Transformadores de Potência

Conceitos e Técnicas de Manutenção

Juliano Coelho da Silva

AUTOR: Juliano Coelho da Silva

Com uma trajetória acadêmica robusta e uma carreira profissional marcada pela excelência, o autor é um especialista de destaque em diversas áreas da engenharia e manutenção industrial. Possui pós-graduações em Engenharia Elétrica com ênfase em Instalações Elétricas Industriais, Engenharia Eletrotécnica, Engenharia de Segurança do Trabalho, Dimensionamento de Circuitos Elétricos Industriais e Gestão da Manutenção Industrial, além de graduações em Engenharia de Produção e Telemática, e formação técnica em Eletrônica. Essa ampla base de conhecimentos, aliada a mais de 17 anos de experiência prática, permite ao autor abordar os desafios do setor com uma visão multidisciplinar e inovadora.

Ao longo de sua carreira, o autor tem se dedicado a compartilhar seu conhecimento por meio de treinamentos especializados, ministrando cursos em áreas como Termografia, Manutenção de Disjuntores, SPCS (Sistema de Proteção, Controle e Supervisão de Subestações) e Banco de Baterias. Seu método de ensino combina teoria e prática, garantindo que os profissionais capacitados estejam preparados para enfrentar os desafios reais do mercado.

Além disso, o autor disponibiliza conteúdos educativos de alta qualidade, como o curso "Termografia Aplicada à Manutenção Industrial", oferecido na plataforma Hotmart, e vídeos instrutivos em seu canal no YouTube. Esses materiais são uma extensão de seu compromisso com a educação e a disseminação de conhecimento técnico, proporcionando aos interessados a oportunidade de aprimorar suas habilidades e se manterem atualizados com as melhores práticas do setor.

Para conhecer mais sobre o trabalho do autor e acessar seus conteúdos exclusivos, visite os links abaixo e mergulhe em um universo de aprendizado técnico e prático, projetado para elevar sua expertise profissional:

- **Curso de Termografia Aplicada à Manutenção Industrial**: https://hotmart.com/pt-br/marketplace/produtos/termografia-aplicada-a-manutencao-industrial-2/J45140585A

- **YouTube**: https://www.youtube.com/watch?v=eoOlfqJB2mo&t=6s

Formação Acadêmica

Pós-Graduação em Neuropsicologia Clínica – PROMINAS (2023)

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Instalações Elétricas Industriais – PROMINAS (2023)

Pós-Graduação em Psicanálise – PROMINAS (2023)

Pós-Graduação em Engenharia Eletrotécnica – UNINTER (2022)

Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho – PROMINAS (2022)

Pós-Graduação em Dimensionamento de Circuitos Elétricos Industriais – UNINTER (2021)

Pós-Graduação em Gestão da Manutenção Industrial – UNINTER (2021)

Graduação em Engenharia de Produção – UNIFAMETRO (2020)

Graduação Tecnólogo em Telemática – ESTÁCIO (2011)

Técnico em Eletrônica – CEPEP (2008)

"Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento." (**Provérbios 3:13**)

Prefácio

O livro Transformadores de Potência: Fundamentos e Técnicas de Manutenção aborda os princípios essenciais para a operação, manutenção e monitoramento desses equipamentos críticos em sistemas de energia elétrica. O conteúdo explora desde os conceitos básicos de funcionamento, como os princípios de eletromagnetismo, relação de transformação, perdas no cobre e no núcleo, eficiência e regulação de tensão, até os componentes fundamentais dos transformadores, como núcleo magnético, enrolamentos, sistemas de isolamento e dispositivos de proteção intrínsecos, como o relé Buchholz e disjuntores internos. Além disso, são detalhados os tipos de transformadores, como os a óleo e os a seco de epóxi, suas diferenças e aplicações, bem como as tendências tecnológicas do mercado, incluindo transformadores inteligentes e sistemas de monitoramento online.

O livro também dedica atenção especial aos óleos isolantes, destacando sua importância como meio de isolamento e refrigeração, suas propriedades físicas e químicas, e as técnicas de análise para manutenção preventiva, conforme normas internacionais (IEC, IEEE) e brasileiras (ABNT). São apresentados ensaios elétricos, como testes de isolação, desempenho e proteção, além de práticas de manutenção preditiva, como a análise de gases dissolvidos e medição de descargas parciais. O conhecimento aprofundado sobre transformadores é essencial para garantir a confiabilidade dos sistemas de energia, evitando falhas e prolongando a vida útil dos equipamentos.

Preface

The book Power Transformers: Fundamentals and Maintenance Techniques addresses the essential principles for the operation, maintenance, and monitoring of these critical components in electrical power systems. The content explores fundamental concepts, such as electromagnetism principles, transformation ratio, copper and core losses, efficiency, and voltage regulation, as well as the key components of transformers, including the magnetic core, windings, insulation systems, and intrinsic protection devices like the Buchholz relay and internal circuit breakers. Additionally, it details the types of transformers, such as oil-immersed and dry-type epoxy transformers, their differences, and applications, along with market trends and technological advancements, including smart transformers and online monitoring systems.

The book also places special emphasis on insulating oils, highlighting their role as both insulation and cooling mediums, their physical and chemical properties, and analysis techniques for preventive maintenance, following international (IEC, IEEE) and Brazilian (ABNT) standards. It presents electrical tests, such as insulation, performance, and protection tests, as well as predictive maintenance practices, including dissolved gas analysis and partial discharge measurements. A deep understanding of transformers is crucial to ensuring the reliability of power systems, preventing failures, and extending equipment lifespan.

Sumário

Capítulo 1: Introdução aos Transformadores de Alta Tensão 18

1.1. Definição e Importância dos Transformadores de Alta Tensão 18

1.2. Aplicações em Sistemas de Energia Elétrica 19

1.3. Classificação dos Transformadores (Potência, Distribuição, Autotransformadores) 20

1.4. Transformadores a Óleo e a Seco de Epóxi: Diferenças e Aplicações 21

1.5. Visão Geral do Mercado e Tendências Tecnológicas 22

2.1. Princípios Básicos de Eletromagnetismo Aplicados a Transformadores 22

2.2. Funcionamento de um Transformador Ideal e Real 24

2.3. Relação de Transformação e Equações Fundamentais 25

2.4. Perdas no Transformador: Perdas no Cobre e no Núcleo 26

2.5. Eficiência e Rendimento dos Transformadores 27

2.6. Regulação de Tensão e Queda de Tensão 27

2.7. Corrente de Magnetização e Fenômenos de Saturação 28

Capítulo 3: Componentes dos Transformadores 29

3.1. Transformadores a Óleo 29

3.2. Transformadores a Seco de Epóxi 36

Capítulo 4: Ensaios Elétricos em Transformadores 39

4.1. Ensaios de Rotina e Tipo (Normas IEC, IEEE e ABNT) 39

4.2. Ensaios de Isolação 40

4.3. Ensaios de Desempenho 48

4.4. Ensaios de Proteção e Segurança 54

4.5. Ensaios Especiais 56

Capítulo 5: Componentes de Proteção Intrínsecos 58

5.1. Relé Buchholz: Princípio de Funcionamento e Aplicação 58

5.2. Disjuntor sua Função de Proteção 59

5.3. Sistema de Proteção Térmica (Termômetros e Termostatos) 60

5.4. Válvulas de Alívio de Pressão e sua Importância 61

5.5. Proteção Contra Sobretensões (Pára-Raios e Varistores)..... 62

5.6. Sistemas de Monitoramento Online (IoT e Sensores Inteligentes) 63

5.8. Dispositivo de Pressão Súbita..... 64

5.10. Outros Componentes de Proteção e Monitoramento 65

Capítulo 6: Análise de Óleo Mineral em Transformadores 65

6.1. Importância do Óleo Mineral como Isolante e Refrigerante 65

6.2. Propriedades Físicas e Químicas do Óleo Isolante 66

Óleo Mineral 68

Óleo Vegetal (Biodegradável) 69

Óleo de Silicone..... 70

Óleo Naftalênico 70

Óleo Parafínico 72

Ascarel..... 73

6.3. Técnicas de Análise de Óleo..... 76

6.4. Normas Técnicas para Análise de Óleo 78

6.5. Práticas de Manutenção Preventiva com Base na Análise de Óleo..... 79

Capítulo 7: Cálculos e Dimensionamento de Transformadores..... 84

7.1. Cálculo da Corrente Nominal e Capacidade do Transformador 84

7.2. Determinação da Potência Aparente, Ativa e Reativa 85

7.3. Cálculo de Perdas e Eficiência Energética 87

7.4. Dimensionamento do Núcleo Magnético e Enrolamentos..... 88

7.5. Seleção de Materiais para Núcleo e Isolamento..... 90

7.6. Cálculo de Queda de Tensão e Regulação 90

Capítulo 8: Projeto de Transformadores para uma Carga Específica 91

8.1. Definição dos Requisitos da Carga (Tensão, Corrente, Potência).....91

8.2. Seleção do Tipo de Transformador (Óleo ou Seco).....92

8.3. Dimensionamento do Núcleo e Enrolamentos.....93

8.4. Cálculo das Perdas e Eficiência Esperada.....94

8.5. Projeto do Sistema de Refrigeração.....96

8.6. Verificação de Normas Técnicas e Padrões de Segurança...96

8.7. Estudo de Caso: Projeto de um Transformador para uma Subestação Industrial.....96

Capítulo 9: Manutenção de Transformadores de Alta Tensão 97

9.1. Estratégias de Manutenção Preventiva e Preditiva.....97

9.2. Inspeção Visual e Térmica dos Componentes.....98

9.3. Substituição e Tratamento do Óleo Isolante.....99

9.4. Manutenção dos Sistemas de Proteção e Refrigeração 99

9.5. Identificação e Correção de Falhas Comuns.....100

9.6. Normas de Segurança para Manutenção em Alta Tensão...101

Capítulo 10: Normas e Padrões Técnicos.....101

10.1. Normas Internacionais (IEC, IEEE, ANSI) 101

10.2. Normas Brasileiras (ABNT) para Transformadores.....102

10.3. Padrões de Qualidade e Certificações 102

10.4. Conformidade com Regulamentações Ambientais e de Segurança 103

Capítulo 11: Estudos de Caso e Aplicações Práticas.....104

11.1. Transformadores em Subestações de Alta Tensão 104

11.2. Transformadores em Parques Eólicos e Solares.....105

11.3. Transformadores em Sistemas de Transporte Público (Trens e Metrôs) 105

11.4. Falhas Comuns e Lições Aprendidas 106

11.5. Inovações Tecnológicas em Transformadores de Alta Tensão 107

Apêndices.....107
A. Tabelas de Propriedades do Óleo Mineral 107