



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA



## FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

## COURSE OUTLINE

<b>CÓDIGO / COURSE CODE :</b> EL015		<b>COMPONENTE CURRICULAR / COURSE TITLE :</b> Dinâmica de Sistemas Elétricos II / <i>Dynamics of Electrical Systems II</i>		
<b>UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE / ORGANIZATION :</b> Faculdade de Engenharia Elétrica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica <i>Faculty of Electrical Engineering - Postgraduate Program in Electrical Engineering</i>				<b>SIGLA / ACRONYM :</b> FEELT - PPGEELT
<b>CH TOTAL TEÓRICA / LECTURE HOURS :</b> 45 horas / hours	<b>CH TOTAL PRÁTICA / LABORATORY HOURS :</b> 0 horas / hours	<b>CH TOTAL / TOTAL HOURS :</b> 45 horas / hours	<b>CRÉDITOS / CREDITS :</b> 3	<b>TIPO / TYPE:</b> Optativa / Elective
<b>Curso / Degree :</b> Mestrado e Doutorado / <i>Master and PhD</i>		<b>Requisito / Requirement :</b> Sem requisitos / <i>No Requirements</i>		

## 1. OBJETIVOS / STUDY GOALS

Desenvolver uma visão global do comportamento dinâmico de um sistema elétrico, devido a ocorrência de perturbações tais como: perda de geração, rejeição e/ou restauração de cargas, partida de grandes motores de indução etc. Enfocar os tipos de modelagens de cargas e analisar a estabilidade de tensão de sistemas elétricos.

*Develop a global view of the dynamic behavior of an electrical system, due to the occurrence of disturbances such as: loss of generation, rejection and/or restoration of loads, starting of large induction motors, etc. Focus on the types of load modeling and analyze the voltage stability of electrical systems.*

## 2. EMENTA / COURSE CONTENTS

Operação do sistema sob condições anormais de frequência. Comportamento do sistema elétrico quando sujeito a sobrecargas. Modelagem de cargas. Rejeição de carga. Análise de estabilidade de tensão. Modelagem de carga para análise de estabilidade de tensão. Estudos dinâmicos de um sistema elétrico de potência sob diferentes distúrbios.

*System operation under abnormal frequency conditions. Behavior of the electrical system when subjected to overloads. Load modeling. Load rejection. Voltage stability analysis. Load modeling for voltage stability analysis. Dynamic analysis of an electrical power system under different disturbances.*

## 3. PROGRAMA / PROGRAM

**1. Operação do sistema sob condições anormais de frequência.**

- 1.1. Operação de Turbinas a Vapor Durante Condições Anormais de Frequências.
- 1.2. Operação das Cargas sob Condições Anormais de Frequências.
- 1.3. Operação dos Equipamentos Auxiliares de uma Planta a Vapor sob Condições Anormais de Frequências.

**2. Comportamento do sistema elétrico quando sujeito a sobrecargas.**

- 2.1. Condições de Operação de um Sistema.
- 2.2. Equação de Balanço do Sistema.
- 2.3. Sobrecarga do Sistema.
- 2.4. Efeitos da Variação da Frequência nos Torques da Carga e da Geração.
- 2.5. Exercícios Desconsiderando os Efeitos da Frequência.
- 2.6. Exercícios Considerando os Efeitos da Frequência.

**3. Modelagem de cargas.**

- 3.1. Escolha de Representação: Cargas Tipo Impedância Constante, Motores Síncronos e Motores de Indução.
- 3.2. Modelos Padrões para Representação de Cargas em Função da Tensão.
- 3.3. Equação Quadrática para Modelagem de Carga.

- 3.4. Características de Carga para uma Subestação.
- 3.5. Efeito da Variação da Frequência sobre as Cargas.
- 3.6. Considerações Finais.

#### **4. Rejeição de carga.**

- 4.1. Requisitos Básicos para Rejeição de Carga.
- 4.2. Esquema Sistemático para Rejeição de Carga.
- 4.3. Carga Total para Rejeição ou Desligamento.
- 4.4. Frequência Mínima para Rejeição de Carga.
- 4.5. Número de Estágios e Fração da Carga para Rejeição por Estágio.
- 4.6. Ajuste da Frequência para Cada Estágio.
- 4.7. Relé de Frequência: Relés Estático e Eletromecânico.
- 4.8. Relé que Opera pela Taxa de Variação da Frequência.
- 4.9. Relé Direcional de Potência.

#### **5. Análise de estabilidade de tensão.**

- 5.1. Modelagem Matemática do Fenômeno de Colapso de Tensão.
- 5.2. Influências de Controladores de Tensão e Cargas no Colapso de Tensão.
- 5.3. Coeficientes de Sensibilidade à Estabilidade de Tensão.

#### **6. Modelagem de carga para análise de estabilidade de tensão.**

- 6.1. Termos Referentes à Modelagem de Carga.
- 6.2. Tipos de Representação para Cargas Estáticas e Dinâmicas.
- 6.3. Representação por Modelo Convencional.
- 6.4. Representação por Modelo Exponencial Convencional.
- 6.5. Representação por Modelo Exponencial Estendido.
- 6.6. Representação por Modelo Polinomial.
- 6.7. Representação Dinâmica da Carga.
- 6.8. Cálculo da Frequência de uma Barra de Carga.
- 6.9. Resultados de Simulações com Diversas Representações de Carga.

#### **7. Estudos dinâmicos de um sistema elétrico de potência sob diferentes distúrbios.**

- 7.1. Análise de perda de geração sem/com rejeição de carga.
- 7.3. Análise de um curto-circuito trifásico com diferentes modelos de cargas.
- 7.2. Análises de partidas de grandes motores de indução.

#### **1. System operation under abnormal frequency conditions.**

- 1.1. Steam Turbine Operation During Abnormal Frequency Conditions.
- 1.2. Operation of Loads under Abnormal Frequency Conditions.
- 1.3. Operation of Auxiliary Equipment of a Steam Plant under Abnormal Frequency Conditions.

#### **2. Behavior of the electrical system when subjected to overloads.**

- 2.1. Operating Conditions of a System.
- 2.2. System Balance Equation.
- 2.3. System Overload.
- 2.4. Effects of Frequency Variation on Load and Generation Torques.
- 2.5. Exercises Disregarding the Effects of Frequency.
- 2.6. Exercises Considering the Effects of Frequency.

#### **3. Load modeling.**

- 3.1. Choice of Representation: Constant-Impedance Loads, Synchronous Motors, and Induction Motors.
- 3.2. Standard Models for Representation of Loads as a Function of Voltage.
- 3.3. Quadratic Equation for Load Modeling.
- 3.4. Load Characteristics for an Electrical Substation.

3.5. Effect of Frequency Variation on Loads

3.6. Final considerations.

#### 4. Load rejection/shedding.

4.1. Basic Requirements for Load Shedding.

4.2. Systematic Scheme for Load Shedding.

4.3. Total Load for Rejection or Shutdown.

4.4. Minimum Frequency for Load Shedding.

4.5. Number of Stages and Fraction of Load for Rejection per Stage.

4.6. Frequency Adjusting for Each Stage.

4.7. Frequency Relays: Static and Electromechanical Relays.

4.8. Relay that operates by the rate of change of frequency.

4.9. Directional Power Relay.

#### 5. Voltage stability analysis.

5.1. Mathematical Modeling of Voltage Collapse Phenomenon.

5.2. Influences of Voltage Controllers and Loads on Voltage Collapse.

5.3. Voltage Stability Sensitivity Coefficients.

#### 6. Load modeling for voltage stability analysis.

6.1. Terms Regarding Load Modeling.

6.2. Types of Representation for Static and Dynamic Loads.

6.3. Representation by Conventional Model.

6.4. Representation by Conventional Exponential Model.

6.5. Representation by Extended Exponential Model.

6.6. Representation by Polynomial Model.

6.7. Dynamic Representation of Load.

6.8. Calculation of the Frequency of a Load Busbar.

6.9. Simulations Results with Various Load Representations.

#### 7. Dynamic studies of an electrical power system under different disturbances.

7.1. Generation loss analysis without/with load shedding.

7.3. Three-phase short-circuit analyses with different load models.

7.2. Start-up analysis of large induction motors.

#### **4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA / TEXT BOOK**

1. ANDERSON, P. M.; FOUAD, A. A. **Power System Control and Stability**. 2. ed. New York: A John Wiley & Sons Inc., 2003. 672 p. (IEEE Press Series on Power Engineering). ISBN: 978-0471238621.

2. KUNDUR, P. S.; MALIK, Om P. **Power System Stability and Control**. 2. ed [S.l.]: McGraw-Hill, 2022. 976 p. ISBN 978-1260473544.

3. ALHELOU, H. H.; ABDELAZIZ, A. Y.; PIERLUIGI, S. (ed.). **Wide Area Power Systems Stability, Protection, and Security**. 1. ed. [S.l.]: Springer, 2021. 991 p. ISBN 978-3030542740.

4. MA, J. **Power System Wide-area Stability Analysis and Control**. 1. ed. [S.l.]: John Wiley, 1 jan. 2018. 524 p. ISBN 1119304849.

5. 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**. 2. ed. New York: A John Wiley & Sons Inc., 2003. 672 p. (IEEE Press Series on Power Engineering). ISBN: 978-0471238621.

2. KUNDUR, P. S.; MALIK, Om P. **Power System Stability and Control**. 2. ed [S.l.]: McGraw-Hill, 2022. 976 p. ISBN 978-1260473544.

3. ALHELOU, H. H.; ABDELAZIZ, A. Y.; PIERLUIGI, S. (ed.). **Wide Area Power Systems Stability, Protection, and Security**. 1. ed. [S.l.]: Springer, 2021. 991 p. ISBN 978-3030542740.

4. MA, J. **Power System Wide-area Stability Analysis and Control**. 1. ed. [S.l.]: John Wiley, 1 jan. 2018. 524 p. ISBN 1119304849.

5. 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. 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.
2. GUIMARÃES, G. C. **Computer Methods for Transient Stability Analysis of Isolated Power Generation Systems With Special Reference to Prime Mover and Induction Motor Modelling**. 251 p. Tese (Ph.D.) - University of Aberdeen, 1990.
3. TAYLOR, C. W. **Power System Voltage Stability**. EPRI. 1. ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1994. 273 p. (Power System Engineering Series). ISBN 978-0070631847.
4. EPRI PROJECT. **Determining Load Characteristics for Transient Performances: Testing and Modeling of Load Components**. Texas: EPRI, mai. 1979. v. 02.
5. MILANOVIC, Jovica V. *et al.* International Industry Practice on Power System Load Modeling. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 28, n. 3 - p. 3038-3046, Ago. 2013. DOI: 10.1109/TPWRS.2012.2231969.
6. VU, Thanh Long *et al.* Safe Reinforcement Learning for Emergency Load Shedding of Power Systems. *In: 2021 IEEE POWER & ENERGY SOCIETY GENERAL MEETING (PESGM), 2021, Washington, DC, Estados Unidos. Anais [...]. Estados Unidos: IEEE, 2021. p. 1-5. DOI: 10.1109/PESGM46819.2021.9638007.*

1. 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.
2. GUIMARÃES, G. C. **Computer Methods for Transient Stability Analysis of Isolated Power Generation Systems With Special Reference to Prime Mover and Induction Motor Modelling**. 251 p. Tese (Ph.D.) - University of Aberdeen, 1990.
3. TAYLOR, C. W. **Power System Voltage Stability**. EPRI. 1. ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1994. 273 p. (Power System Engineering Series). ISBN 978-0070631847.
4. EPRI PROJECT. **Determining Load Characteristics for Transient Performances: Testing and Modeling of Load Components**. Texas: EPRI, mai. 1979. v. 02.
5. MILANOVIC, Jovica V. *et al.* International Industry Practice on Power System Load Modeling. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 28, n. 3 - p. 3038-3046, Ago. 2013. DOI: 10.1109/TPWRS.2012.2231969.
6. VU, Thanh Long *et al.* Safe Reinforcement Learning for Emergency Load Shedding of Power Systems. *In: 2021 IEEE POWER & ENERGY SOCIETY GENERAL MEETING (PESGM), 2021, Washington, DC, Estados Unidos. Anais [...]. Estados Unidos: IEEE, 2021. p. 1-5. DOI: 10.1109/PESGM46819.2021.9638007.*

#### 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](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5153409** e o código CRC **4E59271F**.