UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

COURSE OUTLINE

CÓDIGO / COURSE CODE :		**COMPONENTE CURRICULAR / COURSE TITLE :** Estudos Avançados sobre Proteção de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica / Advanced Studies on Protection of Electrical Energy Distribution Systems		
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE / ORGANIZATION : Faculdade de Engenharia Elétrica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica Faculty of Electrical Engineering - Postgraduate Program in Electrical Engineering				**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 / Master and PhD		**Requisito / Requirement :** Sem requisitos / No Requirements		

1. OBJETIVOS / STUDY GOALS

1. Conhecer os princípios fundamentais da proteção de sistemas de distribuição de energia elétrica, compreendendo os conceitos de relés de proteção, esquemas de proteção, e dispositivos de manobra.

2. Compreender as normas e regulamentações aplicáveis à proteção de sistemas de distribuição, analisando suas implicações práticas e requisitos de conformidade.

3. Aplicar métodos e técnicas de configuração de relés de proteção em sistemas de distribuição, considerando diferentes condições operacionais e tipos de faltas.

4. Analisar estudos de casos complexos relacionados a faltas em sistemas de distribuição, identificando causas, impactos e propondo soluções inovadoras.

5. Sintetizar estratégias para a coordenação de proteção em sistemas de distribuição, integrando múltiplos dispositivos e considerando a segurança do sistema como um todo.

6. Avaliar criticamente as tecnologias emergentes na área de proteção de sistemas de distribuição, considerando sua eficácia e aplicabilidade em cenários específicos.

7. Aplicar normas internacionais e metodologias avançadas para a avaliação e melhoria contínua dos sistemas de proteção em distribuição de energia elétrica.

8. Compreender as interações entre dispositivos de proteção, automação e controle em sistemas de distribuição, desenvolvendo uma visão abrangente dos desafios e oportunidades associados.

Esses objetivos abrangem desde a compreensão básica até a aplicação avançada de conhecimentos, permitindo que os alunos alcancem um entendimento sólido e aprofundado sobre a proteção de sistemas de distribuição de energia elétrica, capacitando-os para enfrentar desafios complexos na área.

1. Understand the fundamental principles of protection for electrical distribution systems, encompassing the concepts of protection relays, protection schemes, and switching devices.

2. Comprehend the standards and regulations applicable to the protection of distribution systems, analyzing their practical implications and compliance requirements.

3. Apply methods and techniques for configuring protection relays in distribution systems, considering different operational conditions and types of faults.

4. Analyze complex case studies related to faults in distribution systems, identifying causes, impacts, and proposing innovative solutions.

5. Synthesize strategies for protection coordination in distribution systems, integrating multiple devices and considering system-wide security.

6. Critically evaluate emerging technologies in the field of distribution system protection, considering their effectiveness and applicability in specific scenarios.

7. Apply international standards and advanced methodologies for the continuous assessment and improvement of protection systems in electrical distribution.

8. Understand the interactions between protection devices, automation, and control in distribution systems, developing a comprehensive understanding of the associated challenges and opportunities.

These objectives range from basic understanding to the advanced application of knowledge, enabling students to achieve a solid and in-depth understanding of the protection of electrical distribution systems, empowering them to tackle complex challenges in the field.

2. EMENTA / COURSE CONTENTS

A disciplina aborda os princípios fundamentais e avançados relacionados aos sistemas de proteção aplicados em redes de distribuição. O curso explora conceitos de relés de proteção, esquemas de proteção, dispositivos de manobra e estratégias de coordenação, proporcionando uma compreensão abrangente dos desafios associados à detecção e supressão de faltas. Além disso, serão analisados estudos de casos complexos, permitindo aos alunos identificar causas, avaliar impactos e desenvolver soluções inovadoras. A aplicação de normas internacionais, tecnologias emergentes e metodologias avançadas na avaliação e melhoria contínua dos sistemas de proteção complementará o escopo do curso, capacitando os estudantes a enfrentar eficazmente os desafios práticos na gestão da segurança e confiabilidade em redes de distribuição de energia elétrica.

The course covers fundamental and advanced principles related to protection systems applied in distribution networks. It explores concepts of protection relays, protection schemes, switching devices, and coordination strategies, providing a comprehensive understanding of the challenges associated with fault detection and suppression. Moreover, complex case studies will be analyzed, enabling students to identify causes, assess impacts, and develop innovative solutions. The application of international standards, emerging technologies, and advanced methodologies in the assessment and continuous improvement of protection systems will complement the course's scope, empowering students to effectively address practical challenges in the management of safety and reliability in electrical distribution networks.

3. PROGRAMA / PROGRAM

1. Introdução à proteção: filosofia da proteção.

1.1. Filosofia de proteção de um sistema elétrico.

1.2. Proteção principal e de retaguarda.

1.3. Zonas de proteção.

1.4. Características funcionais do releamento.

1.5. Conceitos de seletividade e coordenação da proteção.

2. Introdução à proteção digital.

2.1. Conversão analógico-digital e aquisição de grandezas elétricas.

2.2. Filtragem e adequação de sinais.

3. Relés supervisores de tensão.

3.1. Tipos e funções dos relés supervisores de tensão.

4. Transformadores de corrente e de potencial.

4.1. Fundamentos teóricos sobre TPs e TCs.

4.2. Tipos de transformadores de corrente (TC) e de potencial (TP).

4.3. Especificação de um TC ou TP através das nomenclaturas da ABNT e *ANSI*.

4.4. Dimensionamento de TCs e TPs adequados para as diversas aplicações.

4.5. Tipos de ligação de TPs e TCs.

4.6. Resposta em frequência de TPs e TCs.

5. Relés de sobrecorrente.

5.1. Tipos de construção dos relés de sobrecorrente.

5.2. Tipos de relés de sobrecorrente (instantâneo, temporizado de tempo inverso e temporizado de tempo definido).

5.3. Equações de curvas de tempo inverso da *IEC* e *IEEE*, adotadas para os relés de sobrecorrente.

5.4. Parametrização e coordenação de relés de sobrecorrente.

5.5. Exemplos numéricos.

6. Elos fusíveis, religadores automáticos e chaves seccionalizadoras.

6.1. Parametrização e coordenação de elementos de proteção de redes de média tensão.

6.2. Coordenação Elo-Elo.

6.3. Coordenação Elo-Religador.

7. Relés direcionais de sobrecorrente.

7.1. Conceitos, fundamentos e princípios de operação dos relés direcionais de sobrecorrente.

7.2. Tipos de aplicação.

8. Relés diferenciais (comum e percentual).

8.1. Conceitos, fundamentos e princípios de operação dos relés diferenciais.

8.2. Aplicações para o relé diferencial (proteção de transformadores de força, barramentos, geradores, etc).

9. Relés de distância para sistemas de subtransmissão.

9.1. Diferenças entre os diversos tipos de relés de distância.

9.2. Técnicas da tele proteção utilizadas nas proteções de linhas de subtransmissão.

10. Relés de frequência.

10.1. Princípio de operação, estudos, parametrização de relés de frequência.

10.2. ERAC: Esquema Regional de Alívio de Carga.

11. Impacto da geração distribuída (GD) na proteção dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

11.1. Análise de eventuais contribuições de curto-circuito proporcionada pelos sistemas de GD.

1. Introduction to Protection: Protection Philosophy.

1.1. Electric system protection philosophy.

1.2. Main and backup protection.

1.3. Protection zones.

1.4. Functional characteristics of relaying.

1.5. Concepts of selectivity and coordination of protection.

2. Introduction to Digital Protection.

2.1. Analog-to-digital conversion and acquisition of electrical quantities.

2.2. Filtering and signal conditioning.

3. Voltage Supervision Relays.

3.1. Types and functions of voltage supervisory relays.

4. Current and Voltage Transformers.

4.1. Theoretical fundamentals of CTs and PTs.

4.2. Types of current transformers (CT) and potential transformers (PT).

4.3. Specification of a CT or PT using ABNT and ANSI nomenclatures.

4.4. Sizing CTs and PTs suitable for various applications.

4.5. Types of CT and PT connections.

4.6. Frequency response of CTs and PTs.

5. Overcurrent Relays.

5.1. Construction types of overcurrent relays.

5.2. Types of overcurrent relays (instantaneous, time-inverse, and time-defined delayed).

5.3. Equations for time-inverse curves of IEC and IEEE adopted for overcurrent relays.

5.4. Parameterization and coordination of overcurrent relays.

5.5. Numerical examples.

6. Cutout Fuses, Automatic Reclosers, and Sectionalizing Switches.

6.1. Parameterization and coordination of protection elements for medium-voltage networks.

6.2. Fuse-to-fuse coordination.

6.3. Fuse-to-recloser coordination.

7. Directional Overcurrent Relays.

7.1. Concepts, fundamentals, and operating principles of directional overcurrent relays.

7.2. Types of applications.

8. Differential Relays (Common and Percentage Differential).

8.1. Concepts, fundamentals, and operating principles of differential relays.

8.2. Applications for differential relays (protection of power transformers, busbars, generators, etc).

9. Distance Relays for Subtransmission Systems.

9.1. Differences between various types of distance relays.

9.2. Teleprotection techniques used in subtransmission line protection.

10. Frequency Relays.

10.1. Operating principle, studies, parameterization of frequency relays.

10.2. ERAC: Regional Load Shedding Scheme.

11. Impact of Distributed Generation (DG) on the Protection of Electrical Distribution Systems.

11.1. Analysis of potential short-circuit contributions provided by DG systems.

4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA / TEXT BOOK

1. MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1ª Edição [*S.l.*]: LTC Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2011. 620 p.

2. SILVA, Eliel Celestino da. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1ª Edição [*S.l.*]: QualityMark, 2014. 256 p. ISBN 8541401812.

3. SATO, Fujito; FREITAS, Walmir. **Análise de Curto-Circuito e Princípios de Proteção em Sistemas de Energia Elétrica**: Fundamentos e Prática. 1ª Edição [*S.l.*]: GEN LTC, 2014. 472 p. ISBN 8535268863.

4. COURY, Denis Vinícius. **Proteção Digital de Sistemas Elétricos de Potência. Dos Relés Eletromecânicos aos Microprocessados Inteligentes**. 1ª Edição. São Carlos - SP: EDUSP, 2007.

5. ARAÚJO, Carlos A. S.. **Proteção de Sistemas Elétricos**. 2ª Edição [*S.l.*]: Interciência, 2011.

6. GONEN, T. **Electric Power Distribution System Engineering**. 2ª Edição [*S.l.*]: CRC Press, 2007. 856 p. ISBN 142006200X.

1. MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1ª Edição [*S.l.*]: LTC Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2011. 620 p.

2. SILVA, Eliel Celestino da. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1ª Edição [*S.l.*]: QualityMark, 2014. 256 p. ISBN 8541401812.

3. SATO, Fujito; FREITAS, Walmir. **Análise de Curto-Circuito e Princípios de Proteção em Sistemas de Energia Elétrica**: Fundamentos e Prática. 1ª Edição [*S.l.*]: GEN LTC, 2014. 472 p. ISBN 8535268863.

4. COURY, Denis Vinícius. **Proteção Digital de Sistemas Elétricos de Potência. Dos Relés Eletromecânicos aos Microprocessados Inteligentes**. 1ª Edição. São Carlos - SP: EDUSP, 2007.

5. ARAÚJO, Carlos A. S.. **Proteção de Sistemas Elétricos**. 2ª Edição [*S.l.*]: Interciência, 2011.

6. GONEN, T. **Electric Power Distribution System Engineering**. 2ª Edição [*S.l.*]: CRC Press, 2007. 856 p. ISBN 142006200X.

5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR / ADDITIONAL READING

1. OVALLE, A. *et al*. EPRI distribution protection analysis toolkit. *In*: 27th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED 2023), 27., 2023, Rome, Italy. **Anais** [...]. EUA: IEEE, 2023. DOI 10.1049/icp.2023.0720.

2. IEEE. **IEEE Draft Recommended Practice for Fault Diagnosis and Protection in Smart Distribution System**. IEEE P2748/D5.4, 2023.

3. HOROWITZ, Stanley H.; Phadke, Arun G. **Power System Relaying**. 4ª Edição [*S.l.*]: Wiley, 2014. 400 p. ISBN 1118662008.

4. KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 4ª Edição. Florianópolis - SC: LabPlan. UFSC, 2018. v. 1.

5. KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 4ª Edição. Florianópolis - SC: LabPlan. UFSC, 2018. v. 2.

6. KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 4ª Edição. Florianópolis - SC: LabPlan. UFSC, 2018. v. 3.

7. ANDERSON, Paul. **Power System Protection**. [*S.l.*]: Wiley-IEEE Press, 1999. 1330 p.

8. BHIDE, S. R. **Digital Power System Protection**. [*S.l.*]: PHI Learning, 2014. 280 p. ISBN 8120349792.

1. OVALLE, A. *et al*. EPRI distribution protection analysis toolkit. *In*: 27th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED 2023), 27., 2023, Rome, Italy. **Anais** [...]. EUA: IEEE, 2023. DOI 10.1049/icp.2023.0720.

2. IEEE. **IEEE Draft Recommended Practice for Fault Diagnosis and Protection in Smart Distribution System**. IEEE P2748/D5.4, 2023.

3. HOROWITZ, Stanley H.; Phadke, Arun G. **Power System Relaying**. 4ª Edição [*S.l.*]: Wiley, 2014. 400 p. ISBN 1118662008.

4. KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 4ª Edição. Florianópolis - SC: LabPlan. UFSC, 2018. v. 1.

5. KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 4ª Edição. Florianópolis - SC: LabPlan. UFSC, 2018. v. 2.

6. KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 4ª Edição. Florianópolis - SC: LabPlan. UFSC, 2018. v. 3.

7. ANDERSON, Paul. **Power System Protection**. [*S.l.*]: Wiley-IEEE Press, 1999. 1330 p.

8. BHIDE, S. R. **Digital Power System Protection**. [*S.l.*]: PHI Learning, 2014. 280 p. ISBN 8120349792.

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 13:39, 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 **5153562** e o código CRC **2F024C1D**.

Referência: Processo nº 23117.007375/2024-74 SEI nº 5153562