



PME3403 LABORATÓRIO DE VIBRAÇÕES E CONTROLE

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – PME

PME3403

Laboratório de Vibrações e Controle

2º Semestre de 2018

Prof. Francisco E. B. Nigro

Prof. Roberto Spinola Barbosa

Prof. Walter Ponge-Ferreira

Objetivo

Exercitar a solução de problemas práticos de vibração e controle.

Programa

Exercitar a solução de problemas práticos de vibração e controle através de bancadas didáticas e aplicações práticas. São apresentados experimentos e aplicações sobre os seguintes temas: processamento de sinais mecânicos, análise de Fourier e diagnóstico de falhas em máquinas; balanceamento de rotores rígidos e flexíveis; análise da resposta ao desbalanceamento de rotores flexíveis; controle de sistemas dinâmicos de um e vários graus de liberdade; controle clássico e moderno; modelagem, simulação e identificação de sistemas dinâmicos; análise modal; análise e controle de sistemas mecânicos, elétricos, térmicos e fluidicos.

Atividades

1. Balanceamento de rotor rígido em balanceadora industrial
Balanceamento em dois planos em balanceadora de mancais flexíveis
Local: Oficina
2. Estimação de velocidade crítica e balanceamento de rotor flexível
Estimação de velocidade crítica de um rotor flexível De Laval, avaliação da qualidade de funcionamento e balanceamento do rotor flexível em um plano de correção com medição de fase
Local: Bancada 4
3. Análise Espectral de Sinais
Análise Numérica de sinais periódicos aplicando-se a Série de Fourier Discreta e a Transformada Rápida de Fourier - FFT
Local: Análise numérica em computador
4. Análise Modal de Sistemas Discretos
Modelagem e Identificação de um Sistema Discreto de dois Graus de Liberdade (Predinho) e Sintonização de uma Absorvedor Dinâmico
Local: Bancada 5
5. Análise Modal Experimental de Placa Retangular
Solução analítica da viga uniforme e identificação experimental de uma placa retangular uniforme
Local: Bancada 6



PME3403 LABORATÓRIO DE VIBRAÇÕES E CONTROLE

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – PME

6. Controle de Nível de Reservatório
Modelagem de um sistema de reservatório hidráulico, identificação de parâmetros e controle de nível de reservatório
Local: Laboratório Naval
7. Controle de Propulsor Hélice
Controle e estudo de estabilidade de um propulsor hélice
Local: Bancada 1

Tabela de Alocação de Atividades:

Sequência de atividades a serem realizadas pelos grupos em cada turma:

Tabela 1 – Alocação de Atividades por Grupo

Grupo	Aula						
	Extra ¹	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	6	7
2	1	3	4	5	6	7	2
3	1	4	5	6	7	2	3
4	1	5	6	7	2	3	4
5	1	6	7	2	3	4	5
6	1	7	2	3	4	5	6

¹ atividade extra aula – a ser desenvolvida fora de aula ao longo do semestre

Calendário das Aulas

Tabela 2 – Calendário das Aulas de Laboratório

PME3403	Segundas-feiras		Quintas-feiras	
2018	13 h 10 min – 16 h 40 min		13 h 10 min – 16 h 40 min	
Aula	Turma 22A	Turma 22B	Turma 52A	Turma 52B
1	6/8	13/8	16/8	9/8
2	20/8	27/8	30/8	23/8
3	10/9	17/9	20/9	13/9
4	24/9	1/10	4/10	27/9
5	8/10	15/10	18/10	11/10
6	22/10	29/10	1/11	25/10
7	5/11	12/11	22/11	8/11
Prova	26/11		29/11	
Substitutiva	3/12		6/12	



PME3403 LABORATÓRIO DE VIBRAÇÕES E CONTROLE

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – PME

Critério de Avaliação:

Média da disciplina:

$$M = 0,6R + 0,4P$$

Onde:

R – média das notas dos relatórios técnicos (em grupo);

P – nota de prova (individual).

Os alunos deverão organizar-se em grupos de 3 ou 4 alunos para realização das atividades práticas em aula e para elaboração dos relatórios técnicos. Os grupos deverão permanecer inalterados ao longo do semestre.

A presença nas aulas de laboratório é obrigatória. Alunos que não participarem das aulas de laboratório ficarão sem nota nos respectivos relatórios.

Todos os alunos deverão realizar a prova final na data prevista. Caso algum aluno não possa realizar a prova na data regular para sua turma, haverá uma prova substitutiva. Os alunos que precisarem realizar a prova substitutiva deverão fazer uma solicitação prévia por escrito e justificar a ausência na prova regular.

Sistema Moodle do Stoa da USP

A distribuição de material didático será realizada pelo sistema Moodle do Stoa da USP. A entrega de trabalhos e relatórios também será feita exclusivamente pelo Moodle. Nos trabalhos em grupo, basta que um aluno faça a entrega. Nas atividades individuais todos os alunos deverão fazer a entrega.

Os relatórios técnicos deverão ser entregues em um único arquivo em formato PDF na data prevista no sistema. Entregas em outros formatos e fora do prazo não serão aceitas.

Haverá atividades de preparação para as atividades de laboratório. Os alunos deverão estudar o material disponibilizado e preparar-se para realizar as atividades práticas. Antes das aulas os alunos deverão acessar o Moodle e realizar as atividades individualmente proposta.

Corpo Docente

Prof. Francisco Emilio Baccaro **Nigro**

E-mail: fnigro@sp.gov.br

Sala: 1A1

Atendimento: Quinta-feira, 11 h 30 min – 12 h 30 min



PME3403 LABORATÓRIO DE VIBRAÇÕES E CONTROLE

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – PME

Prof. Roberto **Spinola** Barbosa

E-mail: spinola@usp.br

Tel.: (11) 3191-9645

Sala: ES-11

Atendimento: Terça-feira, 11 h – 12 h

Prof. Walter **Ponge**-Ferreira

E-mail: ponge@usp.br

Cel.: (11) 97244-0900

Sala: ES-36

Atendimento: Quinta-feira, 11 h 30 min – 12 h 30 min

Bibliografia

Livros e Apostilas

Fleury, A.G. **Introdução à Teoria de Controle**. EPUSP, apostila.

Nigro, F. E. B. **Balanceamento de Rotores**. EPUSP, apostila.

Vierck, R. K. **Vibration Analysis**. Intex Educational Pub, 2e., 1974.

Blevins, R. D. **Formulas for Natural Frequency and Mode Shapes**. Krieger Pub Co., 2001.

Brigham, E. O. **The Fast Fourier Transform**. Prentice Hall, 1973.

Ogata, K. **Modern Control Engineering**. Pearson, 5e., 2009.

Den Hartog, J. P. **Mechanical Vibrations**. Dover Publ., 1985.

Brandt, A. **Noise and Vibration Analysis: Signal Analysis and Experimental Procedures**, Wiley, 2011.

Randall, R. B. **Frequency Analysis**. Bruel & Kjaer, 3ed., 1987.7

Kurka, P. R. G. **Vibrações de Sistemas Dinâmicos: Análise e Síntese**. Campus, Elsevier, 2015.

Sotelo Jr., J. & França, L. N. F. **Introdução às Vibrações Mecânicas**. Ed. Edgard Bluecher, 2006.

Hagedorn, P. & Hochlenert, D. **Technische Schwingungslehre**. Verlag Harri Deutsch, 2012.

McConnell, K. G & Varoto, P. S. **Vibration Testing: Theory and Practice**. Willey, 2e, 2008.

Irretier, H. **Grundlagen der Schwingungslehre**. 2.e, Vieweg Verlag. 2001.

Crocker, M. J. **Handbook of Noise and Vibration Control**. Wiley, 2007.



PME3403 LABORATÓRIO DE VIBRAÇÕES E CONTROLE

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – PME

Ewins, D. J. **Modal Testing, Theory, Practice, and Application**. 2e., Research Studies Pre, 2e, 2000.

Vance J. M., Zeidan, F. Y, Murphi, B. **Machinery Vibration and Rotordynamics**. Wiley, 2010.

Friswell, M. I., Penny, J. E. T., Garvey, S. D. **Dynamics of Rotating Machines**. Cambridge Univ. Press, 2010.

Chen, W. J. & Gunter, E. J. **Introduction to Dynamics of Rotor-Bearing Systems**. Trafford Publ., 2005.

Norfield, D. **Practical Balancing of Rotating Machinery**. Elsevier Science, 2006.

Gash, R., Nordmann, R., Pfuetzner, H. **Rotordynamik**. Springer Verlag, 2e., 2006.

Friedland, B. **Control System Design: An Introduction to State-Space Methods**. Dover Publications, 2005.

Franklin, G.; Powell, J.D.; Naeini, A.E. **Feedback Control of Dynamic Systems**, 7e, Pearson Higher Education, 2015.

Dazzo J.J. & Houpis, C. H. **Análise de Projeto de Sistemas de Controle Lineares**. 2e., Editora Guanabara, , 1984.

Nise, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 3a Edição, LTC, 2002.

Dorf, R. C & Bishop, R. H. **Sistemas de Controle Moderno**. Addison Wesley Longman, 8e., 2001.

Ogata, K. - **Engenharia de Controle Moderno**. Prentice-Hall, 4e., 2004.

Kuo, B.C. – **Automatic Control Systems**. 7e., Prentice Hall, 1995.

Normas Técnicas

ISO 2041:2009 Mechanical vibration, shock and condition monitoring -- Vocabulary
ISO 1925:2001 Mechanical vibration -- Balancing – Vocabulary

ISO 1940-1:2003 Mechanical vibration -- Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state -- Part 1: Specification and verification of balance tolerances

ISO 10816-1:1995 Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts -- Part 1: General guidelines

ISO 7919-1:1996 Mechanical vibration of non-reciprocating machines -- Measurements on rotating shafts and evaluation criteria -- Part 1: General guidelines

ISO 21940-12:2016 Mechanical vibration -- Rotor balancing -- Part 12: Procedures and tolerances for rotors with flexible behavior

ISO 7626-1:2011 Mechanical vibration and shock -- Experimental determination of mechanical mobility -- Part 1: Basic terms and definitions, and transducer specifications