

PROBLEMA DE INCERTEZAS PARAMÉTRICAS EM SISTEMAS ROTATIVOS

Arinan Dourado Guerra Silva, FEMEC – UFU, arinan1987@gmail.com

Aldemir Ap Cavalini Jr., FEMEC – UFU aacjunior@mecanica.ufu.br

Valder Steffen Jr., FEMEC – UFU, vsteffen@mecanica.ufu.br

Resumo. Uma questão de suma importância no projeto de qualquer sistema mecânico rotativo tem a ver com incertezas paramétricas que devem ser consideradas pelo modelo. Para rotores suportados por mancais hidrodinâmicos, são parâmetros essenciais para avaliar o comportamento dinâmico do sistema a viscosidade do óleo e a excentricidade do mancal. Estes parâmetros podem ser considerados incertos devido principalmente à variação da temperatura e a irregularidades geométricas dos mancais. Com base nisso, este trabalho propõe-se a avaliar experimentalmente a influência destas incertezas na resposta dinâmica de um rotor flexível, contendo três discos rígidos e suportado por dois mancais de filme de fluido. As incertezas foram avaliadas através da variação da temperatura do óleo em mancais cônicos.

Palavras chave: Análise de Incerteza, Incertezas Paramétricas, Mancais Hidrodinâmicos.

1. INTRODUÇÃO

No contexto da dinâmica de rotores, nas últimas décadas um grande esforço foi realizado para o desenvolvimento de modelos determinísticos capazes de considerar a dinâmica dos rotores flexíveis. Uma evolução natural da abordagem determinística é a consideração das incertezas paramétricas de natureza física e geométrica, objetivando averiguar o grau de influência da variabilidade dos parâmetros nas previsões feitas a partir do modelo.

As incertezas paramétricas nos modelos têm sido consideradas em diversas áreas da dinâmica, desde a dinâmica de estruturas (Ghanem e Spanos, 1991), até na dinâmica de rotores. Rao e Qiu (2011) apresentaram uma metodologia via lógica *fuzzy* para a análise de um sistema rotor-mancal não linear. Foram avaliadas as incertezas na força de restauração não linear do mancal, nas propriedades inerciais dos discos concentrados, além de outros parâmetros dos mancais. A viabilidade da metodologia foi demonstrada através de resultados numéricos.

Didier et al. (2012) investigaram a quantificação dos efeitos das incertezas na variabilidade da respostas de sistemas rotativos. Para tanto, os autores propuseram um método baseado em elementos finitos estocásticos acoplado a expansão em Polinômios de Caos. A eficiência e robustez do método é demonstrada por diferentes simulações numéricas.

Koroishi et al. (2012) aplicaram o método dos elementos finitos estocásticos a um rotor flexível, com os parâmetros aleatórios modelados como campos aleatórios. As incertezas foram modeladas como campos estocásticos Gaussianos homogêneos e discretizados pelo método espectral utilizando a expansão em séries de Karhunen-Loève. As análises foram realizadas no domínio da frequência e no domínio do tempo, nos quais envelopes para as FRFs, para o diagrama de Campbell e para as órbitas do rotor foram gerados. Os resultados foram obtidos por meio de simulações numéricas.

Lara-Molina et al. (2014) analisaram a dinâmica de rotores flexíveis sob a ação de parâmetros incertos modelados como variáveis *fuzzy* aleatórias. A análise da incerteza englobou a modelagem dos parâmetros incertos e a simulação numérica da resposta dinâmica de um rotor flexível através de uma abordagem *fuzzy*. As simulações numéricas foram obtidas através do mapeamento dos parâmetros *fuzzy* no modelo determinístico do rotor por meio da otimização de cortes α . A metodologia foi ilustrada em termos de órbitas e FRFs sujeitas a parâmetros incertos.

Cavalini et al. (2014) avaliaram os efeitos das incertezas no comportamento dinâmico de um rotor flexível contendo dois discos rígidos e suportado por dois mancais de filme de fluido. Foram avaliadas as incertezas relacionadas à viscosidade do óleo e à folga radial dos mancais, incertezas estas que foram modeladas usando lógica *fuzzy*. As análises de deram no domínio do tempo, no qual envelopes para as órbitas foram gerados. O estudo numérico demonstrou a versatilidade e a conveniência da análise *fuzzy*.

Como pode ser observado nos trabalhos supracitados, a atual abordagem para o estudo do impacto das incertezas paramétricas na resposta dinâmica de sistemas rotativos têm sido restrita a simulações numéricas. No intuito de complementar a atual abordagem, o presente trabalho propõe-se a avaliar o efeito destas incertezas, porém experimentalmente. Para tanto as respostas no domínio do tempo e no domínio da frequência de um rotor flexível contendo três discos rígidos e suportado por dois mancais cônicos de filme de fluido perante variações na viscosidade do óleo foram obtidas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesta seção serão apresentadas brevemente as metodologias utilizadas na obtenção das respostas do sistema no domínio da frequência e no domínio do tempo.

2.1. Resposta no domínio da frequência

A fim de se obter a resposta harmônica do sistema, foi realizada a análise modal do sistema árvore-discos na condição livre-livre. As perturbações foram consideradas nas posições do primeiro mancal (mancal próximo ao motor) e nas posições centrais de cada disco. A resposta foi medida na posição do segundo mancal (mancal na extremidade externa) através de um acelerômetro piezelétrico. Com base na relação entre a saída e a perturbação, as funções de resposta em frequência (FRFs) do sistema foram obtidas. A Figura (1) ilustra o arranjo experimental utilizado para a análise harmônica do sistema árvore-discos.

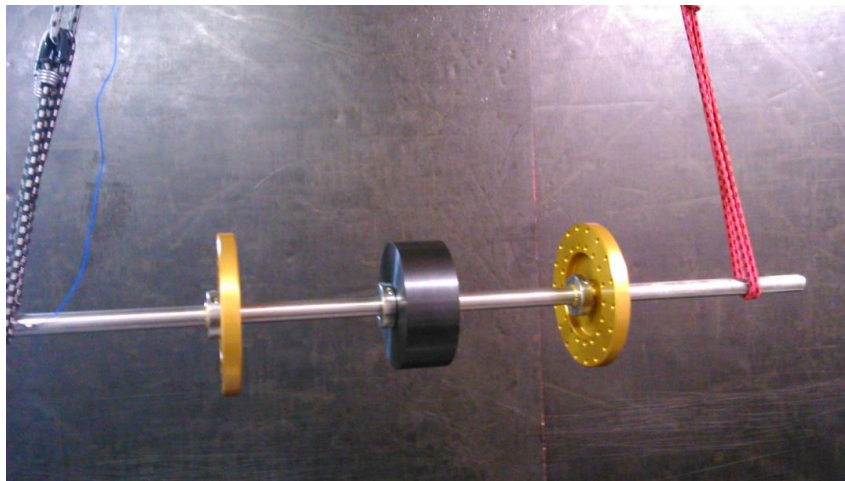


Figura 1. Esquema ilustrativo do procedimento experimental para a análise modal.

2.2. Resposta no domínio do tempo

Para se obter a resposta temporal do sistema é necessária a medição dos deslocamentos horizontal e vertical das posições de interesse do sistema (i.e., mancais e discos). Em um sistema balanceado e alinhado, essas medições são feitas usualmente através de sensores de proximidade. No entanto, no decorrer dos experimentos deste trabalho, verificou-se que a base do sistema oferecia uma excitação externa, comprometendo as medições. Além disso, a espessura da árvore não era a mais indicada para a leitura através deste tipo sensor. Sendo assim, para a obtenção dos deslocamentos horizontais e verticais dos mancais, utilizou-se um vibrômetro a laser por meio do esquema ilustrado pela Fig. (2).

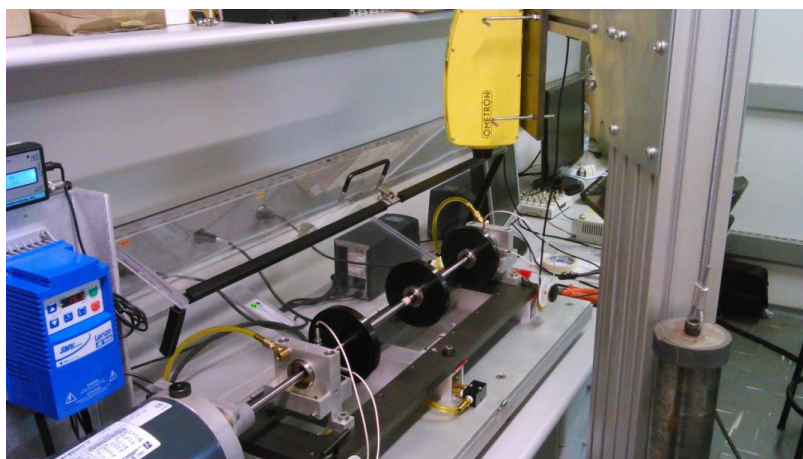


Figura 2. Esquema ilustrativo do procedimento experimental para a análise temporal.

3. RESULTADOS

De posse dos valores dos deslocamentos vertical e horizontal dos mancais, é possível construir o gráfico que ilustra as órbitas nas posições desejadas. Assim, as Figuras (3) e (4) ilustram as órbitas do rotor nas posições de ambos os mancais para a condição de 900 rpm, com o óleo à 23°C.

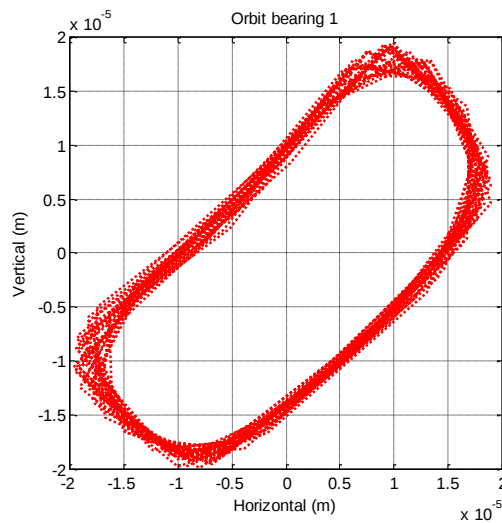


Figura 3. Órbita do mancal 1 na condição de 900 rpm e 23°C.

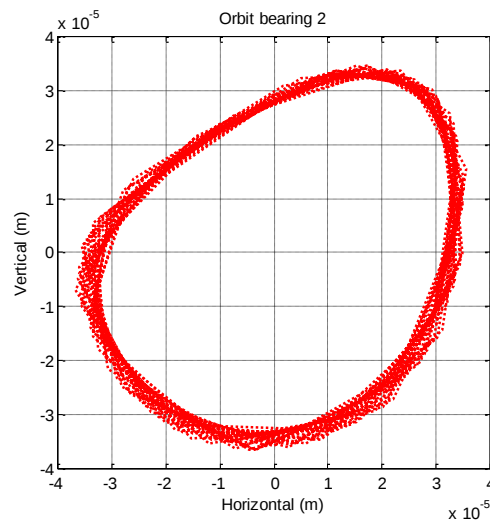


Figura 4. Órbita do mancal 2 na condição de 900 rpm e 23°C.

Pode-se notar que em ambos os mancais, mesmo a uma velocidade constante e a uma temperatura constante, a esperada órbita circular não foi obtida. No mancal 1, a órbita observada se deve provavelmente ao acoplamento árvore-rotor; já para o mancal 2 as incertezas associada às características do mancal (viscosidade do óleo e geometria cônica), são as prováveis causas da órbita obtida.

Mesmo em um sistema rotativo relativamente simples conforme o apresentado neste trabalho pode-se observar experimentalmente que as incertezas paramétricas inerentes do sistema fazem com que a análise determinística não seja a melhor para representar corretamente o comportamento dinâmico do sistema. Sendo assim, pode-se inferir que uma análise estocástica ou uma análise *fuzzy* seriam as abordagens mais apropriadas para este tipo de sistema.

4. REFERÊNCIAS

Cavalani Jr., A.A., Lara-Molina, F.A., Sales, T.P., Koroishi, E.H. and Steffen Jr, V., 2014, “Uncertainty Analysis of a Flexible Rotor Supported by Fluid Film Bearings”, VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Uberlândia, Brazil

Didier, J., Faverjon, B. and Sinou, J.J., 2011, “Analysing the Dynamic Response of a Rotor System Under Uncertain Parameters Polynomial Chaos Expansion”, *Journal of Vibration and Control*, Vol. 18, pp. 712-732.
Ghanem, R.G. and Spanos, P.D., 1991, “Stochastic Finite Elements – A Spectral Approach”, Springer Verlag.
Koroishi, E.H., Cavalini Jr, A.A., de Lima, A.M.G., and Steffen Jr, V., 2012, “Stochastics Modeling of Flexible Rotors”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 34, pp. 597-603.
Lara-Molina, F.A., Koroishi, E.H. and Steffen Jr, V., 2014, “Fuzzy Stochastic Dynamic Analysis of Flexible Rotors”, *Uncertainties 2014*, Rouen, France.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.