

ANÁLISE MODAL APLICADA A MÁQUINAS ROTATIVAS

Palavras-Chave: Dinâmica de Rotores, Análise Modal, Identificação de Sistemas

Autores/as:

Henrique Aparecido Souza Costa | FEM-UNICAMP

Prof. Dr. Tiago Henrique Machado | FEM-UNICAMP

Introdução

O estudo sobre as características dinâmicas de sistemas rotativos vem sendo impulsionado pela necessidade de um aumento da produtividade das máquinas, assim como um aumento da sua vida útil. Neste contexto, a análise modal pode ser usada tanto para identificar o sistema como para monitorar suas características durante a operação da máquina. Assim, este trabalho busca realizar um estudo da teoria existente tanto a respeito de máquinas rotativas como de análise modal e, posteriormente desenvolver um modelo numérico para o cálculo da resposta dinâmica de um sistema rotativo, onde serão empregadas técnicas de análise modal para caracterizar este sistema.

Objetivos do trabalho:

1. Levantamento bibliográfico: esta atividade é de extrema importância na formação do engenheiro, e, neste trabalho consistirá na leitura de diferentes livros técnicos que abordam tanto dinâmica de rotores como análise modal;
2. Estudo de softwares voltados para programação, em especial, o software MATLAB®, que será utilizada para a elaboração dos algoritmos propostos;
3. Elaboração do algoritmo para os cálculos da análise dinâmica de um sistema rotativo;
4. Emprego das principais técnicas de análise modal em diversas configurações de rotores;
5. Elaboração do relatório final destacando os principais resultados obtidos.

Etapa 1

A primeira etapa da pesquisa foi a leitura de materiais bibliográficos indicados e disponibilizados pelo orientador, aos quais são livros técnicos da área que abordam a temática de rotores, vibrações e análise modal.

As duas primeiras leituras tiveram enfoque no Digrama de Campbell, as frequências críticas e o efeito giroscópico, a leitura complementar não foi muito aproveitada, já que os dois primeiros foram de melhor entendimento por parte do bolsista e posteriormente o orientador indicou mais uma fonte que será descrita posteriormente.

Etapa 2

Esta tarefa contou com o contato com o software para a programação de modelos numéricos para análise modal e de conceitos relacionados com sistemas dinâmicos e vibrações. Desta forma, o software selecionado foi o MATLAB®, ao qual possui uma linguagem que facilita operações matemáticas com uso de vetores, matrizes e solução de sistemas, sendo elementos bastante utilizados para os temas abordados na pesquisa.

- **Calcular utilizando o MATLAB as frequências naturais e os modos de vibrar do sistema**

Para esta etapa foi realizada o estudo e aplicação de equações analíticas de vibrações de sistemas mecânicos para a implementação numérica no MATLAB, e assim obter a função de resposta em frequência e parâmetros modais do sistema.

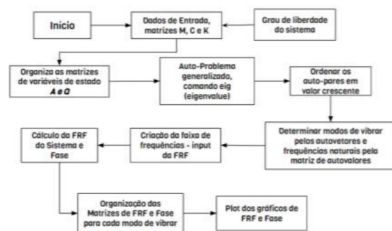


Figura 1: Fluxograma de implementação do modelo numérico da FRF

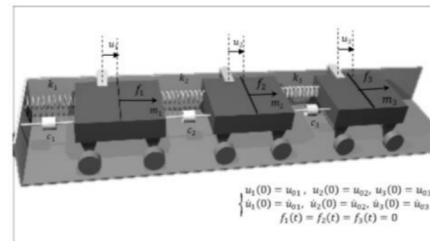


Figura 2: Representação do sistema massa-mola-amortecedor.

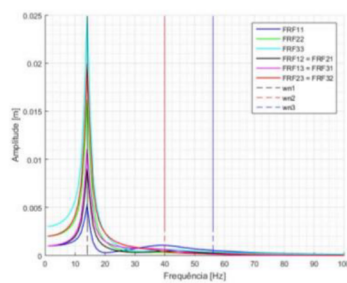


Figura 3: Amplitude da resposta em frequência

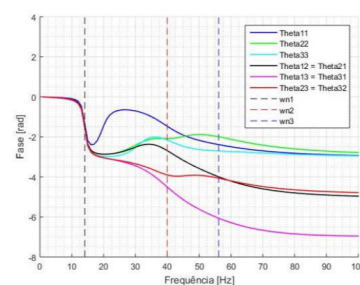


Figura 4: Ângulo de Fase da resposta em frequência

- **Calcular a resposta temporal do sistema usando a função ODE e uma condição inicial**

Foi utilizado o mesmo sistema aplicado para encontrar a FRF e aplicou-se a função ODE para calcular equações diferenciais e assim obter a resposta temporal



Figura 5: Fluxograma de implementação do modelo numérico da resposta temporal do sistema

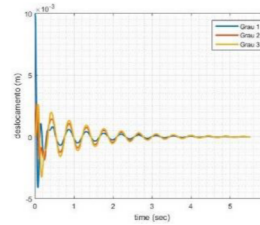


Figura 6: Deslocamento da resposta temporal do sistema

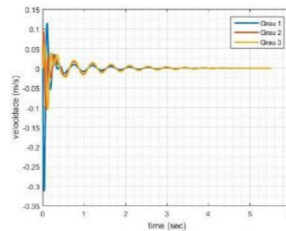


Figura 7: Velocidade da resposta temporal do sistema

Etapa 3

A terceira etapa do Projeto é relacionada com a união dos estudos teóricos da área de rotores com os conceitos implementados na área de rotores e análise modal. Com o cronograma a ser seguido e a fim de acelerar o progresso das atividades o orientador forneceu um algoritmo que aborda a Análise no domínio do tempo de um rotor Laval, e que será analisada a seguir com um exemplo para analisar a aplicação do código. As análises foram feitas para encontrar os deslocamentos com torque constante e velocidade angular constante, sendo que para essa foi encontrada a órbita descrita pelo centro geométrico e do centro de massa. Além disso, foi implementado o método da meia-potência para a razão de amortecimento através do gráfico da FRF, mas será mais detalhada na tarefa 4.

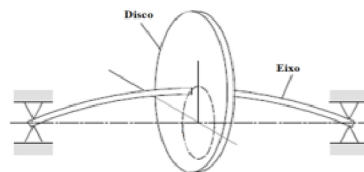


Figura 8: Rotor Laval.

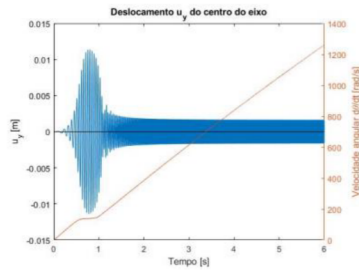


Figura 9: Deslocamento u_y do centro do eixo e velocidade angular.

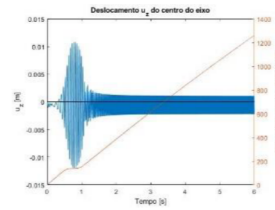


Figura 10: Deslocamento u_z do centro do eixo e velocidade angular.

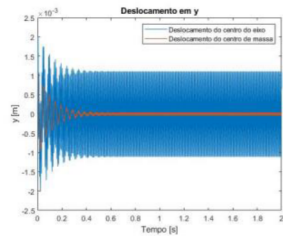


Figura 11: Deslocamento em Y do centro do eixo e do centro de massa

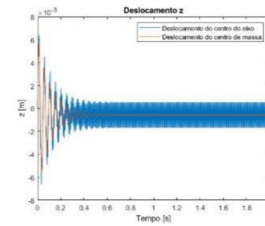


Figura 12: Deslocamento em Z do centro do eixo e do centro de massa.

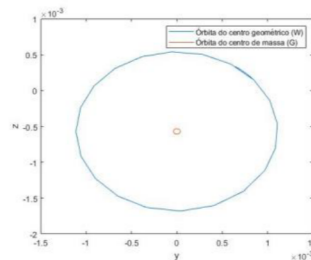


Figura 13: Órbitas do centro geométrico e do centro de massa

Etapa 4

A quarta etapa do projeto condiz com aplicações de técnicas de análise modal para diferentes configurações de rotores. Inicialmente será utilizado a mesma configuração do rotor da Etapa 3, com a aplicação de diferentes relações de Sinal-Ruído para a FRF do sistema e encontrando, como foi demonstrado na Etapa 3, a razão de amortecimento pelo método da meia-potência.

Relação sinal-ruído

Antes de ir para os resultados desta etapa, vale citar a relação de Sinal-Ruído, ao qual é a razão da potência do sinal com a potência do ruído.

O resultado é expresso em decibel (db) e quanto maior o valor da SNR, menor é a influência do ruído no sinal, da mesma forma que quanto menor o valor desta relação maior é a presença do ruído no sinal.

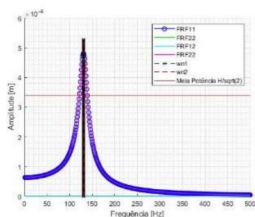


Figura 14: Função de resposta em frequência (a linha em vermelho demarca as amplitudes e as frequências de meia potência)

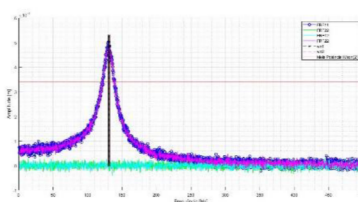


Figura 15: Função de resposta em frequência com baixo ruído (SNR = 100 db).

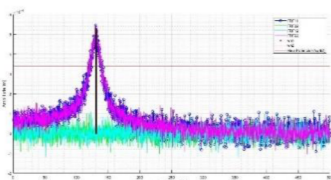


Figura 16: Função de resposta em frequência com médio ruído (SNR = 90 db).

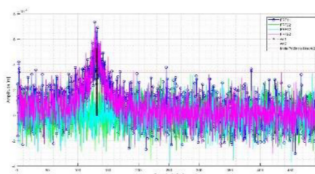


Figura 17: Função de resposta em frequência com alto ruído (SNR = 80 db)..

Método	Razão de amortecimento ζ
Analítico	0.0656
Meia potência (sem ruído)	0.0649
Meia potência (baixo ruído)	0.0638
Meia potência (médio ruído)	0.0591
Meia potência (alto ruído)	0.0229

Tabela 1: Comparação entre os métodos de obtenção da razão de amortecimento e reação de ruído.

Bibliografia

- [1] Lalanne, M. e Ferraris, G. Rotordynamics **Prediction** in Enginneerign, 2nd Edition, John. Wiley, 1997.
- [2] KRÄMER, Erwin. Rotor and foundation. In: **Dynamics of Rotors and Foundations**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1993.
- [3] Rotor. **Sistemas Girantes**. UFPR
- [4] Kurka, Paulo R. G. **Vibração de Sistemas Dinâmicos Análise e Síntese**. Elsevier Brasil, 2015
- [5] LEE, Chong-Won. Vibration analysis of rotors. Springer Science & Business Media, 1993.