



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - PME

PME 2341

VIBRAÇÕES

1º semestre de 2016

Prof. Dr. Francisco E. Baccaro **Nigro**
Prof. Dr. Walter **Ponge-Ferreira**

Prof. Dr. **Demetrio** C. Zachariadis
Prof. Dr. Roberto **Spinola** Barbosa

Objetivos

Aprendizado de noções básicas de vibrações em sistemas mecânicos. Capacitação em modelagem e análise de sistemas com um ou mais graus de liberdade sujeitos a excitações mecânicas. Familiarização com sistemas de supressão de vibração. Introdução à vibração de sistemas contínuos.

Programa Resumido

Balanceamento e velocidade crítica de rotores. Vibrações de sistemas com um grau de liberdade. Resposta a excitações harmônicas. Vibrações forçadas devido a excitações genéricas. Transmissão e isolamento de vibrações. Vibrações com dois graus de liberdade. Projeto de supressores de vibração. Sistemas com vários graus de liberdade. Vibrações em sistemas contínuos.

Cronograma de atividades

Aulas Expositivas: Terças (15:00h – 16:40h) e Quintas (9:20h – 11:00h) - Prof. Nigro / Sala A7

Aula	Data	Atividade	Tópico	Assunto	
1	3ª	16/02	T	Dinâmica	Revisão de dinâmica de sistemas de massas e corpo rígido. Teorema do Movimento do Baricentro. Teorema da Energia Cinética.
2	5ª	18/02	T, E		Teorema do Momento Angular. Tensor de Inércia. Direções principais e eixos centrais. Sólido livre no espaço. Sólido com eixo fixo. Momento giroscópico. Exercícios.
3	3ª	23/02	T	Dinâmica de Rotores	Princípio do balanceamento. Balanceamento de rotores rígidos.
4	5ª	25/02	T, E		Qualidade de balanceamento. Exercícios.
5	3ª	01/03	T		Velocidades críticas de rotores.
6	5ª	03/03	T		Balanceamento de rotores flexíveis.
7	3ª	08/03	T, E		Balanceamento em mancais rígidos. Exercícios.
8	5ª	10/03	T, E		Balanceamento em mancais flexíveis. Exercícios.
9	3ª	15/03	E		Exercícios de revisão.
P1	5ª	17/03	P		1ª PROVA.
10	3ª	29/03	T	Vibrações Livres	Vibrações em sistemas mecânicos. Vibrações livres com um grau de liberdade. Frequência natural.
11	5ª	31/03	T, E		Estabilidade de sistemas dinâmicos. Exercícios.
12	3ª	05/04	T		Vibrações livres amortecidas. Tipos de amortecimento. Amortecimento crítico. Vibração sub-amortecida. Frequência natural amortecida.
13	5ª	07/04	T, E		Decremento logarítmico. Exercícios. Sistemas com amortecimento de Coulomb e estrutural.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - PME

Aula	Data		Atividade	Tópico	Assunto
14	3ª	12/04	T	Vibrações Forçadas	Vibrações forçadas não amortecidas e com amortecimento viscoso. Ressonância.
15	5ª	14/04	T		Vibrações forçadas com amortecimento estrutural e de Coulomb.
16	3ª	19/04	T, E		Excitação harmônica por base oscilante e desbalanceamento. Exercícios.
17	3ª	30/04	T		Transmissibilidade e isolamento de vibrações.
18	3ª	26/04	T, E		Resposta a excitação qualquer. Integral de Duhamel. Exercícios.
19	5ª	28/04	T, E		Resposta a excitações periódicas. Série de Fourier. Exercícios de revisão.
20	3ª	03/05	E		Exercícios de Revisão
P2	5ª	05/05	P		2ª PROVA
21	3ª	10/05	T	Vibrações em Sistemas com Vários Graus de Liberdade	Vibrações livres em sistemas com dois graus de liberdade. Modos de vibração.
22	5ª	12/05	E		Exercícios
23	3ª	17/05	T		Vibrações livres amortecidas. Equações acopladas. Coordenadas modais.
24	5ª	19/05	E		Exercícios
25	3ª	24/05	T		Vibrações forçadas com dois graus de liberdade. Absorvedor dinâmico.
26	3ª	31/05	T		Velocidades críticas de rotores em mancais flexíveis.
27	5ª	02/06	E		Exercícios
28	3ª	07/06	T		Vibrações com vários graus de liberdade.
29	5ª	09/06	T		Análise modal de sistemas com vários graus de liberdade. Formulação matricial. Problema de autovalor.
30	3ª	14/06	E		Exercícios
31	5ª	16/06	T, E		Vibrações em sistemas contínuos. Corda vibrante. Exercícios
32	3ª	21/03	T, E		Vibração longitudinal e torcional em barras. Exercícios
P3	5ª	23/06	P		3ª PROVA
33	3ª	28/06	E		Exercícios
PSub	5ª	30/06	P	PROVA SUBSTITUTIVA	



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - PME

Aulas Práticas

Aula	Atividade	Assunto
1	Balanciamento Rotor Rígido	Balanciamento em dois planos em balanceadora de mancais flexíveis
2	Velocidade Crítica	Determinação da velocidade crítica e qualidade de funcionamento
3	Balanciamento Rotor Flexível	Balanciamento de rotor flexível em um plano com medição de fase
4	Resposta Dinâmica	Simulação - Resposta Livre e Forçada por Integração Numérica
5	Análise Espectral	Excitação Periódica - Séries de Fourier e Transformada de Fourier
6	Análise Modal	Análise Modal - Simulação por análise modal
7	Teste Modal	Análise Modal Experimental - Vibração em Sistemas Contínuos

Calendário das Aulas Práticas

Segunda e quarta - 13:10 – 16:40 h – Sala A1A

Aula #	Turma			
	Segunda-feira		Quinta-feira	
	22A	42B	25A	45B
1	15/02	22/02	18/02	25/02
2	29/02	07/03	03/03	10/03
3	14/03	28/03	17/03	31/03
4	04/04	11/04	07/04	14/04
5	02/05	25/04	28/04	05/05
6	16/05	09/05	12/05	19/05
7	30/05	06/06	02/06	09/06

Prof. Walter **Ponge**-Ferreira E-mail: ponge@usp.br Cel.: 97244-0900 Sala: ES-36

Prof. Roberto **Spinola** Barbosa E-mail: roberto.barbosa@poli.usp.br Tel.: (11)3191-9645 Sala: ES-11

Critério de Avaliação:

A média final é calculada pela seguinte expressão:

$$M = 0,75 \cdot (2 P_1 + 3 P_2 + 5 P_3) / 10 + 0,25 \cdot \Sigma E_i$$

onde P_i é nota das provas; E_i é a nota dos exercícios; P_s substitui a nota da prova na qual o aluno faltou.

Horário de Atendimento

Prof. Demetrio	Terça-feira	15:00 – 16:00 h	Sala ES17
Prof. Nigro	Quinta-feira	11:10 – 12:10 h	Sala ES36
Prof. Ponge	Segunda-feira	17:00 – 18:00 h	Sala ES36
Prof. Spinola	Terça-feira	11:00 – 12:00 h	Sala ES11

Página da Disciplina Web: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2341/>



Bibliografia:

Livros Texto

NIGRO, F. E. B. *Apostila de Revisão de Dinâmica de Sistemas*.

NIGRO, F. E. B. *Apostila de Balanceamento de Rotores*.

Listas de Exercícios.

Procedimentos de laboratório.

VIERCK, Robert K. *Vibration Analysis*. 2nd ed. Addison Wesley Longman, Inc., 1979.

DEN HARTOG, Jacob P. *Mechanical Vibrations*. 4st Ed., New York, Dover Publ., 1985 (1956). 436pp.

DEN HARTOG, Jacob P. *Mechanical Vibrations*. 3rd Ed., New York, Crastre Press., 2007 (1947). 492pp.

INMAN, Daniel J. *Engineering Vibration*. 3rd ed, Printice Hall, 2007, 688pp.

THOMSON, W. T. & DAHLEH, M. D. *Theory of Vibrations with Applications*. 5th ed., Printice Hall, New Jersey, 1997. 534pp.

RAO, SINGIRESU *Vibrações Mecânicas*. 4^a Ed., Person Educational do Brasil, 2009.424pp.

RAO, SINGIRESU S. *Vibrations Mechanical*. 4th ed., Printice Hall, New Jersey, 2003. 1104pp.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Vibrações Mecânicas e Choques: Terminologia*. (NBR 7497 Agosto/1982)

BLEVINS, Robert D. *Formulas for Natural Frequency and Mode Shape*. Florida, Krieger Publ. Co., 1979. 492 pp.

CREDE, Charles E. *Shock and Vibration Concepts in Engineering Design*. NJ, Prentice-Hall, Inc., 1965. 146pp.

CREDE, Charles E. *Choque e vibração nos problemas de engenharia*. Cidade: Livro Técnico, 1972

DE ALMEIDA, Marcio Tadeu *Vibrações Mecânicas para Engenheiros*. 2 ed., Edgard Blücher, 1990, 446p.

DE SILVA, Clarence W. *Vibration Fundamentals and Practice*. 2ed, CRC Press, 2007. 1036pp.

DEN HARTOG, Jacob P. *Vibrações nos Sistemas Mecânicos*. 4ed., São Paulo, Ed. Edgar Blücher, 1972. 366p.

HARRIS, Cyril M., Editor. *Shock & Vibration Handbook*. 4th ed., USA, McGraw Hill Book Co., 1996.

HARRIS, Cyril M.; PIERSOL, Allan G. *Harris' Shock & Vibration Handbook*. 5th ed., USA, McGraw Hill Professional, 2001. 1564pp.

INMETRO, Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, RJ, 1995.

INMETRO, Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, 3^oed., RJ, 2003.

ISO GUM Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Vibration and Shock – Vocabulary*. 59pp. (ISO 2041:1990 E/F)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Mechanical vibration -- Balance quality requirements of rigid rotors -- Part 1: Determination of permissible residual unbalance*. 15pp. (ISO 1940-1:1986 E)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Mechanical vibration -- Balance quality requirements of rigid rotors -- Part 2: Balance errors*. 16pp. (ISO 1940-2:1997 E)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Mechanical vibration – Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors*. 39pp. (ISO 11342:1998 E)

KELLY, S. Graham *Schaum's Outline of Theory and Problems of Mechanical Vibration*. McGraw Hill, 1996.

MEIROVITCH, Leonard. *Elements of Vibration Analysis*. 2nd ed., Singapore, McGraw Hill Book Co., 1986. 560 pp.

SETO, William W. *Vibrações Mecânicas: Resumo da Teoria e 225 Problemas Resolvidos*. RJ, Ed. McGraw Hill do Brasil Ltda, 1971. 203p. (Coleção Schaum)

SOTELO Jr.,J. & FRANÇA, L. N. F. *Introdução às Vibrações Mecânicas*. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2006.168 p.

THOMSON, William T. *Teoria da Vibração com Aplicações*. 1 ed., RJ, Ed. Interciências Ltda., 1978. 462 p.

TIMOSHENKO, S. *Vibration Problems in Engineering*. 2nd ed., NY, D. Van Nostrand Co., Inc., 1937. 470 pp.

Software

INRIA - Scilab www.scilab.org - Software aberto e livre.

Octave www.octave.org - Software aberto e livre (GNU).

MathWorks - Matlab www.mathworks.com/ - Softwares proprietários.

Modelica - <https://www.openmodelica.org/> - Linguagem e software livre de simulação.