



UNICAMP

RESPOSTA COMPLEXA DE UM SISTEMA ROTOR-MANCAIS HIDRODINÂMICOS



Autores: Pedro Menezes Santana (bolsista), Katia Lucchesi Cavalca (orientadora), Eduardo Paiva Okabe (colaborador)

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Agência Financiadora: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

Palavras Chave: Dinâmica de Rotores – Mancais Hidrodinâmicos – Análise Modal Complexa

Introdução

A formulação de variáveis complexas na análise modal possibilita uma melhor análise da dinâmica de rotores, pois permite a separação entre os modos direto e retrógrado do rotor. Os modos retrógrados têm um efeito negativo sobre o rotor, pois tensões são geradas devido à vibração contrária à rotação do eixo. Por isso este fenômeno tem grande importância na análise dinâmica de uma máquina rotativa.

Neste trabalho, foi desenvolvido um programa para cálculo da resposta em frequência do sistema, para diversas configurações de eixo com mancais hidrodinâmicos, sob excitações unidirecionais no eixo, e por desbalanceamento de massa. Também serão analisadas, através das simulações, as influências dos diversos componentes na resposta complexa do rotor.

Metodologia

Um rotor de n graus de liberdade apresenta n equações de movimento. A formulação complexa é realizada, primeiramente, juntando cada par de equações em uma única, resultando em $n/2$ equações de movimento, como é mostrado a seguir:

$$\begin{aligned} & [primeira\ equação] + j[segunda\ equação] \\ & [terceira\ equação] + j[quarta\ equação] \\ & [quinta\ equação] + j[sexta\ equação] \\ & \dots \\ & [equação\ (n-1)] + j[equação\ (n)] \end{aligned}$$

Onde j é a unidade imaginária no plano complexo.

Os graus de liberdade de deslocamento do i 'ésimo elemento do rotor são denominados por y_i (horizontal) e z_i (vertical), e os graus de liberdade de rotação do elemento do rotor flexível são denominados por θ_i e ψ_i . As equações na forma complexa descritas acima são rearranjadas de forma a se obter termos na forma $(y_i + jz_i)$ e $(\theta_i + j\psi_i)$. Posteriormente, as seguintes substituições são feitas nas equações:

$$\begin{aligned} r_i &= y_i + jz_i & r_i &= r_i^F e^{j\Omega t} + r_i^B e^{-j\Omega t} \\ q_i &= \theta_i + j\psi_i & q_i &= q_i^F e^{j\Omega t} + q_i^B e^{-j\Omega t} \end{aligned}$$

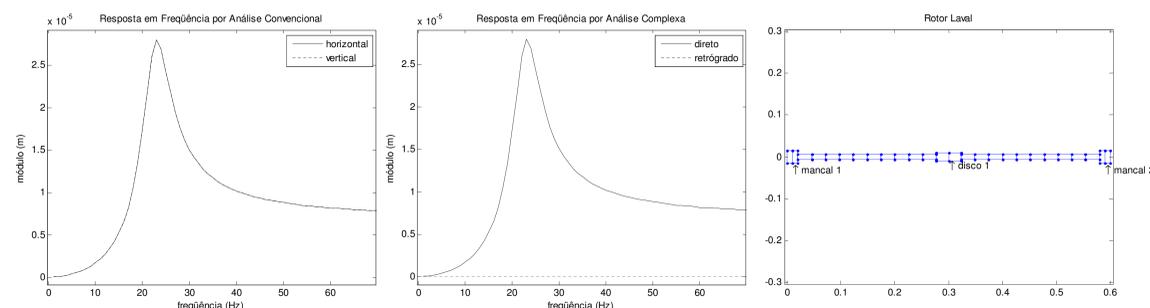
Onde o índice F indica que a direção de precessão é direta (em inglês, *forward*) e o índice B indica que a direção de precessão é retrógrada (em inglês, *backward*).

Em seguida, aplica-se a transformada de Fourier, ou simplesmente utiliza-se operadores diferenciais nas equações, onde o operador é igual a $j\Omega$ e Ω é a rotação do rotor. Assim, para cada rotação, obtém-se as respostas dos modos direto (r^F) e retrógrado (r^B).

Resultados e Discussões

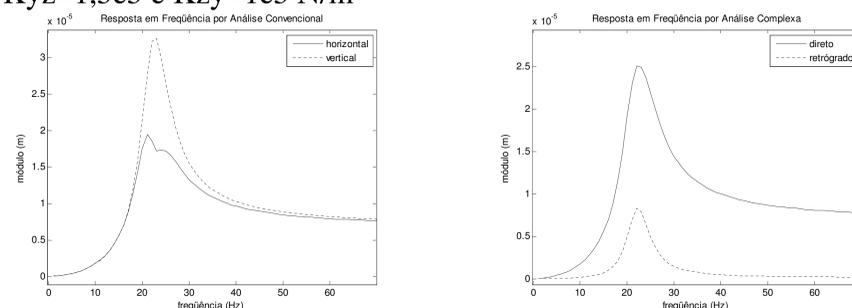
-Resposta ao desbalanceamento de um rotor laval flexível isotrópico:

Um rotor laval de 600mm de comprimento e 10mm de diâmetro foi discretizado em 20 elementos de viga, 2 de disco e 4 de mancal. A matriz de amortecimento C do elemento de viga foi considerado como função das matrizes de massa M e rigidez K : $C = \alpha M + \beta K$, onde $\alpha = 0$; $\beta = 0,002$. Os dados de rigidez diretos e cruzados dos mancais são: $K_{yy} = K_{zz} = 2,59 \times 10^5$; $K_{yz} = K_{zy} = 0$. Os coeficientes de amortecimento são $C_{yy} = C_{zz} = 51,8$ e $C_{yz} = C_{zy} = 0$ Ns/m. O disco pesa 2,5 Kg com desbalanceamento de 0,0001 m e massa desbalanceada de 0,01 Kg. Os gráficos abaixo mostram a resposta do disco.



Resposta ao desbalanceamento de um rotor laval flexível anisotrópico:

Rotor com as mesmas condições anteriores, porém com coeficientes de rigidez cruzados $K_{yz}=1,5e5$ e $K_{zy}=1e5$ N/m



Conclusões

Este trabalho mostrou a diferença de abordagem entre a análise modal convencional e análise modal complexa. A análise modal convencional mostra a resposta nas direções horizontal e vertical. A análise modal complexa separa no domínio da frequência os modos de precessão direto e retrógrado. Essa abordagem é importante no estudo do comportamento dinâmico dos rotores, pois o modo retrógrado de precessão é responsável pela variação das tensões de tração e compressão quando o eixo flexiona devido ao desbalanceamento. Essas variações de tensão podem propagar uma microtrinca e resultar em falha por fadiga.

Foi mostrado também, através dos gráficos, a influência da anisotropia dos mancais no comportamento do rotor. Quando os mancais são isotrópicos, a trajetória do disco é circular, ou seja, a resposta horizontal é igual à vertical. Além disso, o modo de precessão retrógrada somente aparece com a anisotropia dos mancais. Quando os mancais são isotrópicos, a resposta retrógrada é nula.

Referências Bibliográficas

- [1] LEE, C. W., "A Complex Modal Testing Theory for Rotating Machinery", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 5, 1991, Pages 119-137
- [2] LEE, C. W., "Vibration Analysis of Rotors", Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993