



Instituto Politécnico, Nova Friburgo  
August 30<sup>th</sup> - September 3<sup>rd</sup>, 2004

Paper CRE04 - PM06

## Dinâmica de Rotores com Mancais Magnéticos Ativos

Paulo Henrique Fulanete Guiráo<sup>1</sup> e Luiz de Paula do Nascimento<sup>2</sup>

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS, Universidade Estadual Paulista, UNESP  
CP 31, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil

<sup>1</sup>phfguirao@aluno.feis.unesp.br, <sup>2</sup>depaula@dem.feis.unesp.br

Os mancais magnéticos apresentam uma nova concepção na tecnologia de mancais. Eles são dispositivos eletromagnéticos projetados para manter um eixo suspenso dentro do mancal sem que haja contato entre ambos [1]. Os mancais magnéticos podem suportar tanto cargas radiais quanto axiais utilizando apenas forças magnéticas para a levitação do eixo, diferenciando-se dos mancais fluidodinâmicos ou dos mancais de rolamento que são baseados em forças mecânicas para a sustentação do eixo.

Os mancais magnéticos apresentam várias vantagens sobre os mancais convencionais para uma variedade de aplicações práticas. As vantagens principais dos mancais magnéticos são a baixa perda de carga ou baixo consumo de potência e a longa vida, tendo em vista que não há contato entre o rotor e o estator. Devido a essa ausência de contato, não há desgaste das peças, enquanto que nos mancais fluidodinâmicos ocorrem elevadas perdas por fricção devido ao efeito de cisalhamento do óleo. As perdas dos mancais magnéticos ficam reduzidas a alguma resistência do ar entre o rotor e o estator e a correntes marginais (*eddy currents*) ou histerese. Também por serem limpos, ou seja, livres de óleo ou graxa e sem ruídos, os mancais magnéticos são convenientes para aplicações de bioengenharia (bombas cardíacas e projetos de corações artificiais), indústrias farmacêuticas e alimentícias. Outra vantagem importante é que eles podem operar em velocidades mais elevadas que os mancais convencionais de rolamento ou fluidodinâmicos com relativamente baixa perda mecânica. As altas velocidades que estes mancais possibilitam são devidas à ausência de contato, que não proporciona o aquecimento deste sistema. Também podem operar em ambientes onde as condições seriam adversas para outros tipos de mancais, como em altíssimas ou em baixíssimas temperaturas que poderiam modificar consideravelmente as características do óleo de lubrificação dos mancais de rolamento ou fluidodinâmicos. Outro grande benefício da tecnologia dos mancais magnéticos ativos é que eles têm a capacidade de operar como atuadores em sistema de controle ativo de vibrações, uma vez que possuem a capacidade de controlar a correta posição do eixo dentro do mancal [2].

Neste trabalho procedeu-se a breve apresentação da teoria básica de funcionamento dos mancais magnéticos ativos tomando-se como base princípios eletromagnéticos fundamentais, procurando demonstrar a expressão do ganho de rigidez de corrente que relaciona a variação da força do mancal magnético em função da corrente elétrica de controle, e a expressão do ganho de rigidez de posição que relaciona a variação da força do mancal magnético em função da posição do eixo. Esses ganhos são obtidos em função das características construtivas dos mancais.

Para um mancal magnético funcionar é necessário que ele tenha um circuito de controle ativo para manter a estabilidade do sistema eixo-mancal, uma vez que o eixo estará sempre sujeito às forças externas que atuarão de forma a desestabilizar o conjunto. Assim, estabeleceu-se esse circuito eletrônico de controle constituído de sensores (adjacentes aos mancais), filtro passa-baixa, controlador PID e amplificadores de potência. Para cada um desses equipamentos do circuito

estabeleceu-se uma função de transferência clássica, e a função de transferência completa do circuito de controle é dada pela multiplicação das funções de transferências dos diversos equipamentos do circuito. Com a finalidade de obter as características dinâmicas dos mancais magnéticos, desenvolveu-se um modelo matemático para o mancal magnético, o qual permitiu obter as expressões para o cálculo da rigidez e do amortecimento equivalentes dos mancais a partir de suas características e da função de transferência global do circuito de controle. Sendo a função de transferência global do circuito eletrônico dependente da frequência, assim também serão a rigidez e o amortecimento equivalentes do mancal magnético. A partir do modelo matemático e de uma rotina computacional, utilizando o “*software MATLAB*”, fez-se o levantamento das curvas de rigidez e de amortecimento equivalentes do mancal em função da frequência e em função dos diversos parâmetros de controle.

Uma vez obtidas as características de rigidez e amortecimento dos mancais magnéticos, analisou-se como a variação dos parâmetros do sistema de controle ativo “*feedback*”, principalmente os parâmetros do controlador PID, interfere na dinâmica dos rotores. Isso foi feito a partir de simulações com modelos matemáticos de sistemas rotativos apoiados por mancais magnéticos, utilizando o método da matriz impedância [3]. A rigidez e o amortecimento equivalentes vão caracterizar a dinâmica dos mancais magnéticos ativos. Características tão importantes como estas, onde o movimento oscilatório de qualquer sistema rotor-mancal é definido por suas quantidades presentes, proporcionam aos mancais magnéticos a habilidade de mudar a dinâmica dos rotores dentro de limites de melhores estabilidades dinâmicas, variando convenientemente os parâmetros do circuito de controle. A análise dinâmica destes sistemas rotativos foram realizadas em termos de curvas de frequências naturais e modos de vibração, através de rotinas computacionais implementadas em ambiente “*MATLAB*”.

As frequências naturais e modos de vibrar obtidos são importantes e permitem avaliar o comportamento dinâmico de um sistema rotor-mancal magnético, possibilitando saber as faixas de frequência que são seguras para operação, além dos pontos do rotor que terão os maiores deslocamentos relativos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Kasarda, M. E. F., 2000, “An Overview of Active Magnetic Bearing Technology and Applications”, *The Shock and Vibration Digest*, Vol. 32, N.2, pp. 91-99.
- [2] Guiráo, P. H. F. e Nascimento, L. P., 2003, “Mancais Magnéticos Ativos”, X-CREEM Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, Santos – SP.
- [3] Guiráo, P. H. F. e Nascimento, L. P., 2004, “Influência dos Parâmetros do Circuito de Controle na Dinâmica de Rotores que Utilizam Mancais Magnéticos Ativos”, 3º DINCON – Congresso Temático de Dinâmica e Controle da SBMAC, Ilha Solteira – SP.