

Medição de posição de rotor em mancal magnético com controle uniaxial para um dispositivo de assistência ventricular

Pedro Antunes, Laboratório de Sistemas Mecatrônicos, Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, EPUSP, e-mail: antunes.pedro@yahoo.com.br

Eduardo Bock, Divisão de Pesquisa, Centro Técnico de Experimentos – CTE, IDPC

Rogério Yamamoto, Laboratório de Sistemas Mecatrônicos, Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, EPUSP

Vitor Finotto, Laboratório de Sistemas Mecatrônicos, Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, EPUSP

Isaias Silva, Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de São Paulo, UNIFESP

Aron Andrade, Divisão de Pesquisa, Centro Técnico de Experimentos – CTE, IDPC

Oswaldo Horikawa, Laboratório de Sistemas Mecatrônicos, Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, EPUSP, e-mail: ohoricaw@usp.br

Introdução

Um Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV) está em desenvolvimento no Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia em conjunto com a Escola Politécnica de Universidade de São Paulo. Um dos objetivos do projeto é suspender o rotor do DAV por um mancal magnético, ou seja, pela ação de forças magnéticas. Isto visa minimizar a hemólise, além de proporcionar maior vida útil ao DAV.

Neste projeto, será utilizada uma adaptação do mancal magnético desenvolvido por **Silva e Horikawa** (2000), o qual requer controle num único grau de liberdade do rotor, proporcionando simplicidade no sistema de controle, o que contribui para elevar a sua confiabilidade. Este mancal consiste em instalar em cada extremidade do rotor, um par, ímã e eletroímã, sendo o ímã é fixo ao rotor e o eletroímã à carcaça. Os ímãs, através da sua força de atração, retêm o rotor no centro, permitindo somente que o mesmo gire ou que se desloque axialmente. Na direção axial, é realizado um controle ativo, medindo-se constantemente a posição axial do rotor e, com base nesta medição, corrigindo a posição do rotor através dos eletroímãs. Um dos desafios desta adaptação consiste em identificar alternativas para o sensor indutivo que é utilizado no mancal proposto por **Silva e Horikawa** (2000) para a medição da posição do rotor. Este sensor impõe limitações no projeto do mancal: o sensor possui dimensões consideráveis limitando a miniaturização do DAV. Além disto, o sensor impõe limites na geometria dos ímãs permanentes ou dos eletroímãs.

Metodologia

Para identificar-se alternativas para o sensor indutivo estudou-se as diversas estratégias conhecidas de medição da posição do rotor. Além do uso do sensor indutivo, duas são as formas mais difundidas para esta medição: a) técnicas *sensorless* e b) uso de sensor hall. A técnica escolhida neste trabalho é o uso do sensor hall. A utilização do sensor hall no controle de mancais magnéticos, é conhecida e apresentada, por exemplo,

por **Lilienkamp**, (2004) e **Boehm**, (1993) existindo inclusive aplicações comerciais como em **Magnetic Moments LLC**, (2004). O uso do sensor hall em contraponto com a técnica *sensorless* possui vantagens como: evitar os erros intrínsecos a não medição da posição real do rotor, técnica utilizada em mancais *sensorless*, e facilitar o projeto do algoritmo de controle.

Com o objetivo de estudar a possibilidade da utilização do sensor hall, foram realizados alguns ensaios para determinar: a) resposta do sensor a deslocamento radial de um ímã, b) resposta à movimentação axial de um ímã, c) tensão máxima da saída do sensor d) sinal de saída do sensor em relação ao pólo de um ímã permanente. Contudo, resultados positivos somente nestes aspectos não são suficientes. É previsto que no mancal magnético, o sensor seja colado ao núcleo do eletroímã que se opõe ao ímã. Nesta situação, a saída do sensor hall altera não somente em decorrência da movimentação do ímã preso ao rotor, mas também em decorrência do campo gerado pelos eletroímãs. Como uma malha de controle é fechada para a estabilização do rotor, o fato do sensor detectar variações de campo do eletroímã (que exerce força sobre o rotor) tornará o sistema de controle instável. Neste trabalho, adota-se como solução, o uso de dois sensores, um em cada pólo oposto do eletroímã. Para uma mesma corrente enviada ao eletroímã, os dois sensores geram saídas simétricas. Contudo, um deslocamento do ímã, induz saída somente no sensor mais próximo ao ímã. Ou seja, basta realizar uma amplificação diferencial com a saída dos dois sensores. De modo a constatar a viabilidade desta solução realiza-se outro experimento, obtendo-se a curva característica de resposta de dois sensores em lados opostos de um eletroímã. Os resultados obtidos com essas medições estão expostos a seguir.

Resultados

Para verificar possibilidade de uso de sensores hall a medição da posição axial do rotor de um mancal

magnético foram realizados alguns testes. Os testes, assim como os resultados são expostos a seguir.

a) Resposta à movimentação axial de um ímã

Já neste ensaio, o ímã é mantido concêntrico ao sensor. Nestas condições, o ímã é afastado do sensor em intervalos de 2mm, e a tensão de saída do sensor, medida. Isto resulta na curva de resposta do **Gráfico 1**.

b) Resposta do sensor à movimentação radial de um ímã

Mantendo-se uma separação constante entre o ímã e o sensor, o ímã é deslocado radialmente com relação ao sensor em intervalos de 1mm e a tensão de saída do sensor, medida. Isto resulta na curva de resposta do **Gráfico 2**.

c) Tensão máxima de saída do sensor

A tensão máxima da saída do sensor foi medida posicionando-se um ímã permanente sobre o sensor. Tal tensão foi de aproximadamente: 1,83V.

d) Sinal de saída do sensor em relação ao pólo de um ímã

A saída do sensor é medida colocando-o sobre o pólo norte do ímã. Em seguida, colocando-se sobre o pólo sul. As tensões obtidas foram respectivamente de 1,83V e -1,83V.

e) Curva característica de resposta de dois sensores em lados opostos de um eletroímã

Dois sensores foram colados aos pólos de um eletroímã, sendo um em cada pólo. Nestas condições, o eletroímã é subitamente ligado. O **Gráfico 3** mostra a saída dos dois sensores. Verifica-se que as saídas de ambos os sensores são praticamente simétricas. A soma destes sinais resulta num resíduo cuja amplitude é inferior a 1,2mV.

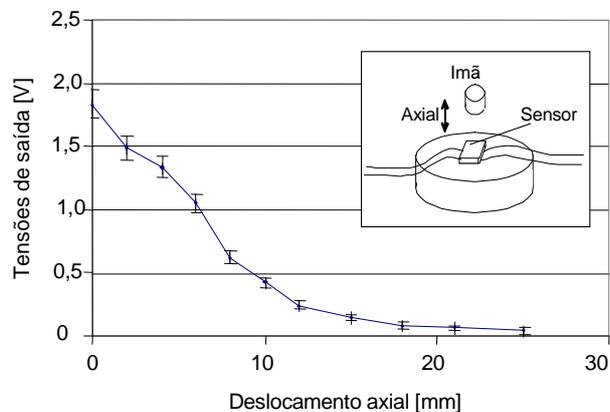


Gráfico 1 - Tensão de saída do sensor x posição axial

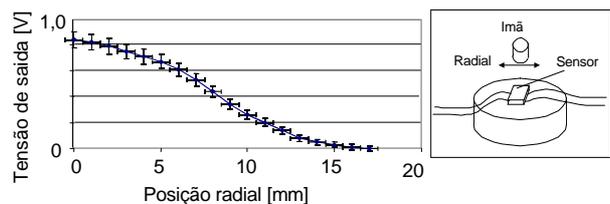


Gráfico 2 - Tensão de saída do sensor x posição radial

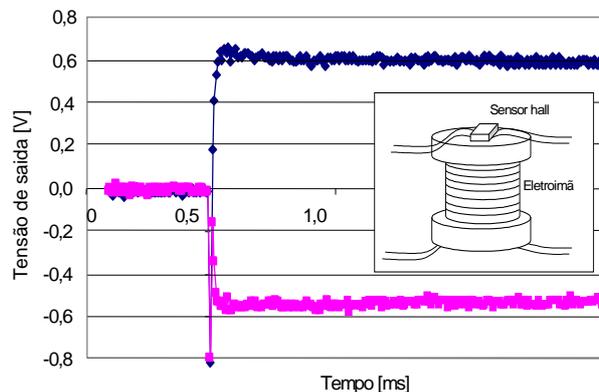


Gráfico 3 - Curva característica de resposta de dois sensores em lados opostos de um eletroímã

Conclusões

Este estudo demonstra a possibilidade de utilização do sensor hall para a medição do rotor de um mancal magnético. Verifica-se que um deslocamento axial do ímã induz uma variação na saída do sensor (**Gráfico 1**), permitindo assim a medição da posição do rotor. Verifica-se ainda que o sensor apresenta sensibilidade inferior para deslocamentos radiais do ímã (**Gráfico 2**), o que é interessante, pois pretende-se que o sensor seja sensível somente a deslocamentos axiais do rotor. A tensão máxima de saída do sensor e o sinal de saída do sensor em relação ao pólo magnético de um ímã também foram satisfatórias já que a tensão de saída máxima foi à mesma com polaridades inversas em cada pólo.

Verifica-se finalmente, através do **Gráfico 3**, possibilidades para se utilizar o sensor colado ao eletroímã do mancal, tornando-o insensível a variações de campo causado pelo eletroímã e detectando somente o deslocamento do ímã fixo ao rotor.

Os resultados deste trabalho evidenciam a possibilidade de uso do sensor hall como sensor de posição no mancal magnético a ser aplicado no DAV. O próximo passo do trabalho é fazer as alterações no projeto mecânico e eletrônico bem como no algoritmo de controle do DAV em questão já prevendo o uso do sensor hall.

Bibliografia

ANDRADE, A. et al. Characteristics of a Blood Pump Combining the Centrifugal and Axial Pumping Principles: The Spiral Pump. *Artif. Org.*, 20(6), 1996.

BOEHM, J. et al. Sensor for magnetic bearings, *IEEE Trans. on Mag.*, 29, 6, 2962-2964, 1993.

HART, M.R., FILIPENCO, G.V. e KUNG, T.V.R, A magnetically suspended and hydrostatically stabilized centrifugal blood pump, *Artif. Org.*, 20, 1996.

HORIKAWA O, et al., Magnetic Suspension of the Rotor of a Ventricular Assist Device of Mixed Flow Type, *Artif. Org.*, 32(4)

LILIENKAMP K. A. et al. Low-cost magnetic levitation project kits for teaching feedback system design Proceeding of the 2004 American Control Conf., Boston. July 2, 2004

Magnetic Moments LLC, MBC 500 Magnetic Bearing System Operating Instructions, Oct. 1, 2004

SILVA, I. e HORIKAWA, O. An 1-dof Controlled Attraction Type Magnetic Bearing, *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 36(4) 2000.

Mukhopadhyay S. C., Do we really need sensors? A Sensorless Magnetic Bearing Perspective, 1st Inter. Conf. on Sensing Tech., Nov. 21-23, 2005 Palmerston North, New Zealand