinais dos sensores.

REFERÊNCIAS

DA COSTA, Caio C. O.; DA COSTA, Cesar. **Quantification and Analysis of Uncertainties in Parameters of Rotors Supported by Bearings**. European Journal of Engineering and Technology Research, v. 6, n. 2, p. 88-95, February 2021. ISSN: 2736-576X.

DA COSTA, Cesar et al. **A new approach for real time fault diagnosis in induction motors based on vibration measurement**. Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. [S.I.]: IEEE. May 2010. p. 1164-1168.

DA COSTA, Cesar et al. **Diagnosis of Failures in Rotary Induction Machines Using Orbit Analysis**, 2017.

DA COSTA, Cesar et al. **Orbit Analysis For Imbalance Fault Detection In Rotating Machinery**. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), v. 13, n. 1, p. 43-53, 2018.

HONGXIN, Zhang et al. **Study on Shaft Orbits Measurement and Identification Based on LabVIEW**. 2013 Fifth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. [S.I.]: IEEE. January 2013.

JEONG, Haedong et al. **Rotating Machinery Diagnostics Using Deep Learning on Orbit Plot Images**. Procedia Manufacturing, v. 5, p. 1107–1118, 2016. ISSN: 2351-9789.
KORPELA, Seppo A. **Principles of turbomachinery**. John Wiley & Sons, 2019.

LITTRELL, N.; BELL, A. **Application Considerations for Eddy Current Proximity Probes**. ORBIT, v. 29, n. 1, 2009.

MONTE, Michael; VERBELEN, Florian; VERVISCH, Bram. **Detection of Coupling Misalignment by Extended Orbits**. In: Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. [S.I.]: Springer International Publishing, 2015. p. 243–250. ISBN: 9783319152363 ISSN: 2191-5652.

NANDI, S.; TOLIYAT, H. A.; LI, X. **Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors - A Review**. IEEE Transactions on Energy Conversion, v. 20, p. 719–729, December 2005. ISSN: 0885-8969.

ROSA, Fábio C.; JÚNIOR, Milton D. **Unbalance parameters identification in rotating machines using computational procedure**. [S.I.]: ABCM. 2015.

SCHMID, Steven R.; HAMROCK, Bernard J.; JACOBSON, Bo O. **Fundamentals of Machine Elements**. CRC Press, 2013.

YAMAMOTO, Guilherme K.; DA COSTA, Cesar; DA SILVA SOUSA, João S. **A smart experimental setup for vibration measurement and imbalance fault detection in rotating machinery**. Case Studies in Mechanical Systems and Signal Processing, v. 4, p. 8-18, January 2016. ISSN: 23519886.

RANDALL, R. B. **VIBRATION-BASED CONDITION MONITORING: Industrial, Aerospace and Automotive Applications**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011.