

## RIGIDEZ E AMORTECIMENTO DE MANCAIS MAGNÉTICOS ATIVOS

**Guilherme Jordani Zaia**

**Luiz de Paula do Nascimento**

UNESP, Universidade Estadual Paulista, Curso de Engenharia Mecânica.  
Campus Ilha Solteira - Centro - CEP 15385-000 – Ilha Solteira – São Paulo  
E-mail para correspondência: [guilhermezaia12@hotmail.com](mailto:guilhermezaia12@hotmail.com)

### Introdução

Mancais magnéticos ativos (MMAs) são dispositivos eletromagnéticos projetados para manter um eixo em suspensão dentro do mancal sem que haja nenhum contato entre ambos. Os mancais magnéticos podem suportar tanto cargas radiais quanto cargas axiais utilizando-se apenas forças magnéticas para a levitação do eixo. Suas aplicações comerciais são diversas incluindo turbomáquinas e bombas turbomoleculares de grandes velocidades de rotação. Em pesquisas, encontram-se, por exemplo, estudos da sua utilização em corações artificiais e motores a jato para aeronaves, Kasarda (2000).

Para manter a estabilidade do sistema rotor-mancal magnético é necessário um sistema de controle ativo, sendo o controlador PID o mais utilizado. As características construtivas dos mancais e os parâmetros dos equipamentos do circuito de controle exercem total influência na rigidez e no amortecimento dos mancais, Guirao e Nascimento (2008). A determinação destas características dos mancais é muito importante tendo em vista que elas determinam as características dinâmicas do conjunto mancal-rotor quando se analisa a dinâmica do rotor suportado por esse tipo de mancal.

### Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal determinar a rigidez e o amortecimento dos mancais magnéticos que suportam um rotor experimental do Laboratório de Controle e Materiais Inteligentes do Departamento de Engenharia Mecânica, UNESP, Ilha Solteira. Essas características dos mancais são dadas em função da frequência de excitação do sistema e foram determinadas por um programa implementado no ambiente MatLab.

### Metodologia

Para obter a rigidez e o amortecimento dos mancais magnéticos é necessário primeiramente conhecer a função de transferência global do circuito de controle, ou seja, a função que estabelece a relação entre o deslocamento do rotor e a corrente elétrica necessária para o controle. Também, sabe-se que a função de transferência global é composta pelas funções de transferência dos diversos componentes do circuito de controle, a qual pode ser expressa, em termos da variável de Laplace, pela equação, Guirao, *et al.*, (2010),

$$G(s) = SS(s)LP(s)PID(s)AMP(s) \quad (1)$$

onde,  $SS(s)$ ,  $LP(s)$ ,  $PID(s)$  e  $AMP(s)$  são as funções de transferência do sensor de posição, do filtro passa-baixa, do filtro PID e do amplificador de potência, respectivamente.

A função de transferência global, Eq. (1), pode ser convenientemente modificada substituindo-se a variável de Laplace  $s$  pela frequência complexa  $i\omega$  para chegar à seguinte forma,

$$G(\omega) = a_G(\omega) + ib_G(\omega) \quad (2)$$

Um modelo matemático também é estabelecido para o mancal magnético, conforme mostra a Fig. 1, de forma que para um eixo de controle a equação de movimento vibratório pode ser escrito por,

$$M_r \ddot{x} + F_2 - F_1 = M_r \ddot{x} + K_x x + K_i i_p = F_i \quad (3)$$

onde  $M_r$  é a massa modal do rotor na posição do mancal,  $F_1$  e  $F_2$  são as forças de atração magnética,  $K_x$  e  $K_i$  são a rigidez de posição e rigidez de corrente,  $F_i$  é a força externa aplicada e  $i_p$  é a corrente de controle. A rigidez de posição e a rigidez de corrente podem ser calculadas em função das características construtivas e geométricas do mancal.

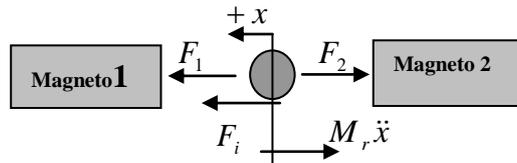


Figura 1- Modelo do mancal magnético de eixo de controle

Substituindo na Eq. (3) a corrente de controle, a qual é dada pela função de transferência global, Eq. (2), multiplicada pelo deslocamento do rotor, e considerando que a força externa seja harmônica, então a rigidez e o amortecimento equivalentes do mancal podem ser calculados pelas equações,

$$K_{eq} = K_x + K_i a_G \quad (4)$$

$$C_{eq} = \frac{K_i b_G}{\omega} \quad (5)$$

## Resultados

Introduzindo os parâmetros de componentes do circuito de controle (ganhos do controlador PID, frequências de corte e razão de amortecimento do filtro passa-baixa e do amplificador de potência) no programa implementado, obtêm-se os resultados da mostrados na Fig. 2.

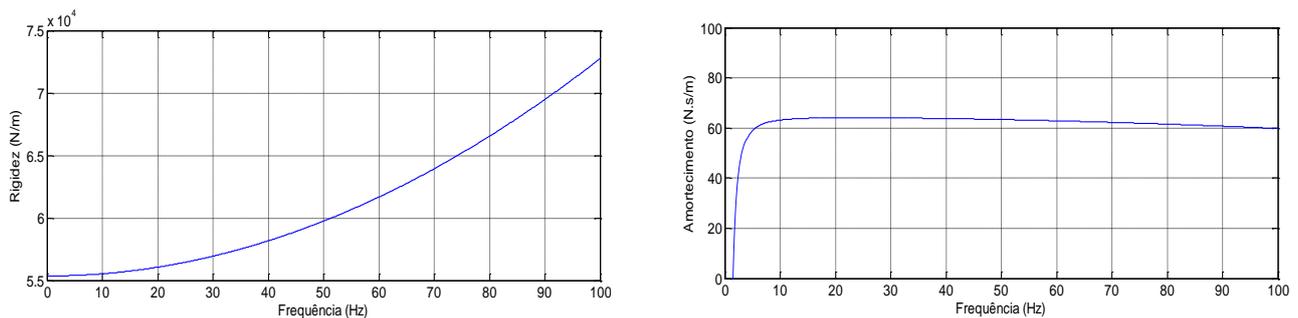


Figura 2 – Rigidez e amortecimento equivalentes do mancal magnético.

## Conclusões

O procedimento adotado permitiu calcular as características dinâmicas dos mancais magnéticos em função da frequência. Para frequências muito baixas, o modelo não produziu resultados adequados para o amortecimento. Na prática, pode-se adotar o valor da rigidez como a média na faixa de frequência. O valor do amortecimento pode ser tomado assintoticamente na faixa acima de 10 Hz.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o *INCT – Instituto Nacional de Ciências Tecnológicas* pelo suporte necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

## Referências Bibliográficas

- Guirao, V. S., Nascimento, L. P., “Aplicações e Características Dinâmicas dos Mancais Magnéticos Ativos”, V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM (em CD-ROM), Salvador, BA, 2008.
- Guirao, V.S., Nascimento, L. P., Lopes Jr., V., “Controle de Vibrações em Rotores Utilizando Mancais Magnéticos Ativos”, VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM (em CD-ROM), Campina Grande, PA, 2010.
- Kasarda, M. E. F., “An Overview of Active Magnetic Bearing Technology and Applications”, The Shock and Vibration Digest, Vol. 32, N. 2, pp. 91-99, 2000.