

PME3403 - Laboratório de Vibrações e Controle

L5-C - Modos de Corpo Flexível da Placa Retangular

Autor: Prof. Dr. Walter Ponge-Ferreira

E-mail: ponge@usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica - PME

Av. Prof. Mello Moraes, 2231

São Paulo SP 05508-970 BRASIL

Tel.: 55 (0)11 3091-9677

Cel: 55 (0)11 97244-0900

22 de agosto de 2018

1 Problema

O objetivo da atividade é estudar a vibração livre de uma placa retangular na condição livre no espaço. Para isso será realizada a análise modal experimental da placa retangular sobre uma suspensão flexível.

2 Procedimento Experimental

A placa retangular deve ser montada na posição horizontal suspensa pelos vértices por quatro molas flexíveis. O atuador eletrodinâmico deve ser conectado à placa através da haste flexível e apoiado no solo. A vibração de resposta deve ser medida com um acelerômetro piezoeletrico fixado à placa através de massa plástica.

O sinal de excitação, gerado por um gerador de sinais e amplificado por um amplificador de potência, deve ser aplicado ao excitador eletrodinâmico. O sinal de resposta é medido por um acelerômetro piezoeletrico fixo à estrutura. Os sinais do gerador elétrico e do acelerômetro de resposta são observados em um osciloscópio digital.

Excitar a placa com vibração harmônica variando a frequência de excitação lentamente para localizar as ressonâncias da estrutura. As ressonâncias são localizadas observando-se a amplificação do sinal de resposta e sua rápida variação de fase.

Sintonizar a ressonância procurando a máxima intensidade da vibração. Fazer a leitura da frequência do sinal de excitação no osciloscópio. A frequência de ressonância é uma boa estimativa da frequência natural da estrutura.

Mantendo a sintonia na ressonância, pesquisar a resposta em vários pontos da placa para verificar a fase e amplitude do sinal. Localizar as linhas nodais nas regiões onde ocorre inversão de fase da vibração.

Remover o acelerômetro e distribuir de forma uniforme um pouco de areia sobre a superfície da placa. Fazer o ajuste fino da frequência de excitação de forma que os grãos de areia trepidem e se movimentem sobre a placa. Aguardar que a areia se acumule nas regiões de baixa intensidade de vibração. Dessa maneira, as curvas traçadas pela areia são uma indicação das linhas nodais desse modo de vibração.

Registrar frequência natural e forma do modo de vibração.

Repetir o procedimento para os demais modos de interesse.

3 Resultados Numéricos

Os valores exatos das seis primeiras frequências natural de uma placa retangular são apresentadas por Blevins (Blevins, Robert D. **Formulas for Natural Frequency and Mode Shape**. Krieger Publ. Co., Florida, 2001. p.253) adaptados dos resultados numéricos obtidos por Leissa.

As frequências naturais da placa ω_{ij} podem ser calculadas pela seguinte expressão:

Tabela 1: Frequências Naturais adimensionais λ_{ij} de uma placa livre no espaço

λ_{ij}^2						
a/b	Modo de Vibração					
	1	2	3	4	5	6
0,4	3,463 (13)	5,288 (22)	9,622 (14)	11,44 (23)	18,79 (15)	19,10 (24)
2/3	8,946 (22)	9,602 (13)	20,74 (23)	22,35 (31)	25,87 (14)	29,97 (32)
1,0	13,49 (22)	19,79 (13)	24,43 (31)	35,02 (32)	35,02 (23)	61,53 (41)
1,5	20,13 (22)	21,60 (31)	46,65 (32)	50,29 (13)	58,20 (41)	67,49 (23)
2,5	21,05 (31)	33,05 (22)	60,14 (41)	71,48 (32)	117,5 (51)	119,4 (42)

$$\omega_{ij} = \frac{\lambda_{ij}^2}{a^2} \sqrt{\frac{E t^3}{12\gamma (1 - \mu^2)}} \quad | \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad j = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

onde a é o comprimento da placa, b a largura, t a espessura, i o número de meias-ondas da forma do modo ao longo da direção horizontal, j o número de meias-ondas da forma do modo ao longo da direção vertical, E o módulo de elasticidade do material, μ o coeficiente de Poisson e $\gamma = \rho t$ a densidade por unidade de área.

Na tabela 1 são apresentadas as frequências naturais adimensionais λ_{ij} para placas retangulares com diversas aspectos de forma para condição livre no espaço.

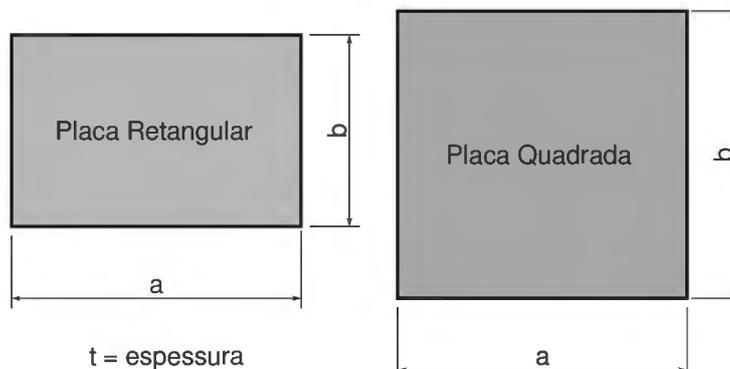


Figura 1: Dimensões das Placas

Tabela 2: Dimensões das Placas

Placa Retangular	Placa Quadrada
a = 390 mm	a = 400 mm
b = 260 mm	b = 400 mm
t = 5,0 mm	t = 7,4 mm

4 Resultados Experimentais

No laboratório dispomos de duas placas, a primeira retangular e a segunda quadrada (ver figura 1). As dimensões das placas são apresentadas na tabela 2. Ambas são fabricadas em aço, cujas propriedades nominais são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3: Propriedades do Aço

Módulo de Young	$E = 207 \text{ GPa}$
Módulo de Poisson	$\mu = 0,3$
Densidade	$\rho = 7860 \text{ kg/m}^3$

4.1 Atividade Prática

Na atividade de laboratório deve-se obter os seguintes resultados para placa estudada:

- a) Avaliar a máxima frequência natural dos modos de corpo rígido da placa na suspensão de ensaio.
- b) Calcular as três primeiras frequências naturais da placa retangular sobre a suspensão flexível pela expressão analítica fornecida.
- c) Com base nos resultados anteriores, verificar se a suspensão é adequada para simular a condição de placa livre no espaço.
- d) Identificar experimentalmente as oito primeiras frequências naturais da placa retangular, $fn_1, fn_2, fn_3, fn_4, fn_5, fn_6, fn_7$ e fn_8 , e suas respectivas formas dos modos de vibração através do procedimento descrito anteriormente.
- e) Registrar as frequências naturais e formas dos modos de vibração.
- f) Utilizando-se a solução analítica para vibração transversal de uma viga uniforme, calcular as três primeiras frequências naturais da viga de aço livre-livre de comprimento a e seção transversal com momento de inércia $J = \frac{1}{12} b t^3$. Utilize os valores numéricos da placa retangular.
- g) Relacionar os resultados analíticos para viga com os resultados experimentais da placa retangular. Quais modos de vibração da placa podem ser estimados com o modelo de viga?