



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA



FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

COURSE OUTLINE

CÓDIGO / COURSE CODE :		COMPONENTE CURRICULAR / COURSE TITLE : Dinâmica de Sistemas Elétricos I / <i>Dynamics of Electrical Systems I</i>		
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE / ORGANIZATION : Faculdade de Engenharia Elétrica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica <i>Faculty of Electrical Engineering - Postgraduate Program in Electrical Engineering</i>				SIGLA / ACRONYM : FEELT - PPGEELT
CH TOTAL TEÓRICA / LECTURE HOURS : 45 horas / hours	CH TOTAL PRÁTICA / LABORATORY HOURS : 0 horas / hours	CH TOTAL / TOTAL HOURS : 45 horas / hours	CRÉDITOS / CREDITS : 3	TIPO / TYPE: Optativa / Elective
Curso / Degree : Mestrado e Doutorado / <i>Master and PhD</i>		Requisito / Requirement : Sem requisitos / <i>No Requirements</i>		

1. OBJETIVOS / STUDY GOALS

Analisar o comportamento dinâmico dos elementos que compõem a parte geradora dos sistemas elétricos de potência, a saber: as máquinas síncronas, as máquinas primárias (turbinas etc.), os reguladores de tensão e os reguladores de velocidade.

Analyze the dynamic behavior of the elements that make up the generating part of electrical power systems, namely: synchronous machines, primary machines (turbines etc), voltage regulators and speed regulators.

2. EMENTA / COURSE CONTENTS

Aspectos gerais sobre a estabilidade de sistemas elétricos de potência. Transformação de variáveis e a equação de Park. Modelagem dinâmica de uma máquina síncrona. Sistemas de controle da excitação (AVR - Reguladores Automáticos de Tensão). Sistemas de controle da velocidade (Reguladores Automáticos de Velocidade). Sinais adicionais estabilizantes e PSS (Power System Stabilizer). Análise da dinâmica de um sistema elétrico de potência sob diferentes distúrbios.

General aspects about the stability of electrical power systems. Transformation of variables and Park's equation. Dynamic modeling of a synchronous machine. Excitation control systems (AVR - Automatic Voltage Regulators). Speed control systems (Automatic Speed Regulators). Additional stabilizing signals and PSS (Power System Stabilizer). Dynamic analysis of an electrical power system under different disturbances.

3. PROGRAMA / PROGRAM

1. Aspectos gerais sobre a estabilidade de sistemas elétricos.

- 1.1 Requisitos para o sucesso da operação de um sistema elétrico.
- 1.2 Transferência de potência entre duas máquinas síncronas.
- 1.3 Descrição de um problema de estabilidade.
- 1.4 Definição primitiva de estabilidade de um sistema de potência.
- 1.5 Tipos de estabilidade.
- 1.6 Representação clássica de uma máquina síncrona em estudos de estabilidade.
- 1.7 Modelo clássico da máquina síncrona.
- 1.8 Máquina síncrona durante um transitório.
- 1.9 Análise de estabilidade pelo Critério de Áreas Iguais.
- 1.10 Equação de oscilação de um sistema multi-máquinas.
- 1.11 Análise de estabilidade pelo Método Passo-a-Passo.

2. Transformação de variáveis e a equação de Park.

- 2.1 Exemplo de transformação no domínio do tempo.
- 2.2 Exemplo de transformação no domínio da frequência.

2.3 Transformação a,b,c para a,b,0 (forma ortogonal).

2.4 Transformação a,b,c para 0,d,q (transformação de Park).

2.5 Relação entre o ângulo q e o ângulo de torque d .

3. Modelagem dinâmica de uma máquina síncrona.

3.1 Indutâncias próprias e mútuas da máquina síncrona.

3.2 Equação dos fluxos concatenados.

3.3 Equações das tensões (em função das correntes ou dos fluxos).

3.4 Equações da máquina síncrona no sistema "por-unidade" (pu).

3.5 Normalização das equações de tensão.

3.6 Obtenção do circuito equivalente usando indutâncias de dispersão.

3.7 Equações mecânicas da máquina síncrona – normalização.

3.8 Modelos lineares da máquina síncrona.

3.9 Inclusão da saturação magnética.

4. Sistemas de controle da excitação (AVR).

4.1 Introdução ao sistema de controle da excitação (AVR).

4.2 Razões para se usar um sistema de controle da excitação.

4.3 Mecanismo de atuação de um AVR.

4.4 Arranjo esquemático simplificado de um AVR.

4.5 Tipos de sistemas de excitação.

4.6 Resposta do sistema de excitação.

4.7 Sistemas de regulação contínuos.

4.8 Modelagem computacional de um AVR.

5. Sistemas de controle da velocidade.

5.1 Introdução ao regulador automático de velocidade.

5.2 Funções da máquina primária e do regulador de velocidade.

5.3 O mecanismo de atuação do regulador de velocidade.

5.4 Tipos de máquinas primárias.

5.5 Reguladores isócronos e com queda de velocidade.

5.6 Arranjo típico de um sistema de regulação de velocidade.

5.7 Considerações gerais sobre os modelos de máquinas primárias.

5.8 Estratégia utilizada na modelagem computacional de reguladores.

5.9 Modelagem computacional de um regulador de velocidade.

6. Sinais adicionais estabilizantes e PSS (Power System Stabilizer)

6.1 Introdução.

6.2 Descrição de amortecimento no sistema elétrico de potência.

6.3 Fontes de amortecimento no sistema elétrico de potência.

6.4 Estabilizador de sistema elétrico de potência – PSS.

6.5 Outras fontes de amortecimento no sistema elétrico de potência.

7. Análise dinâmica de um sistema elétrico de potência sob diferentes distúrbios.

7.1 Análise de curto-circuito trifásico sem/com controles de geradores.

7.2 Análise de perda de geração.

7.3 Análise de perda de carga.

1. General aspects about the electrical system stability.

1.1 Requirements for the successful operation of an electrical system.

1.2 Power transfer between two synchronous machines.

1.3 Description of a stability problem.

1.4 Primitive definition of stability of a power system.

- 1.5 Types of stability.
- 1.6 Classical representation of a synchronous machine in stability studies.
- 1.7 Classic model of the synchronous machine.
- 1.8 Synchronous machine during a transient.
- 1.9 Stability analysis using the Equal-Area Criterion.
- 1.10 Oscillation equation of a multi-machine system.
- 1.11 Stability analysis using the Step-by-Step Method.

2. Transformation of variables and Park's equation.

- 2.1 Example of transformation in the time domain.
- 2.2 Example of transformation in the frequency domain.
- 2.3 Transformation a,b,c to $a,b,0$ (orthogonal form).
- 2.4 Transformation a,b,c to $0,d,q$ (Park transformation).
- 2.5 Relationship between angle q and torque angle d .

3. Dynamic modeling of a synchronous machine.

- 3.1 Self and mutual inductances of the synchronous machine.
- 3.2 Equation of linked fluxes.
- 3.3 Voltage equations (depending on currents or fluxes).
- 3.4 Synchronous machine equations in the "per-unit" (pu) system.
- 3.5 Normalization of voltage equations.
- 3.6 Obtaining the equivalent circuit using leakage inductances.
- 3.7 Mechanical equations of the synchronous machine – Normalization.
- 3.8 Linear models of the synchronous machine.
- 3.9 Inclusion of magnetic saturation.

4. Excitation Control Systems (AVR).

- 4.1 Introduction to the excitation control system (AVR).
- 4.2 Reasons for using an excitation control system.
- 4.3 Actuation mechanism of an AVR.
- 4.4 Simplified schematic arrangement of an AVR.
- 4.5 Types of excitation systems.
- 4.6 Excitation system response.
- 4.7 Continuous regulation systems.
- 4.8 Computer modeling of an AVR.

5. Speed Control (Governor) Systems.

- 5.1 Introduction to automatic speed governor.
- 5.2 Functions of the primary machine and speed governor.
- 5.3 The speed regulator actuation mechanism.
- 5.4 Types of primary machines.
- 5.5 Isochronous and speed droop governors.
- 5.6 Typical arrangement of a speed regulation system.
- 5.7 General considerations about primary machine models.
- 5.8 Strategy used in computer modeling of regulators.
- 5.9 Computer modeling of a speed governor.

6. Additional stabilizing signals and PSS (Power System Stabilizer).

- 6.1 Introduction.
- 6.2 Description of damping in the electrical power system.
- 6.3 Damping sources in the electrical power system.
- 6.4 Electrical power system stabilizer – PSS.
- 6.5 Other sources of damping in the electrical power system.

7. Dynamic analysis of an electrical power system under different disturbances.

7.1 Three-phase short circuit analysis without/with generator controls.

7.2 Generation loss analysis.

7.3 Load loss analysis.

4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA / TEXT BOOK

1. ANDERSON, P. M.; FOUAD, A. A. **Power System Control and Stability**. 2ª Edição [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2003 (IEEE Press Series on Power Engineering).
2. KUNDUR, P. S.; MALIK, Om P. **Power System Stability and Control**. 2ª Edição [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2022. 976 p. ISBN 978-1260473544.
3. ALHELOU, Hassan Haes; ABDELAZIZ, Almoataz Y.; PIERLUIGI, Siano. **Wide Area Power Systems Stability, Protection, and Security**. 1ª Edição [S.l.]: Springer, 2021. 599 p. (Power Systems). ISBN 3030542777.
4. MA, Jing. **Power System Wide-area Stability Analysis and Control**. 1ª Edição [S.l.]: John Wiley, 1 jan. 2018. 524 p. ISBN 1119304849.
5. MACHOWSKI, Jan; LUBOSNY, Zbigniew; BIALEK, Janusz W.; BUMBY, James R. **Power System Dynamics: Stability and Control**. 3ª Edição [S.l.]: John Wiley, 2020. 854 p. ISBN 978-1119526346.
6. OLIVEIRA, Thales L. *et al.* Power system education and research applications using free and open-source, graphical and multiplatform PSP-UFU software. **The International Journal of Electrical Engineering & Education**, v. 60, n. 1, p. 62-86, 2023. DOI: 10.1177/0020720919879058.

1. ANDERSON, P. M.; FOUAD, A. A. **Power System Control and Stability**. 2ª Edição [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2003 (IEEE Press Series on Power Engineering).
2. KUNDUR, P. S.; MALIK, Om P. **Power System Stability and Control**. 2ª Edição [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2022. 976 p. ISBN 978-1260473544.
3. ALHELOU, Hassan Haes; ABDELAZIZ, Almoataz Y.; PIERLUIGI, Siano. **Wide Area Power Systems Stability, Protection, and Security**. 1ª Edição [S.l.]: Springer, 2021. 599 p. (Power Systems). ISBN 3030542777.
4. MA, Jing. **Power System Wide-area Stability Analysis and Control**. 1ª Edição [S.l.]: John Wiley, 1 jan. 2018. 524 p. ISBN 1119304849.
5. MACHOWSKI, Jan; LUBOSNY, Zbigniew; BIALEK, Janusz W.; BUMBY, James R. **Power System Dynamics: Stability and Control**. 3ª Edição [S.l.]: John Wiley, 2020. 854 p. ISBN 978-1119526346.
6. OLIVEIRA, Thales L. *et al.* Power system education and research applications using free and open-source, graphical and multiplatform PSP-UFU software. **The International Journal of Electrical Engineering & Education**, v. 60, n. 1, p. 62-86, 2023. DOI: 10.1177/0020720919879058.

5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR / ADDITIONAL READING

1. IEEE COMMITTEE REPORT. Proposed Terms and Definitions for Power System Stability. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, v. PAS-101, n. 7, p. 1894-1898, jul. 1982. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAS.1982.317476>.
2. IEEE. **IEEE Standard 421.5-1992 - IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies**, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1992.106975>.
3. IEEE COMMITTEE REPORT. Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, v. PAS-92, n. 6 - p. 1904-1915, 1973.
4. BIM, Edson. **Máquinas Elétricas e Acionamento**. 4ª Edição [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2018. 608 p. ISBN 9788535290660.
5. OLIVEIRA, T. **PSP-UFU: Power System Platform of Federal University of Uberlândia**. [S.l.]: Zenodo, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10513994>. Acesso em: 17 jan. 2024. v. 2023w38a-beta.

1. IEEE COMMITTEE REPORT. Proposed Terms and Definitions for Power System Stability. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, v. PAS-101, n. 7, p. 1894-1898, jul. 1982. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAS.1982.317476>.
2. IEEE. **IEEE Standard 421.5-1992 - IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies**, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1992.106975>.
3. IEEE COMMITTEE REPORT. Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, v. PAS-92, n. 6 - p. 1904-1915, 1973.
4. BIM, Edson. **Máquinas Elétricas e Acionamento**. 4ª Edição [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2018. 608 p. ISBN 9788535290660.
5. OLIVEIRA, T. **PSP-UFU: Power System Platform of Federal University of Uberlândia**. [S.l.]: Zenodo, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10513994>. Acesso em: 17 jan. 2024. v. 2023w38a-beta.

6. APROVAÇÃO / APPROVAL

Ficha de Disciplina homologada na 366ª Reunião Ordinária do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
[Curricular Component approved at 366th Regular Board Meeting of the Postgraduate Program in Electrical Engineering.](#)

PROF. DR. LUIZ CARLOS GOMES DE FREITAS
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
[Head of the Postgraduate Program in Electrical Engineering](#)
Portaria de Pessoal UFU Nº 3675, de 30 de Junho de 2023

PROF. DR. SÉRGIO FERREIRA DE PAULA SILVA
Diretor da Faculdade de Engenharia Elétrica
[Director of the Faculty of Electrical Engineering](#)
Portaria de Pessoal UFU Nº 1225, de 31 de Março de 2021



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Carlos Gomes de Freitas, Coordenador(a)**, em 02/02/2024, às 13:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5153403** e o código CRC **DF92D926**.