



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia Mecânica

LABORATÓRIO DE VIBRAÇÕES E CONTROLE - PME3403 ANÁLISE MODAL (mini torre)

Prof. Roberto Spinola Barbosa

1. Introdução

A técnica da análise modal é utilizada para estudar o comportamento dinâmico de sistemas com vários graus de liberdade. O objetivo do exercício é aplicar esta técnica para estudar o movimento vibratório de um sistema mecânico com mais de um grau de liberdade. Adicionalmente propõe-se avaliar técnica de atenuar comportamento vibracional.

2. Metodologia

As atividades realizadas serão divididas em três partes: modelagem/simulação, medidas experimentais e absorvedor dinâmico. O exercício mostra como a transformação para coordenadas modais desacopla as equações diferenciais dinâmicas de sistemas lineares com amortecimento proporcional. Permite também determinar os modos e frequência naturais. O modelo matemático permite simular por soma modal os movimentos de vibração do sistema, para condições iniciais não nulas.

3. Exercício Experimental

Identifique os graus de liberdade da torre amostrada na Figura 1 e quantifique suas propriedades inerciais e elásticas. Obtenha os dados necessários para a elaboração do modelo da torre. Determine experimentalmente as frequências naturais da torre. Anote os valores para descrever o experimento no relatório. O experimento fornecerá subsídios para a validação do modelo matemático.

4. Exercício Computacional

Considere o sistema mostrado na Figura 1, que corresponde ao dispositivo utilizado no experimento. Aplicando os teoremas da mecânica, determine as equações diferenciais de movimento nas coordenadas físicas. Descreva o sistema na forma matricial (que é acoplado). Para desacoplar as equações é necessário resolver o problema de autovalor/autovetor. Desta forma obtém-se um sistema transformado de equações independentes expresso em coordenadas modais.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia Mecânica

Determine a solução do problema de vibração livre, expresso em coordenadas modais e nas coordenadas físicas, utilizando o programa *SciLab*. Note que o método de solução adotado pode ser estendido para um sistema de vários graus de liberdade (múltiplos corpos), sem perda de generalidade.

Pede-se:

- Identifique os graus de liberdade do sistema, suas propriedades inerciais; desenhe o diagrama de força sobre o corpo livre de cada corpo;
- Calcule a rigidez equivalente da lâmina. Comente o modelo de representação adotado para a lâmina;
- Escreva as equações diferenciais de movimento do sistema; comente as hipóteses simplificadoras adotadas;
- Determinar numericamente as frequências naturais do sistema (ω_{n1} e ω_{n2}) e as proporções dos modos de vibração;

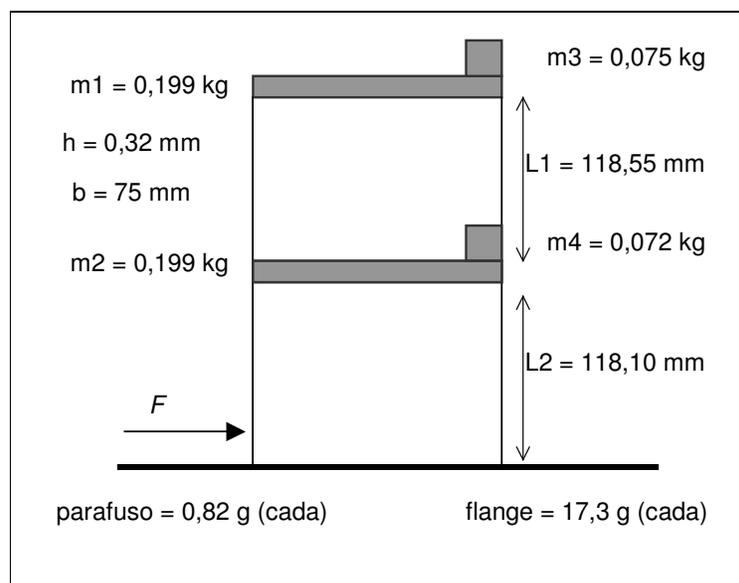


Figura 1 – Sistema Mecânico (torre)

- Instale o excitador eletro-magnético na lamina inferior e faça uma varredura de frequência de excitação identificando a ressonância.
- Descreva o experimento de identificação modal e relate os valores encontrados. Compare o resultado obtido numericamente com os valores de frequências identificados na medida



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia Mecânica

experimental. Correlacione as eventuais diferenças observadas com as hipóteses adotadas no modelo de representação do sistema real. Justifique as diferenças encontradas.

vii) Calcule o movimento livre do sistema utilizando a solução modal (ver Capítulo 4.4 do livro "*Engineering Vibration*", *Inman*) para as seguintes condições iniciais de posição (deslocamento lateral x_i de cada corpo) e velocidade (V_i de cada corpo):

- primeira condição inicial: $x_1 = 1$ (corpo superior); $x_2 = 0$; $v_1 = 0$; $v_2 = 0$;
- segunda condição inicial: $x_1 = 0$; $x_2 = 1$; $v_1 = 0$; $v_2 = 0$;
- terceira condição inicial (condição modal): utilize como condições iniciais os deslocamentos modais do segundo modo (movimento das massas em oposição de fase) e considere as velocidades iniciais nulas.

Faça gráfico temporal dos resultados da movimentação da torre. Analise os resultados.

viii) Utilizando a técnica de integração numérica, aplique no corpo intermediário uma força harmônica externa $F = F_0 * \sin(\omega t)$ de magnitude F_0 (10 N) com frequência de excitação ω variada (de 0 até $2 \omega_{n2}$, em 20 intervalos). Determine a amplitude máxima do movimento (x_{max}) para cada frequência. Inspeção a relação x_{max}/F_0 em função de ω (desenhe esta função). Interprete o resultado obtido.

ix) Projete um sistema absorvedor dinâmico a ser instalado no corpo superior e outro instalado no corpo do meio (ver Capítulo 7.13 do livro "*Vibration Analysis*", *Vierck*). Instale as massas absorvedoras fornecidas e ajuste seus parâmetros. Descreva o comportamento do sistema excitado em cada frequência natural, quando o absorvedor de vibração ajustado foi introduzido.

Faça o relatório descritivo com o modelo elaborado, métodos utilizados, equações obtidas, resultados numéricos e gráficos, análises dos resultados e justificativa para as divergências encontradas e conclusões/comentários. Inclua em anexo a listagem do programa elaborado e as referências bibliográficas utilizadas. O relatório deverá ser assinado por todos os membros da equipe e enviado para o sistema *Moodle*.

5. Texto para leitura:

Capítulo 4.4 do livro sob título: "*ENGINEERING VIBRATION*" do autor *Daniel J. Inman*, 2ª edição, correspondente a sistemas de mais de dois graus de liberdade e método de soma modal. Livro disponível na Biblioteca da Eng. Mecânica, localização 534.01 In6e2.

Capítulo 7.13 do livro sob título: "*VIBRATION ANALYSIS*", Autor *Robert K. Vierck*, segunda edição, que versa sobre absorvedores dinâmicos.

Livro disponível na Biblioteca da Eng. Mecânica, nº 534.01 V676v