



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CEP: 88040-900 - FLORIANÓPOLIS - SANTA CATARINA
TEL. (048) 3721-9506 - FAX. (048) 3721-7538

PLANO DE ENSINO

- **DISCIPLINA:** Proteção de Sistemas Elétricos
CÓDIGO: EEL7106 - Turma 10202
Nº DE SEMANAS: 18
TOTAL DE HORAS: 72
PRÉ-REQUISITO:
 - ◆ EEL 7071 - Introdução a Sistemas de Energia Elétrica, para aluno do currículo novo, isto é, 2005.1.
 - ◆ EEL 7000 - Operação de Sistemas de Energia Elétrica, para alunos do currículo antigo, isto é, de 99.2.

- **OFERECIDA PARA OS CURSOS:** Engenharia Elétrica

- **PROFESSORES:** Geraldo Kindermann (gerald@labplan.ufsc.br)
Jacqueline G Rolim (jackie@labspot.ufsc.br)

- **OBJETIVO:** Proporcionar uma visão completa da filosofia, teoria e prática da Proteção do Sistema Elétrico de Potência e das técnicas de Aterramento Elétrico.

- **CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:**

I Parte: PROTEÇÃO (44 horas.aula)

CAPÍTULO I -TRANSFORMADOR DE CORRENTE (4h.a)

Introdução. Transformador de corrente (TC): Tipos; Marca de polaridade e simbologia; Circuito equivalente; Relações de transformações padronizadas; Comportamento e Erro do TC em curto-circuito e em medição; Aspectos construtivos; Classes de Exatidão; Carregamento; Fator térmico; Fator de sobrecorrente; Limite Térmico. Impedância da Fiação; Cargas típicas de instrumentos e relés ligados no secundário do TC; Limitação do TC; Dimensionamento; Análise da abertura do secundário do TC.

CAPÍTULO II - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (2h.a)

Introdução. Transformador de Potencial (TP): Relação de transformação e valores padronizados; Carga nominal; Classes de exatidão; Diferença entre Transformador de Força e de Potencial; Potência térmica do TP; Divisor Capacitivo de Potencial (DCP); Circuito equivalente de Thevenin; Transmissão e receptor Carrier. Bobina de Bloqueio. Ligação de equipamento no TP eletromagnético acoplado ao DCP's.

CAPÍTULO III - RELÉS DE SOBRECORRENTE (8 h.a)

Introdução. Relé, definição. Princípio básico do funcionamento da proteção de sobrecorrente. Banco de baterias e carregador. Disjuntor e mola de disparo. Bobina de disparo do disjuntor e dispositivo de travamento. Esquema funcional em CA. Esquema funcional em DC. Classificação dos relés de sobrecorrente. Limiar de operação e Temporização. Curva tempo inverso do relé. Relé primário e relé secundário. Alcance e ajustes dos relés de sobrecorrente (instantâneo e temporizado). Elemento instantâneo do relé. Nomenclatura pela ASA dos equipamentos de proteção. Coordenação de relés de sobrecorrente. Relé de Neutro. Esquema de ligação do relé de Neutro. Ajuste da corrente do relé de Neutro

CAPÍTULO IV - RELIGAMENTO (2 h.a)

Introdução. Estatística dos curtos circuitos (permanentes e temporários). Religamento automático, objetivo e finalidade. Tempo de restabelecimento do relés. Relé de religamento. Tempo morto. Esquema de ligação e operação.

CAPÍTULO V - RELÉ DIRECIONAL (4 h.a)

Introdução. Relé direcional. Limiar de operação do relé direcional. Tensões de polarização. Acoplamento do relé direcional com o relé de sobrecorrente. Esquema de ligação da proteção direcional. Relé direcional de neutro. Tensão de polarização do relé direcional do neutro. Transformador de potencial com 3 enrolamentos. Coordenação de sistemas elétricos em anel. Relé direcional de potência. Esquema de ligação do relé direcional de potência

CAPÍTULO VI - PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA (4 h.a)

Introdução. Princípio de atuação. Tipos de relé de distância. Relé de impedância: Operação; Zonas de operação e seus ajustes; Diagrama funcional; Coordenação. Relé de admitância: Operação; Diagrama funcional. Relé de reatância: Diagrama funcional do relé de reatância. Diagrama de carga

CAPÍTULO VII - RELÉ DIFERENCIAL (4 h.a)

Introdução. Relé diferencial de sobrecorrente. Problemas do relé diferencial de sobrecorrente. Relé diferencial porcentual: Operação; Tipos de curvas de operação; Ajuste do relé diferencial

porcentual. Proteção diferencial curta e longa. Regra de ligação da proteção diferencial em transformadores.

CAPÍTULO VIII - PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES (4 h.a)

Introdução. Relé Buchholz. Esquema funcional do relé Buchholz. Relé de salto de pressão. Relé de imagem térmica. Esquema funcional do relé de imagem térmica. Classe dos isolantes do transformador. Termômetro capilar.

CAPÍTULO IX - PROTEÇÃO DE USINA GERADORA (4 h.a)

Introdução. Diagrama unifilar de uma usina geradora. Relés da usina geradora.

CAPÍTULO X - TELEPROTEÇÃO (4 h.a)

Introdução. Princípio do funcionamento. Proteção por fio piloto. Proteção por onda portadora. Proteção por microonda. Esquemas funcionais. Tipos de sistemas de teleproteção

VISITA A UMA SUBESTAÇÃO DA TRANSMISSÃO - 4 horas.aula

II Parte: ATERRAMENTO ELÉTRICO (22 horas.aula)

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO AO SISTEMA DE ATERRAMENTO (2 h.a)

Introdução Geral. Resistividade do Solo. A Influência da Umidade. A Influência da Temperatura. A Influência da Estratificação. Ligação à Terra. Sistemas de Aterramento. Hastes de Aterramento. Aterramento. Classificação dos Sistemas de Baixa Tensão em Relação a Alimentação e das Massas em Relação à Terra. Projeto do Sistema de Aterramento

CAPÍTULO II - MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO (2 h.a)

Introdução. Localização do Sistema de Aterramento. Medições no Local. Potencial em Um Ponto. Potencial em Um Ponto sob a Superfície de Um Solo Homogêneo. Medição pelo Método de Wenner. Cuidados na Medição. Espaçamento das Hastes. Direções a Serem Medidas. Análise das Medidas. Exemplo Geral.

CAPÍTULO III - ESTRATIFICAÇÃO DO SOLO (4 h.a)

Introdução. Modelagem do Solo de Duas Camadas. Configuração de Wenner. Método de Estratificação do Solo de Duas Camadas. Métodos de Duas Camadas Usando Curvas e Usando Técnicas de Otimização. Método Simplificado para Estratificação do Solo em Duas Camadas. Método de Estratificação de Solos de Várias Camadas. Método de Pirson. Método Gráfico de Yocogawa

CAPÍTULO IV - SISTEMAS DE ATERRAMENTO (2 h.a)

Introdução. Dimensionamento de Um Sistema de Aterramento com Uma Haste Vertical. Aumento do Diâmetro de Haste. Interligação de Hastes em Paralelo. Resistência Equivalente de Hastes Paralelas. Dimensionamento de Sistema de Aterramento formado por Hastes Alinhadas em Paralelo, Igualmente Espaçadas, com Hastes em Triângulo, com Hastes em Quadrado Vazio, com Hastes em Quadrado Cheio e com Hastes em Circunferência. Hastes Profundas. Resistência de Aterramento de Condutores Enrolados em Forma de Anel e Enterrados Horizontalmente no Solo. Sistemas com Condutor Enterrado Horizontalmente no Solo.

CAPÍTULO V - TRATAMENTO QUÍMICO DO SOLO (1 h.a)

Introdução. Característica do Tratamento Químico do Solo. Tipos de Tratamento Químico. Coeficiente de Redução Devido ao Tratamento Químico do Solo (Kt). Variação da Resistência de Terra Devido ao Tratamento Químico. Aplicação do Tratamento Químico no Solo.

CAPÍTULO VI - RESISTIVIDADE APARENTE (1 h.a)

Resistividade Aparente. Haste em Solo de Várias Camadas. Redução de Camadas. Coeficiente de Penetração (a). Coeficiente de Divergência (b). Resistividade Aparente para Solo com Duas Camadas.

CAPÍTULO VII - FIBRILAÇÃO VENTRICULAR DO CORAÇÃO PELO CHOQUE ELÉTRICO (1 h.a)

Introdução. Choque Elétrico. Fibrilação Ventricular do Coração pelo Choque Elétrico. Desfibrilador Elétrico. Limite de Corrente para Não Causar Fibrilação. Potencial de Toque. Potencial de Passo. Correção do Potencial de Passo e de Toque Máximo. Medida de Potencial de Toque e de Passo.

CAPÍTULO VIII - MALHA DE ATERRAMENTO (4 h.a)

Introdução. Itens Necessários ao Projeto. Estratificação do Solo. Determinação da Resistividade Aparente. Dimensionamento do Condutor da Malha. Potenciais Máximos a Serem Verificados. Malha Inicial. Resistência de Aterramento da Malha. Potencial de Malha. Potencial de Passo na Malha. Limitações das Equações de V_M e V_{psM} . Potencial de Toque Máximo da Malha em Relação ao Infinito. Fluxograma do Dimensionamento da Malha de Terra. Potencial de Toque na Cerca Perimetral da Malha. Melhoria na Malha. Malha de Equalização. Exemplo Completo do Dimensionamento de Uma Malha de Terra.

CAPÍTULO IX - MEDIDA DE RESISTÊNCIA DE TERRA (2 h.a)

Introdução. Correntes de Curto-Circuito pelo Aterramento. Distribuição de Corrente pelo Solo. Curva de Resistência de Terra versus Distância. Método Volt-Amperímetro. Medição Usando o

Aparelho MEGGER. Precaução de Segurança Durante a Medição de Resistência de Terra.

CAPÍTULO X - CORROSÃO NO SISTEMA DE ATERRAMENTO (2 h.a)

Corrosão. Eletromagnetividade dos Metais. Reação de Corrosão. Corrosão no Sistema de Aterramento. Heterogeneidade dos Materiais que Compõem o Sistema de Aterramento. Heterogeneidade dos Solos abrangidos pelo Sistema de Aterramento. Ação das Correntes Dispersas no Solo. Proteção Contra a Corrosão: por Isolação de um Componente; por Anodo de Sacrifício; por Corrente Impressa. Religamento e a Corrosão. Considerações.

CAPÍTULO XI - SURTOS DE TENSÃO (1 h.a)

Introdução. Campo Elétrico Gerado no Solo pelo Surto de Corrente em Uma Haste. Gradiente de Ionização do Solo. Zona de Ionização no Solo. Finalidade da Haste.

- AVALIAÇÃO (6 horas.aula)

- **Avaliação:** A média final (M) será calculada por $M = (1,5.P1 + 1,5.P2 + T)/4$, sendo P1 e P2 provas individuais realizadas em sala e T a média dos trabalhos.
- **Prova de recuperação:** Será aplicada uma prova de recuperação em sala para todos os interessados em recuperar a média que atenderem os requisitos de frequência suficiente e média $M \geq 3,0$. Com a nota da prova de recuperação, que chamaremos de R, será computada uma nova média.
 $M_r = (R + T) / 2$.
- **Datas das provas:** P1 - a definir
P2 - a definir
REC - a definir

- BIBLIOGRAFIA

- ◆ **PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**, Geraldo Kindermann, Edição do Autor.
- ◆ **ATERRAMENTO ELÉTRICO**, edição do autor, Geraldo Kindermann e Jorge Mario Campagnolo, 5ª edição.
- ◆ **The Art and Science of Protective Relaying** - C. R. MASON
- ◆ **Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos**
Amadeu C. Caminha
- ◆ **Applied Protective Relaying**.
Westinghonse