

Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes

19 a 22 de outubro de 2025

RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

Alain François Sanson Levy

Alain François Sanson Levy, Janaina Gomes da Costa, Angélica rocha

1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A maioria dos artigos recebidos e aprovados se concentraram no tema 13.4, com 14 artigos (41 % dos artigos). Em seguida, foram recebidos e aprovados para o tema 13.1 um total de 12 artigos (35 % dos artigos). Os temas 13.2 e 13.3 somaram um total de 8 artigos, perfazendo um percentual de 24 %.

- Metodologias e técnicas para análise da informação visando obter o desempenho de equipamentos:

Essas metodologias foram aplicadas em efeitos de transitórios eletromagnéticos, nas características dos sistemas isolantes, nos efeitos de resposta em frequência, no grau de polimerização e em procedimentos de manutenção em geral.

Dentre os objetivos das metodologias, destacam-se a verificação de condições operativas dos equipamentos, o tratamento de resultados de cromatografia gasosa, o envelhecimento de dielétricos, a identificação de defeitos internos e pontos quentes, a análise de transitórios e de harmônicos e expectativa de vida útil dos equipamentos.

- Técnicas de ensaio, medição, monitoramento e análise de desempenho:

Dentre os assuntos tratados pode-se citar as técnicas de monitoramento em tempo real dos equipamentos, o monitoramento aplicado em transformadores a seco, as metodologias para monitoramento de descargas parciais online e as técnicas para análise de óleo isolante via analisadores online e sensores de gases.

- Projetos e aspectos construtivos de transformadores e reatores:

Alguns artigos se fixaram nos projetos e características dos reatores e trataram de aspectos voltados para saturação natural, distribuição de energia e reatores de núcleo ferromagnético.

Aspectos relacionados a projetos de transformadores para a integração de fontes renováveis foram apresentados com destaque para os impactos de harmônicos de corrente na elevação de temperatura. Para mitigação dos efeitos transitórios destacam-se as simulações para avaliação do projeto e expectativa de vida útil dos equipamentos.

2.0 - Classificação dos Informes Técnicos

A maioria dos artigos recebidos e aprovados se concentraram no tema 13.4, com 14 artigos (41 % dos artigos). Em seguida, foram recebidos e aprovados para o tema 13.1 um total de 12 artigos (35 % dos artigos). Os temas 13.2 e 13.3 somaram um

total de 8 artigos, perfazendo um percentual de 24 %.

- Metodologias e técnicas para análise da informação visando obter o desempenho de equipamentos:

Essas metodologias foram aplicadas em efeitos de transitórios eletromagnéticos, nas características dos sistemas isolantes, nos efeitos de resposta em frequência, no grau de polimerização e em procedimentos de manutenção em geral.

Dentre os objetivos das metodologias, destacam-se a verificação de condições operativas dos equipamentos, o tratamento de resultados de cromatografia gasosa, o envelhecimento de dielétricos, a identificação de defeitos internos e pontos quentes, a análise de transitórios e de harmônicos e expectativa de vida útil dos equipamentos.

- Técnicas de ensaio, medição, monitoramento e análise de desempenho:

Dentre os assuntos tratados pode-se citar as técnicas de monitoramento em tempo real dos equipamentos, o monitoramento aplicado em transformadores a seco, as metodologias para monitoramento de descargas parciais online e as técnicas para análise de óleo isolante via analisadores online e sensores de gases.

- Projetos e aspectos construtivos de transformadores e reatores:

Alguns artigos se fixaram nos projetos e características dos reatores e trataram de aspectos voltados para saturação natural, distribuição de energia e reatores de núcleo ferromagnético.

Aspectos relacionados a projetos de transformadores para a integração de fontes renováveis foram apresentados com destaque para os impactos de harmônicos de corrente na elevação de temperatura. Para mitigação dos efeitos transitórios destacam-se as simulações para avaliação do projeto e expectativa de vida útil dos equipamentos.

2.1 - Especificação de Transformadores e Reatores para G, T & D (alta tensão de D) - 8

2.2 - Materiais e Componentes Aplicados a Reatores e Transformadores - 5

2.3 - Confiabilidade de Transformadores e Reatores - 7

2.4 - Técnicas de ensaio, medição, calibração, monitoramento e diagnóstico - 14

- Sensor micro fluídico impresso em 3D usando Redes de Período Longo integradas para medição da qualidade do óleo de transformador
- Metodologia para qualificação da condição de transformadores de potência baseado em normas técnicas, análise estatística de dados e conhecimento tácito dos especialistas
- Estimativa da Vida Residual de Transformadores de Potência Baseada na Correlação entre Metanol e o Grau de Polimerização do Papel Isolante
- Determinação de equações de envelhecimento de diferentes sistemas isolantes (papel/óleo)
- Monitoramento de Transformadores: Um Estudo Prático em Busca de uma Metodologia de Manutenção e Gestão do Parque
- Aplicação da Transformada Wavelet na interpretação da Análise de Resposta em Frequência (FRA) para Identificação de Deformações e Curtos-Circuitos em Transformadores
- Medição (Método Elétrico e Acústico combinados) e Monitoramento de Descargas Parciais Online em Transformadores de Potência

- Ferramenta computacional de análise de efeitos transitórios de alta frequência em transformadores de potência
 - Predição de defeitos em reatores da Eletrobras Eletronorte utilizando regras de associação
 - Análise comparativa de técnicas disponíveis para identificação de pontos de descargas parciais (DP) em transformadores elevadores de capacidade 250MVA isolados a óleo.
 - Inventário de PCB: Principais desafios, oportunidades de melhoria e avaliação dos resultados para equipamentos de grande porte e de pequeno porte.
 - Classificação de Descarga de Efeito Corona por meio de Imageamento Ultravioleta
 - Desenvolvimento de Sistema Inteligente para Monitoramento e Diagnóstico de Transformadores de Potência – Subestação Digital
 - Metodologia de Baixo Impacto operacional para o Monitoramento On-Line de Transformadores a Seco
-
- Aprendizado de Máquina Aplicado à Previsão de Anomalias em Transformadores e Reatores a partir da Cromatografia Gasosa do Óleo Isolante
 - Análise modal numérica e experimental de reatores shunt a óleo
 - Análise de gases dissolvidos: analisadores on-line vs. análise laboratorial - estudo de caso
 - MONITORAMENTO ONLINE E CONTÍNUO PARA TRANSFORMADORES E REATORES: CENÁRIO LEVANTADO ATRAVÉS DE PESQUISA DO GT A2.07
 - Análise do efeito de transientes de tensão em transformadores aplicados em geração solar fotovoltaica distribuída
 - Metodologia Multicritério para Priorizar a Substituição e Manutenção de Transformadores de Energia
 - Análise avançada dos impactos de harmônicos de corrente no aquecimento e no hotspot de transformadores especiais
-
- APLICAÇÃO DO LCC NO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADORES ELEVADORES NA GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA
 - PROJETO, FABRICAÇÃO E ENSAIOS DE UM REATOR COM SATURAÇÃO NATURAL (RSN) DE 69 KV E 20 MVAR PARA OPERAÇÃO NO SISTEMA DA ELETROBRAS-CHESF
 - Cubículos Individuais de Transformadores e Reatores: Proposta de Solução Universal para Interface suportando três gerações de comunicação
 - A importância da utilização de anéis equipotenciais em transformadores de potência
 - Understanding the Complementary Role of Partial Discharge Monitoring in Transformer Health Assessment
-
- Análise Transitória de Desempenho do Reator de Saturação Natural (RSN) em Sistemas Elétricos de Potência
 - Avaliação do hotspot e seu posicionamento em enrolamentos de transformadores de acordo com o tap de tensão empregando modelo termo-hidráulico
 - Interações Eletromagnéticas e Mecânicas Aplicadas ao Projeto de Reatores Shunt com Núcleo Ferromagnético
 - Inovação em Reatores Shunt com Enrolamento Secundário: Solução Integrada para Gerenciamento de Potência e Distribuição de Energia
 - ANÁLISE DAS PERDAS EM BLINDAGENS ELETROSTÁTICAS DE TRANSFORMADORES CONECTADOS A INVERSORES EMPREGANDO SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

- Correlação Entre o Ensaio de Elevação de Temperatura e a Influência de Correntes Harmônicas em Transformadores de Potência
- Análise de Transitórios Eletromagnéticos de Alta Frequência em Enrolamentos de Transformadores Através de Modelo Caixa Branca e Medições Experimentais
- AVALIAÇÃO DE PERDAS ECONÔMICAS DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA - UM ESTUDO COMPARATIVO COM PERDAS DOS PROCEDIMENTOS DE REDE DO ONS.

3.0 - Relatório sobre os Informes Técnicos

Título - Análise Transitória de Desempenho do Reator de Saturação Natural (RSN) em Sistemas Elétricos de Potência

Entidade(s) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Bambu - Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda

Autor(es) - Augusto César Cavalcanti de Oliveira, Vicente Ribeiro Simoni, Carlos Augusto da Cunha Santiago, Marcelo José de Albuquerque Maia, Luiz Antônio Magnata da Fonte, Matheus Vinícius Ferro de Oliveira

Resumo

Augusto César Cavalcanti de Oliveira¹, Carlos Augusto da Cunha Santiago¹, Luiz Antônio Magnata da Fonte¹, Vicente Ribeiro Simoni¹, Matheus Vinícius Ferro de Oliveira¹

¹Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Marcelo José de Albuquerque Maia²

²Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF

RESUMO

Um dos principais problemas enfrentado pelo setor elétrico consiste no controle da potência reativa e consequentemente do controle da tensão das barras de uma rede elétrica [1]. O compensador estático de reativo (CER), conhecido também pela sigla SVC (Static VAR Compensator), constitui-se em um dispositivo FACTS (Flexible AC Transmission Systems), o qual tem sido largamente empregado pelas concessionárias como resposta as demandas do sistema elétrico para o controle de tensão essencial à operação do sistema. O CER/TCR é composto por um TCR (Thyristor Controlled Reactors) funcionando em paralelo com o capacitor que terá o seu desempenho transitório comparado com o CER/RSN que é composto por um RSN (Reator de Saturação Natural) em paralelo com o capacitor. A indutância do CER/RSN é controlada pela saturação dos núcleos do RSN, ou seja, a partir de uma tensão de saturação ou de joelho especificada o reator começa a operar a fim de controlar a tensão da barra. O RSN possui as vantagens de ser um equipamento robusto; apresentar poucas componentes harmônicas; de se conectar diretamente à rede, sem necessidade de transformador abaixador e de não necessitar de sistemas de controles discretos durante sua operação. Todavia, a falta de modelos predefinidos do CER/RSN nas bibliotecas dos principais programas de análise dinâmica, diferentemente do CER/TCR, dificulta a realização de estudos dinâmicos com o seu uso. Entretanto, a similaridade das respostas transitórias entre esses dois tipos de CERs, como tentaremos demonstrar, valida a representação do CER/RSN pelo modelo dinâmico do CER/TCR, levando-se em conta certas adequações.

Perguntas do REP:

1 Há relatos a respeito do desempenho operativo dos reatores de saturação natural? 2. Qual o nível de complexidade da especificação, projeto, fabricação dessa tecnologia de reatores quando comprada ao TCR? 3. Na opinião dos autores, quais as dificuldades para adoção dessa tecnologia de forma ampla no SIN?

2 Na opinião dos autores, quais as dificuldades para adoção dessa tecnologia de forma mais ampla no SIN?

3 Qual o nível de complexidade relativo à especificação, projeto e fabricação desses reatores comparados ao TSR?

Perguntas e Respostas

1. Há relatos a respeito do desempenho operativo dos reatores de saturação natural ?

2. Qual o nível de complexidade da especificação ,projeto ,fabricação dessa tecnologia de reatores quando comprada ao TCR ?

3. Na opinião dos autores , quais as dificuldades para adoção dessa tecnologia de forma ampla no SIN ?

2. Na opinião dos autores , quais as dificuldades para adoção dessa tecnologia de forma mais ampla no SIN ?

3. Qual o nível de complexidade relativo à especificação, projeto e fabricação desses reatores comparados ao TSR ?

Título - Avaliação do hotspot e seu posicionamento em enrolamentos de transformadores de acordo com o tap de tensão empregando modelo termo-hidráulico

Entidade(s) - Universidade Federal de Santa Maria,Fundação Universidade Federal do Pampa

Autor(es) - Leonardo Hautrive Medeiros,Micael Marcio Oliveira,João Pedro Pranke Perin,Carlos Eduardo Guex Falcão,Vitor Cristiano Bender,Tiago Bandeira Marchesan

Resumo

Avaliação do hotspot e seu posicionamento em enrolamentos de transformadores de acordo com o tap de tensão empregando modelo termo-hidráulico

Leonardo H. Medeiros¹, Micael M. Oliveira², João Pedro P. Perin¹, Carlos Eduardo G. Falcão¹, Vitor C. Bender¹, Tiago B. Marchesan¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, ²Universidade Federal do Pampa

RESUMO

A localização do hotspot é fundamental para o dimensionamento de um sistema de monitoramento de temperaturas eficiente. Este artigo apresenta uma análise da distribuição das temperaturas em enrolamentos de um transformador com comutação a vazio, investigando o ponto mais quente em função da derivação utilizada. Utiliza-se um modelo analítico termo-hidráulico (TH), baseado em redes de resistências hidráulicas e térmicas, capaz de determinar as temperaturas ao longo do enrolamento. O modelo é executado a partir dos dados construtivos do

equipamento e da distribuição das perdas ao longo das bobinas. O estudo de caso é realizado em um transformador elevador trifásico, 70 MVA, 69-230 kV. As perdas são calculadas analiticamente e fornecidas pela fabricante do transformador, bem como as demais informações necessárias para executar o modelo TH. São avaliadas as temperaturas para três diferentes cenários: taps (i) nominal, (ii) mínimo e (iii) máximo. Para cada um dos três taps são analisadas as perdas calculadas e as distribuições de temperaturas obtidas. A partir do modelo TH, verificou-se que a distribuição das perdas tem grande influência nas temperaturas finais atingidas pela bobina, de modo que para diferentes condições de taps, foram constatados diferentes posicionamentos e níveis de hotspots, podendo estar localizados em regiões diferentes da de topo, como esperado. Isso evidencia a necessidade de uma avaliação detalhada das temperaturas para todos os possíveis cenários de operação do transformador. Conhecendo o comportamento térmico e a localização do hotspot para cada cenário, é possível otimizar o projeto e evitar falhas, bem como prolongar a vida útil do equipamento.

Perguntas do REP:

1 No transformador utilizado para a validação das temperaturas calculadas e medidas, havia quantos sensores de fibra óptica e em quais pontos foram instalados?

2 Foi realizado um comparativo da medição com fibra óptica com o método de medição via imagem térmica e o modelo termo hidráulico proposto no trabalho

3 Os ensaios de elevação de temperatura realizado neste transformador foi realizado em todos os estágios de resfriamento do equipamento?

Perguntas e Respostas

1- No transformador utilizado para a validação das temperaturas calculadas e medidas, havia quantos sensores de fibra óptica e em quais pontos foram instalados?

O transformador foi projeto e fabricado com 9 sensores de fibra óptica para validação da modelagem analítica e monitoramento de temperatura. Estes 9 sensores foram instalados todos nos enrolamentos de alta tensão (AT), sendo 3 em cada fase do equipamento trifásico. A localização dos sensores é a mesma nas três fases: considerando que a AT possui 132 discos, uma fibra foi alocada no disco 02 (base), uma no disco 66 (meio) e uma no disco 131 (topo).

2- Foi realizado um comparativo da medição com fibra óptica com o método de medição via imagem térmica e o modelo termo hidráulico proposto no trabalho?

Não foi feita uma comparação com o método de medição via imagem térmica. Devido aos dados disponíveis, o estudo concentrou-se na comparação entre a medição por sensores de fibra óptica e o cálculo através do modelo termo-hidráulico analítico.

3- O ensaios de elevação de temperatura realizado neste transformador foi realizado em todos os estágios de resfriamento do equipamento?

O transformador analisado no estudo de caso apresentado possui apenas um estágio de resfriamento, com os dois trocadores de calor do tipo placa operando juntos. Para o estudo, foram disponibilizados valores de medição para o ensaio de elevação no tap 5, tido como crítico, uma vez que opera sob maiores níveis de corrente.

Título - Interações Eletromagnéticas e Mecânicas Aplicadas ao Projeto de Reatores Shunt com Núcleo Ferromagnético

Entidade(s) - WEG, WEG EQUIPAMENTOS ELETRICOS S/A, WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A - Transformadores

Autor(es) - PEDRO CARVALHO SILVA BARCELOS, Guilherme Santos Machado, Gabriel Cipolatto Nogueira, Diogo Fernando Harmel

Resumo

Pedro Carvalho Silva Barcelos 1, Mauricio Valencia Ferreira da Luz 2, Gabriel Cipolatto Nogueira 1, Guilherme Santos Machado 1, Diogo Fernando Harmel 1

1 WEG Transmissão e Distribuição, 2 EEL/CTC/UFSC

RESUMO

O reator shunt com núcleo ferromagnético é amplamente utilizado em sistemas elétricos para compensar o comportamento capacitivo de longas linhas de transmissão, contribuindo para a estabilidade da tensão em condições de baixa carga. Sua parte ativa é composta por colunas com discos magnéticos e enrolamentos, imersos em óleo isolante dentro de um tanque metálico. O projeto deve atender a requisitos de tensão, potência, perdas e reatância, sem provocar saturação magnética, e enfrenta desafios como não linearidades do núcleo, dispersão de fluxo e forças magnéticas, incluindo tensões de magnetostrição. A complexidade do projeto está associada ao comportamento dinâmico estrutural, o qual pode levar à excitação de modos críticos de vibração e à geração de ruído acústico. As principais fontes de excitação mecânica são as forças de Maxwell nos entreferros, as forças de magnetostrição nos discos e a força de Laplace nos enrolamentos. Este trabalho apresenta resultados parciais de um projeto de pesquisa e desenvolvimento em andamento na WEG Transmissão e Distribuição, envolvendo simulações magnéticas e mecânicas de reatores shunt. As deflexões verticais causadas pelas forças magnéticas são calculadas por meio de simulações magneto-mecânicas e de um modelo analítico. Os resultados indicam que as discrepâncias entre as abordagens numérica e analítica permaneceram abaixo de 4%, valor atribuído às hipóteses e simplificações adotadas na formulação das equações analíticas. A próxima etapa do projeto consiste na realização de medições em reatores shunt, com o objetivo de comparar os resultados obtidos por simulação e modelagem analítica com dados experimentais.

Perguntas do REP:

1 Considerando que no Sistema elétrico brasileiro temos aplicação de reatores fixos e manobráveis, os autores entendem que o projeto mecânico do reator deve ser diferente?

2 Como os autores pretendem validar as simulações e modelagem analítica no futuro?

3 Há previsão de término e conclusão da pesquisa?

Perguntas e Respostas

1- Considerando que no Sistema elétrico brasileiro temos aplicação de reatores fixos e manobráveis, os autores entendem que o projeto mecânico do reator deve ser diferente?

1- Considerando que no Sistema elétrico brasileiro temos aplicação de reatores fixos e manobráveis, os autores entendem que o projeto mecânico do reator deve ser diferente?

As solicitações mecânicas dinâmicas sobre reatores – fixos ou manobráveis - tendem a ser pouco significativas, uma vez que a curva de magnetização é substancialmente linear (devido ao entreferro ou ao núcleo de ar), o que limita a saturação do circuito magnético e reduz a corrente de energização a níveis modestos, não caracterizando o inrush típico de transformadores. Desta forma, mesmo sempre sendo consideradas as peculiaridades de cada caso, o projeto mecânico destes reatores segue essencialmente uma mesma perspectiva conceitual.

2- Como os autores pretendem validar as simulações e modelagem analítica no futuro?

O processo de validação foi efetuado por meio da medição de ruído e vibração na estrutura analisada abrangendo projetos e momentos distintos. Os resultados obtidos foram comparados com aqueles gerados em condições equivalentes, utilizando simulação numérica e modelo analítico.

3- Há previsão de término e conclusão da pesquisa?

A pesquisa foi concluída, pois os resultados demonstraram uma convergência satisfatória entre os métodos estudados, e os resultados de ruído e vibração obtidos nas verificações laboratoriais.

Título - Inovação em Reatores Shunt com Enrolamento Secundário: Solução Integrada para Gerenciamento de Potência e Distribuição de Energia

Entidade(s) - HITACHI ENERGY BRASIL LTDA.

Autor(es) - Wilerson Venceslau Calil, Nadia Bentz de Souza Amaral

Resumo

W.V.Calil*; N. Amaral

Hitachi Energy Brasil

RESUMO

Reatores shunt desempenham um papel fundamental em sistemas elétricos de potência, sendo utilizados principalmente para estabilizar a tensão e gerenciar a potência reativa em redes que apresentam grandes cargas indutivas [1]. Esses dispositivos são essenciais em sistemas de transmissão de alta tensão, onde o fluxo de potência reativa precisa ser balanceado, especialmente em linhas de longa distância, onde há o risco de elevação excessiva da tensão devido à presença de cargas indutivas. Tradicionalmente, os reatores shunt são diretamente conectados à rede elétrica e absorvem o excesso de potência reativa, contribuindo para a manutenção de níveis estáveis de tensão em sistemas de energia complexos [2].

O presente trabalho propõe uma inovação na aplicação de reatores shunt fixos, que agora incorporam um enrolamento secundário capaz de fornecer até 10% da potência nominal do reator para uma carga externa. Essa carga pode ser de natureza capacitiva, indutiva ou resistiva, e o enrolamento secundário opera de maneira semelhante a um transformador. Isso permite que o reator alimente diretamente pequenas cargas a partir da rede, sem a necessidade de

transformadores convencionais. Essa solução é particularmente vantajosa em áreas remotas ou em locais onde a instalação de um transformador de potência não é prática ou viável, oferecendo uma abordagem integrada em que o reator shunt desempenha uma função dupla: estabilização de tensão e fornecimento de energia.

Perguntas do REP:

- 1 Qual foi o valor proporcional das perdas totais do reator com o enrolamento secundário? Para esta solução seria recomendado quais proteções no enrolamento secundário?
- 2 Os ensaios dielétricos realizados no enrolamento secundário foram os mesmos dos realizados em um transformador? E o ensaio de elevação de temperatura, foi realizado em quais condições?
- 3 Comparando a solução apresentada com a solução de transformadores de potencial indutivo com secundário com potência suficiente para alimentação de cargas, qual seriam as vantagens da solução apresentada no artigo?

Perguntas e Respostas

1- Qual foi o valor proporcional das perdas totais do reator com o enrolamento secundário? Para esta solução seria recomendado quais proteções no enrolamento secundário?

As perdas calculadas para o enrolamento auxiliar são da ordem de 7% das perdas do enrolamento principal. As proteções recomendadas são as mesmas aplicáveis ao terminal de AT.

2- Os ensaios dielétricos realizados no enrolamento secundário foram os mesmos dos realizados em um transformador? E o ensaios de elevação de temperatura, foi realizado em quais condições?

Foram feitos ensaios dielétricos (impulso, aplicada, induzida). O ensaio de elevação de temperatura foi feito para o enrolamento de AT com os terminais do enrolamento secundário em aberto.

3- Comparando a solução apresentada com a solução de transformadores de potencial indutivo com secundário com potência suficiente para alimentação de cargas, qual seriam as vantagens da solução apresentada no artigo?

A vantagem da solução apresentada é o secundário poder suprir uma potência maior que um TP, ou até mesmo um reator com enrolamento auxiliar poderia suprir. Sua aplicação seria para áreas remotas, onde há apenas o reator instalado e haja necessidade de uma alimentação secundária para cargas maiores.

Título - ANÁLISE DAS PERDAS EM BLINDAGENS ELETROSTÁTICAS DE TRANSFORMADORES CONECTADOS A INVERSORES EMPREGANDO SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Entidade(s) - Universidade Federal de Santa Maria

Autor(es) - Ana Paula da Silva Bastianello, Tiago Bandeira Marchesan, Vitor Cristiano Bender, João Pedro Pranke Perin, Leonardo Hautrive Medeiros, Patricia Tomalak Liss

Resumo

Ana Paula da Silva Bastianello, Patricia Tomalak Liss, João Pedro Pranke Perin, Leonardo Hautrive Medeiros, Vitor Cristiano Bender, Tiago Bandeira Marchesan Universidade Federal de Santa Maria

RESUMO

Conforme a demanda por energia aumenta e os transformadores enfrentam desafios crescentes com harmônicas de alta frequência, o uso de blindagens eletrostáticas otimizadas torna-se crucial para minimizar perdas por correntes parasitas. Este artigo investiga o comportamento das perdas em diferentes configurações de segmentação de blindagens de 1 a 12 seções com variações de espessura de 0,45 a 1,35 mm, mediante simulações numéricas no ANSYS Maxwell® com base no Método dos Elementos Finitos. Além disso, verifica o impacto nas perdas por correntes parasitas na bobina de AT do transformador. Como conclusão, pode-se observar que a divisão da blindagem em diversas seções é o melhor método para redução das perdas, enquanto a espessura da blindagem apresenta um comportamento não tão previsível, podendo ser tanto benéfica quanto maléfica, ao ponto de vista das perdas. Os efeitos nas perdas por corrente parasitas nas bobinas sofreu influência quase nula para as diferentes blindagens.

Perguntas do REP:

- 1 A abordagem apresentada poderia ser extrapolada para transformadores de grande porte?
- 2 Houve a medição das perdas do transformador objeto do estudo?
- 3 No transformador objeto do estudo apresentado, estava previsto a medição de temperatura por fibra óptica?

Perguntas e Respostas

1- A abordagem apresentada poderia ser extrapolada para transformadores de grande porte?

Entende-se que a metodologia pode ser aplicada para quaisquer transformadores que apresentem bobinas concêntricas. Entretanto, é necessário averiguar a limitação do uso de uma abordagem axissimétrica, que não apresenta o comportamento completo tridimensional do fluxo disperso. Pode ser necessário, a depender do projeto e da criticidade, uma análise mais detalhada nesse sentido.

2- Houve a medição das perdas do transformador objeto do estudo?

As medições disponíveis de perdas do transformador em estudo são agrupadas como perdas em carga e perdas a vazio. Não há dados além da simulação, sobre os valores de perdas de forma isolados nas blindagens.

3- No transformador objeto do estudo apresentado, estava previsto a medição de temperatura por fibra óptica?

O transformador analisado não apresenta medições por fibra óptica.

Título - Correlação Entre o Ensaio de Elevação de Temperatura e a Influência de Correntes Harmônicas em Transformadores de Potência

Entidade(s) - CPFL ENERGIAS RENOVAVEIS S.A.

Autor(es) - Matheus Muniz da Silveira

Resumo

RESUMO

Mesmo especificando o fator k correto para o projeto de transformadores de potência com alta incidência de correntes harmônicas e projetando-os para minimizar perdas adicionais, não é garantido que estejam livres de sobre temperatura, o que pode prejudicar sua vida útil. O método normatizado de ensaio de elevação de temperatura em transformadores de potência, realizado com corrente de frequência fundamental, verifica a temperatura em sobrecarga, ignorando perdas por distorções harmônicas.

Este trabalho visa divulgar lições aprendidas na especificação de transformadores para locais com correntes não senoidais, destacando cuidados nos testes de aceitação em fábrica para validar temperaturas de projeto em sobrecarga e os efeitos práticos de curvas térmicas sem correções para condições reais de operação. Comparações de resultados de ensaios de elevação de temperatura, considerando ou não correntes harmônicas, serão apresentadas, evidenciando riscos à garantia de fabricação, vida útil do transformador e operação de parques eólicos devido à limitação de potência.

O estudo enfatiza a importância de adaptar métodos de ensaio e especificações técnicas dos transformadores às condições reais de operação, considerando impactos das correntes harmônicas. Isso promove uma abordagem mais precisa e eficiente para o gerenciamento térmico dos transformadores, reduzindo riscos de falhas e aumentando a confiabilidade dos equipamentos em ambientes desafiadores como parques eólicos. Ajustes podem estender a vida útil dos transformadores, otimizar desempenho, aumentar eficiência e capacidade de carga, e reduzir custos de manutenção e substituição.

Perguntas do REP:

- 1 Na especificação do equipamento em análise quais foram os limites adotados para as perdas (em vazio e em carga)? O que os autores acham sobre a possibilidade de adoção de um menor limite de perdas para estes casos?
- 2 O que os autores entendem sobre a referência de temperatura ambiente média de 30° C por 24 horas para o cálculo da expectativa de vida útil? É realista levando considerando 2 condições contraditórias: (1) considerar o período noturno tipicamente reduz a média efetiva 2) com o aquecimento global as temperaturas estão tipicamente acima da média)?
- 3 Qual é a opinião dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura?

Perguntas e Respostas

1- Na especificação do equipamento em análise quais foram os limites adotados para as perdas (em vazio e em carga)? O que os autores acham sobre a possibilidade de adoção de um menor limite de perdas para estes casos?

2- O que os autores entendem sobre a referencia de temperatura ambiente media de 30° por 24 horas para o cálculo da expectativa de vida útil: é realista levando considerando 2 condições contraditórias 1) considerar o período

noturno tipicamente reduz a media efetiva 2) com o aquecimento global as temperaturas estão tipicamente acima da media.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

3- Qual a opiniao dos autores sobre a adoção de medição direta de temperatura (fibra óptica) para aceitação do ensaio de elevação de temperatura.

Título - Análise de Transitórios Eletromagnéticos de Alta Frequência em Enrolamentos de Transformadores Através de Modelo Caixa Branca e Medições Experimentais

Entidade(s) - Universidade Federal de Santa Maria

Autor(es) - Leonardo Hautrive Medeiros, Rafael Concatto Beltrame, Maria Cecília Caldeira Vieira, João Pedro Pranke Perin, Mateus Paiva Stochero, Vitor Cristiano Bender, Tiago Bandeira Marchesan, Jovana dos Santos Argenta

Resumo

P. Stochero¹, J. Argenta¹, R. C. Beltrame¹, M. C. C. Vieira¹, L. H. Medeiros¹, J. P. P. Perin¹, V. C. Bender¹, T. B. Marchesan¹

¹Universidade Federal de Santa Maria - Instituto de Redes Inteligentes (INRI)

RESUMO

Transformadores de potência são fundamentais para o funcionamento do sistema elétrico e estão sujeitos a diversas solicitações elétricas, térmicas e mecânicas. Entre elas, destacam-se os transitórios eletromagnéticos de alta frequência, originados por descargas atmosféricas ou por chaveamentos na rede elétrica, especialmente em disjuntores isolados a SF6. Esses transitórios podem provocar distribuições de tensão elevadas ao longo dos enrolamentos, ultrapassando os limites de projeto e comprometendo a isolação do transformador. Com o aumento da frequência de manobras na rede, cresce a importância de se analisar detalhadamente o comportamento dos transformadores frente a esses eventos. Este trabalho apresenta uma análise comparativa da resposta transitória de diferentes tipos de bobinas, como as do tipo disco contínuo, disco entrelaçado e combinações entre ambas. Utiliza-se um modelo analítico do tipo caixa-branca, baseado nas características construtivas do transformador, que permite a modelagem de resistências, capacitâncias e indutâncias, formando redes equivalentes que podem ser simuladas em diferentes softwares. Além disso, ensaios experimentais são realizados com bobinas instrumentadas em laboratório, utilizando gerador de impulsos repetitivos e osciloscópio para capturar a resposta transitória em diferentes pontos dos enrolamentos. Os resultados obtidos permitem avaliar o desempenho de cada tipo de bobina frente a transitórios de alta frequência e validam a aplicação do modelo analítico no processo de projeto. Com isso, contribui-se para o desenvolvimento de transformadores mais robustos e confiáveis, alinhados às exigências do sistema elétrico moderno e à necessidade de garantir a continuidade e segurança no fornecimento de energia elétrica.

Perguntas do REP:

- 1 A conclusão sobre o desempenho frente à transitórios de bobina tipo interleaved e intershield pode ser aplicada a outros tipos de transitórios além do impulso atmosférico?
- 2 Quais os principais desafios para aperfeiçoamento do modelo apresentados?
- 3 Qual a opinião dos autores sobre a solicitação de modelos de alta frequências em especificações de reatores e transformadores e quais as dificuldades para que esses modelos sejam fornecidos?

Perguntas e Respostas

1. A conclusão sobre o desempenho frente à transitórios de bobina tipo interleaved e intershield pode ser aplicada a outros tipos de transitórios além do impulso atmosférico?

Sim. Embora os ensaios apresentados tenham sido realizados com impulso atmosférico padronizado, as conclusões sobre o desempenho relativo das bobinas interleaved e intershield podem ser estendidas a outros transitórios de alta frequência, como os provenientes de manobras de disjuntores ou ressonâncias internas. Isso porque as diferenças observadas decorrem principalmente da geometria e distribuição de capacitâncias e indutâncias nos enrolamentos, características que afetam a propagação e a distribuição de tensões para qualquer excitação de conteúdo espectral elevado. No entanto, a resposta quantitativa (valores de pico, tempos de frente e de cauda) pode variar conforme o tipo de frente de onda e a frequência predominante do transitório, exigindo estudos ou ensaios específicos para cada caso.

2. Quais os principais desafios para aperfeiçoamento do modelo apresentados?

O aperfeiçoamento do modelo apresentado no artigo enfrenta desafios ligados à validação experimental e à representação dos fenômenos internos do transformador. A reprodução controlada de transitórios de alta frequência em condições de laboratório é limitada pela disponibilidade de infraestrutura adequada, sendo necessário dispor de arranjos de ensaio capazes de aplicar impulsos com parâmetros controlados, registrar respostas com alta resolução temporal e garantir condições apropriadas de aterramento e isolamento elétrico. Além disso, mesmo utilizando a abordagem caixa-branca baseada em parâmetros construtivos, persistem desafios para capturar efeitos complexos de acoplamento eletromagnético e distribuição de campo em regiões específicas do enrolamento, ajustar o modelo para diferentes geometrias sem acesso a dados construtivos detalhados e ampliar sua aplicabilidade para diversos tipos de transitórios, mantendo estabilidade e coerência física. Dessa forma, o avanço do modelo depende tanto da ampliação da base experimental para calibração e validação quanto do refinamento de sua capacidade de representar, com precisão e viabilidade prática, o comportamento dinâmico de diferentes configurações de transformadores.

3. Qual a opinião dos autores sobre a solicitação de modelos de alta frequências em especificações de reatores e transformadores e quais as dificuldades para que esses modelos sejam fornecidos ?

Consideramos importante a solicitação de modelos de alta frequência nas especificações de reatores e transformadores, pois esses modelos permitem prever com precisão o comportamento dos equipamentos frente a transitórios eletromagnéticos, contribuindo para o desenvolvimento de projetos mais robustos e confiáveis. No entanto, a disponibilização desses modelos enfrenta dificuldades significativas. Entre elas, destacam-se a necessidade de acesso a dados construtivos detalhados, o elevado custo computacional e de modelagem associado às abordagens mais precisas, e a carência de infraestrutura laboratorial capaz de validar tais modelos em condições representativas. Essas barreiras dificultam tanto a elaboração quanto a entrega de modelos que mantenham coerência física, estabilidade e aplicabilidade para diferentes cenários de operação.

Título - AVALIAÇÃO DE PERDAS ECONÔMICAS DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA - UM ESTUDO COMPARATIVO COM PERDAS DOS PROCEDIMENTOS DE REDE DO ONS.

Entidade(s) - PROLEC GE Transmissão de Energia LTDA.

Autor(es) - Paulo Fragomeni Bicca

Resumo

Paulo Fragomeni Bicca, Ito Carlos Capinos

Prolec GE Brasil

RESUMO

Nas especificações técnicas de transformadores de potência ao redor do mundo nota-se que é comum haver requerimentos de eficiência, valores de perdas garantidas e em outros casos os requerimentos não são valores específicos de perdas, mas valores de capitalização em dólar/kW ou real/kW (US\$/kW ou R\$/kW) possibilitando o fabricante avaliar o ponto otimizado em que o transformador possui o melhor custo-benefício em questão de perdas/materiais. Este trabalho apresenta um estudo de caso de um autotransformador 224MVA 525-230±10x1,0%-13,8kV, considerando atendimento a diferentes critérios de perdas e eficiência, e comparando os resultados obtidos.

Perguntas do REP:

1 Diante dos resultados apresentados e tendo em vista os valores apresentados no artigo bem como a busca continua por sistemas elétricos mais eficientes, os autores sugerem uma revisão nos atuais valores de perdas exigidos pelo procedimento de rede?

2 O procedimento de rede do ONS prevê limites para perdas totais, considerando o ciclo de carregamento dos transformadores do Sistema de transmissão, os autores sugerem limites distintos para perdas a vazio e em carga?

3 Para os transformadores aplicados no Sistema de distribuição e geração bem como os aplicados na indústria, os quais não fazem parte do escopo da ABNT 5440, não há limites definidos na Normalização. O que os autores sugerem como práticas de especificação?

Perguntas e Respostas

1- Diante dos resultados apresentados e tendo em vista os valores apresentados no artigo bem como a busca continua por sistemas elétricos mais eficientes, os autores sugerem uma revisão nos atuais valores de perdas exigidos pelo procedimento de rede?

Sim, o trabalho propõe a utilização de capitalização de perdas. Os atuais valores dos procedimentos de rede oneram o sistema elétrico por não permitirem a otimização de perdas x custo do equipamento. O trabalho proposto vai em linha com a sugestão já feita pelo grupo de estudos CE14.01 em 2004 quando o procedimento de rede foi revisado e acrescentado a ele a tabela de perdas feita pelo mesmo grupo de estudos.

2- O procedimento de rede do ONS prevê limites para perdas totais, considerando o ciclo de carregamento dos transformadores do Sistema de transmissão, os autores sugerem limites distintos para perdas a vazio e em carga?

Os limites de perdas em carga e a vazio devem ser determinados a partir do valor de R\$/kW específico de cada perda. O valor em R\$ das perdas deve ser definido pelo regulador do sistema elétrico e deve considerar as perdas ao longo de toda vida útil do transformador. Através deste cálculo pode-se otimizar a eficiência do sistema elétrico brasileiro.

3- Para os transformadores aplicados no Sistema de distribuição e geração bem como os aplicados na indústria, os quais não fazem parte do escopo da ABNT 5440, não há limites definidos na Normalização. O que os autores sugerem como práticas de especificação?

O trabalho visa demonstrar que tanto transformadores do operador nacional quanto transformadores que não fazem parte da rede básica, devem ter o custo das perdas avaliados ao longo de toda vida útil. Para isto o cálculo considerando valores capitalização de perdas faz com que a eficiência da operação até o fim da útil do transformador seja otimizada. Porém para isso se faz de extrema importância que o cliente calcule o valor R\$/kW.

Título - APLICAÇÃO DO LCC NO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADORES ELEVADORES NA GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA

Entidade(s) -

Autor(es) - NARUBIA MIRANDA MAGALHAES, Mariana Gomes Costa, Wannder Cabral Gonçalves

Resumo

Narúbia Miranda Magalhães, Mariana Gomes Costa; Sávio Souza Fontenele, Wander Cabral Gonçalves

CBA – COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO

RESUMO

Um dos maiores desafios da gestão de ativos é definir uma estratégia viável para revitalizações ou substituições, considerando não apenas as características de cada um dos ativos, mas também todo o contexto econômico ao qual estes estão submetidos. Muito se fala em garantir a máxima confiabilidade dos ativos e da necessidade de acompanhar os avanços tecnológicos que vem surgindo de forma acelerada, mas pouco se fala em uma gestão sustentável de sua obsolescência, com tomadas de decisão considerando não somente fatores técnicos, mas também dados monetários, garantindo assim a competitividade do negócio de geração de energia. Considerando que o custo de aquisição ou revitalização de transformadores elevadores é elevado, para garantir um planejamento estratégico assertivo e que seja capaz de extrair o máximo valor desses ativos, entendeu-se que calcular o custo do ciclo de vida desses ativos seria essencial para a tomada de decisão. Para complementar as análises estatísticas, ensaios preditivos e o custo de ciclo de vida, também foi feito o estudo de obsolescência desses ativos, já que se tratava de ativos com mais de 50 anos de instalação. Nas análises foram avaliados vários cenários econômicos e de gestão de riscos, como a revisão de planos de manutenção, sobressalentes, capacidade produtiva, custos com indisponibilidade, custos com aquisição, custos com revitalização e métodos preditivos, a fim de selecionar a melhor estratégia para o negócio de geração de energia, com a máxima confiabilidade e disponibilidade.

Perguntas do REP:

1 Diante dos resultados encontrados, qual a visão dos autores para os transformadores do Sistema de transmissão, os quais é considerado 35 anos de vida útil regulatória?

2 Nos casos analisados, foi levado em consideração os custos e receitas associados a desativação e venda do transformador com vida útil elevada?

3 Foi considerado nos ganhos associados ao “carbon footprint” para nos casos onde houve um replanejamento da substituição para um horizonte superior?

Perguntas e Respostas

1- Diante dos resultados encontrados, qual a visão dos autores para os transformadores do Sistema de transmissão, os quais é considerado 35 anos de vida útil regulatória?

2- Nos casos analisados, foi levado em consideração os custos e receitas associados a desativação e venda do transformador com vida útil elevada?

3- Foi considerado nos ganhos associados ao “carbon footprint” para nos casos onde houve um replanejamento da substituição para um horizonte superior?

Título - PROJETO, FABRICAÇÃO E ENSAIOS DE UM REATOR COM SATURAÇÃO NATURAL (RSN) DE 69 KV E 20 MVAR PARA OPERAÇÃO NO SISTEMA DA ELETROBRAS-CHESF

Entidade(s) - Bambu - Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda, UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, DATA ENGENHARIA LTDA, Comapnhia Hidro Elétrica do São Francisco

Autor(es) - Luiz Antônio Magnata da Fonte, Marcelo José de Albuquerque Maia, Vicente Ribeiro Simoni, Augusto César Cavalcanti de Oliveira, GUILHERME MASCHIO, Santhiago Guedes Montenegro, Francisco Rodrigues Sabino Junior

Resumo

A. M. da Fonte 1 , M. J. A Maia 1 , E. Maurici 2 , G. Maschio 2 , A. C. C. Oliveira 3 , V. R. Simoni³, F. R. Sabino Jr 4 , S. G. Montenegro 4

1 Bambu Engenharia, 2 DATA Engenharia, 3 UFPE, Eletrobras, 4 Chesf
RESUMO

O presente artigo descreve as etapas cumpridas pelo consórcio UFPE-Chesf-DATA para o desenvolvimento de um RSN de 72,5 kV e 20 Mvar dentro dos regulamentos do programa de P&D da Chesf. A destinação deste RSN será o controle de tensão da subestação de Rio Largo situada no estado de Alagoas, eleita por dispor das condições apropriadas para este fim. A estrutura eletromagnética básica deste RSN, detalhada neste artigo, foi estabelecida com base em metodologia própria da UFPE, comprovada na consecução de protótipos de laboratório e de um RSN de 13,8 kV e 4 Mvar, considerado um cabeça de série na cadeia de inovação dos projetos P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A empresa eleita para a fabricação do RSN foi a DATA Engenharia sediada em Sarzedo, MG, contratada seguindo os trâmites vigentes na Chesf. O projeto executivo do RSN, elaborado pela

DATA, é apresentado em detalhes, como também o processo construtivo, retratado num ensaio fotográfico. Os testes especificados pela Chesf e realizados nas instalações da DATA são relatados e mostram a perfeita adequação do equipamento às normas brasileiras.

Perguntas do REP:

1 O artigo cita que o RSN estava com previsão de instalação em Outubro/2025 e que os ensaios de tipo entre eles elevação de temperatura, ruído e vibração seriam realizados na ocasião do comissionamento. Foi possível realizá-los em campo? Os resultados foram satisfatórios?

2 Considerando as características particulares de vibração e ruído foram especificados valores limites para este projeto?

3 A Aneel reconhece o investimento deste equipamento / solução? Foram realizadas simulações sistêmicas demonstrando o desempenho?

Perguntas e Respostas

1- O artigo cita que o RSN estava com previsão de instalação em Outubro/25 e que os ensaios de tipo entre eles elevação de temperatura, ruído e vibração seriam realizados na ocasião do comissionamento. Foi possível realiza-los em campo? Os resultados foram satisfatórios?

1- O artigo cita que o RSN estava com previsão de instalação em Outubro/25 e que os ensaios de tipo entre eles elevação de temperatura, ruído e vibração seriam realizados na ocasião do comissionamento. Foi possível realiza-los em campo? Os resultados foram satisfatórios?

Uma série de eventos circunstanciais ainda dificultam o processo de instalação do RSN na subestação de Rio Largo, vinculados principalmente à reestruturação experimentada pelo setor elétrico brasileiro. Nesse contexto, não temos previsão para essa instalação nem tampouco para os ensaios de comissionamento.

2- Considerando as características particulares de vibração e ruído foram especificados valores limites para este projeto?

Tendo-se em conta que o RSN será instalado ao tempo, espera-se que este equipamento comporte-se em termos de vibração e ruído conforme estabelece as normas brasileiras para este fim. A apuração dos valores dessas grandezas por ocasião do comissionamento deverá ser orientado pela ABNT 7277.

3- A Aneel reconhece o investimento deste equipamento / solução? Foram realizadas simulações sistêmicas demonstrando o desempenho?

A Aneel já aprovou investimentos em pelo menos três projetos de P&D concluídos pela UFPE que abordava o RSN e suas aplicações em sistemas elétricos; um para a Celpe, atual Neoenergia, tratando da supressão de VTCDs e dois para a Chesf, atual Eletrobras-Chesf, orientado para a limitação da corrente de curto-circuito e regulação de tensão. Entende-se que essa postura representa um reconhecimento formal da Aneel dos benefícios proporcionados por essa técnica para a solução de problemas atuais das redes elétricas nacionais.

Quanto aos estudos sistêmicos poderíamos citar vários artigos sobre o tema já apresentados em SNPTEEs anteriores, mas restringiremos a citação apenas ao relato que está disponibilizado no atual seminário, GAT, ID 1845, de autoria do CEPEL. Neste texto é descrito uma aplicação do RSN na região Nordeste com o

registro dos benefícios auferidos com esta utilização.

Título - Cubículos Individuais de Transformadores e Reatores: Proposta de Solução Universal para Interface suportando três gerações de comunicação

Entidade(s) - CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS SA

ELETOBRAS, Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil - Eletrobras CGT Eletrosul, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

Autor(es) - Mateus Cruz Lunardi, Mateus Alexandrino, Luciano Ribeiro do Vale Jardelino da Costa, Gustavo Vieira Pereira, Pedro Peroni, Vitalcir Pietta

Resumo

Mateus Cruz Lunardi, Gustavo Vieira Pereira, Luciano Ribeiro do Vale Jardelino da Costa, Marcio Rodrigo Gama dos Santos, Mateus Alexandrino, Pedro Peroni, Vitalcir Pietta

Eletrobras

RESUMO

Este trabalho propõe a padronização dos Cubículos Individuais de Transformadores e Autotransformadores para atender diferentes configurações dos Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão adotados pelas subsidiárias da Eletrobras: CHESF, CGT Eletrosul, Furnas e Eletronorte. A padronização trará, para aquisições em lote, independentemente do destino de cada transformador, eficácia logística e financeira.

Os Cubículos Individuais concentram sinais oriundos de diversos subsistemas dos transformadores e são classificados conforme sua criticidade em: desligamento, controle ou supervisão. O trabalho considera três formas de publicação de sinais: fiação direta, barramento de estação e barramento de processo; e quatro gerações de publicações, com diferentes níveis de digitalização.

Para contemplar essas variações, é proposto um projeto de Cubículo Individual modular baseado em unidades funcionais (Unidade de Controle, Expansor de I/O e Merging Units), que podem ser configuradas conforme a necessidade. São analisadas diferentes arquiteturas para distribuição destas funções entre os IEDs que compõem o Cubículo Individual.

Além disso, são definidas diretrizes para o projeto elétrico, com uso obrigatório da nomenclatura IEC 61850 para o escopo lógico, favorecendo a integração com sistemas digitais e a automação das configurações de IEDs e sistema supervisório. A proposta busca harmonizar gerações de publicação e tornar mais eficiente a gestão dos sinais de Transformadores no contexto das novas subestações digitais.

Perguntas do REP:

1 Quais os principais desafios técnicos no estabelecimento de uma especificação técnica única para os CIs para as 4 subsidiárias?

2 No caso da especificação das gerações 2, 3 e 4, quais são os testes solicitados ao fabricante do transformador em fábrica?

3 No caso da especificação das gerações 2, 3 e 4, como se dá a especificação responsabilidade da integração dos sinais na fase de comissionamento?

Perguntas e Respostas

1- Quais os principais desafios técnicos no estabelecimento de uma especificação técnica única para os CIs para as 4 subsidiárias?

Como principal desafio tem-se, para o caso da Eletrobras, a unificação de funcionalidades e sinais. Decidiu-se, num primeiro momento, suportar a quase

totalidade dos sinais padronizados pelas 4 subsidiárias. Em uma segunda etapa, após padronizações de proteção, controle, automação e operação, a quantidade de sinais poderá diminuir. Além disso, as diversas gerações e tecnologias que equacionam as soluções também demandam padronizações que devem interfacear com as soluções de SPCS.

2- No caso da especificação das gerações 2, 3 e 4, quais são os testes solicitados ao fabricante do transformador em fábrica?

A Eletrosul adota um processo de certificação (que provavelmente será padronizado). Anos atrás acompanhei, em fábrica, um colega da área de automação testando comunicação do SAGE com monitores de temperatura e digitalizadores da TreeTech. Aquele foi o único teste de comunicação feito em fábrica. A base de dados do supervisório SAGE foi, naquela ocasião, padronizada e certificada. Nos foram fornecidos dezenas de transformadores e a base não foi modificada consideravelmente a ponto de demandar novos testes em fábrica.

Recentemente nossa especificação (ainda Eletrosul), passou a exigir comunicação MMS. Tivemos um primeiro fornecimento com solução SEL. Desta vez compilei, pessoalmente, a base e realizei processo de padronização e certificação em fábrica. A comunicação MMS demanda parametrização com uso de softwares, diferente dos módulos Tretech (os quais permitem configuração de comunicação no display do equipamento). Assim, criei um protocolo de testes com o softwares IEC Browser, permitindo que colegas que não dominam as configurações de SAGE consigam conferir parâmetros básicos de configuração e comunicação.

Para testes no escopo de barramento de processo, não temos, ainda implantação (me refiro a Eletrosul), mas me atrevo a propor exigências de configurações de mensagens GOOSE que permitirão que as Merging Units sejam intercambiáveis (até o limite de configurações específicas).

3- No caso da especificação das gerações 2, 3 e 4, como se dá a especificação responsabilidade da integração dos sinais na fase de comissionamento?

(Vou considerar que pergunta anterior foi feita e respondida).

Para escopo de barramento de estação (MMS, DNP3), bolamos uma estrutura de lista de pontos que, pelo menos para uma solução padronizada, temos fortíssima conectividade. Trabalho com SAGE e com transformadores. Consigo ir para fábrica e testar a comunicação com o SAGE, mas colegas que não dominam o SAGE poderão testar a comunicação com o IEC Browser.

Para barramento de processo (GOOSE e SV), teremos que orquestrar testes em fábrica a partir de estrutura de comunicação análoga àquela do SPCS no qual o transformador será instalado. GNSS, PRP ou HSR, deverão seguir o padrão do SPCS. Acredito que a Eletrobras, através do trabalho de padronização de SPCS chegará a especificar pacotes GOOSE e SVs que serão publicados pelos cubículos e teremos espaço para desenvolvimento de ferramentas em software para testes em fábrica antes de comissionamentos (tanto sob o ponto de vista do publicador - cubículo, quanto do consumidor - IEDs de proteção e controle)

Fechando a questão: a proposta é sairmos de fábrica com o cubículo configurado e testada para minimizar, senão zerar, as dificuldades de integração em comissionamentos.

Título - A importância da utilização de anéis equipotenciais em transformadores de potência

Entidade(s) - WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A - Transformadores, Weg Equipamentos Eletricos S/A, WEG, WEG EQUIPAMENTOS ELETRICOS S/A

Autor(es) - Diogo Fernando Harmel, Mario Steffen, PEDRO CARVALHO SILVA BARCELOS, Guilherme Santos Machado

Resumo

Mario Steffen, Luiz Carlos dos Santos Vignoto, Diogo Fernando Harmel, Pedro Carvalho Silva Barcelos, Guilherme Santos Machado
WEG Transmissão e Distribuição

RESUMO

Transformadores e autotransformadores de potência são equipamentos elétricos que requerem análises detalhadas sobre a distribuição do campo elétrico ao longo de seus componentes. Essa atenção é especialmente importante nas regiões onde o campo elétrico atinge maior intensidade, como nas cabeceiras dos enrolamentos. Atualmente, estudos dessa natureza contam com o suporte de métodos computacionais avançados, que permitem prever com precisão a distribuição do campo elétrico nos diferentes meios isolantes e em suas interfaces. Este artigo apresenta um estudo de caso sobre um projeto de enrolamento que empregou o Método de Elementos Finitos para otimizar a distribuição do campo elétrico na cabeceira. Essa melhoria foi alcançada por meio da manipulação de parâmetros dimensionais e propriedades constitutivas do anel equipotencial. Neste mesmo estudo também são demonstrados os aspectos geométricos dos enrolamentos sensíveis aos processos de prensagem e tratamento térmico e, os efeitos na performance do sistema de isolamento. Uma análise detalhada do processo de fabricação de equipamentos em alta e extra alta tensão evidencia que a etapa de construção dos enrolamentos, crucial na montagem dos equipamentos, ainda depende de métodos artesanais. Apesar da expertise dos operadores, essa abordagem manual inerentemente introduz uma variabilidade que pode resultar no desalinhamento e/ou deformação de componentes em relação às geometrias projetadas. Consequentemente, torna-se essencial a utilização de materiais com propriedades intrínsecas capazes de minimizar os desvios de processos e garantir uma execução mais consistente e precisa. Esses fatores evidenciam que a durabilidade do equipamento está diretamente ligada à realização de estudos preliminares sobre o comportamento desses materiais quando submetidos a ações mecânicas.

Perguntas do REP:

1 Os autores mencionam o método de elementos finitos em duas dimensões. Considerando que o equipamento, um autotransformador trifásico, possui três dimensões bem distintas, poderiam comentar as aproximações incorridas por ser um modelo 2D e seu limite de validade?

2 Os autores poderiam prover mais detalhes do anel equipotencial e seu domínio de simulação, tais como dimensões, permissividades dos materiais isolantes e condições de contorno (potenciais prescritos ou flutuantes)?

3 Os autores poderiam prover detalhes sobre a simulação de deformação mecânica? A posição do anel equipotencial não está clara neste contexto. Que condição de contorno está sendo considerada? (ex. amplitude e duração da corrente de curto).

Perguntas e Respostas

1. Os autores mencionam o método de elementos finitos em duas dimensões. Considerando que o equipamento, um autotransformador trifásico, possui três dimensões bem distintas, poderiam comentar as aproximações incorridas por ser um modelo 2D e seu limite de validade?

2. Os autores poderiam prover mais detalhes do anel equipotencial e seu domínio de simulação, tais como dimensões, permissividades dos materiais isolantes e condições de contorno (potenciais prescritos ou flutuantes)?

3. Os autores poderiam prover detalhes sobre a simulação de deformação mecânica? A posição do anel equipotencial não está clara neste contexto. Que condição de contorno está sendo considerada? (ex. amplitude e duração da corrente de curto). A Figura 7 carece de grandeza e unidade.

3. Os autores poderiam prover detalhes sobre a simulação de deformação mecânica? A posição do anel equipotencial não está clara neste contexto. Que condição de contorno está sendo considerada? (ex. amplitude e duração da corrente de curto). A Figura 7 carece de grandeza e unidade.

3. Os autores poderiam prover detalhes sobre a simulação de deformação mecânica? A posição do anel equipotencial não está clara neste contexto. Que condição de contorno está sendo considerada? (ex. amplitude e duração da corrente de curto). A Figura 7 carece de grandeza e unidade.

Título - Understanding the Complementary Role of Partial Discharge Monitoring in Transformer Health Assessment

Entidade(s) - Specialty Product Technologies Comercio E Industria de Equipamentos LTDA

Autor(es) - Emilio Morales Cruz

Resumo

Emilio Morales Cruz

Qualitrol

RESUMEN

La falla de transformadores de potencia representa un riesgo significativo debido a sus elevados costos financieros, interrupciones del servicio y posibles impactos ambientales y de seguridad. Por ello, es fundamental identificar de manera temprana cambios anormales en su condición interna para prevenir fallas incipientes. A lo largo del tiempo, se han desarrollado métodos diagnósticos tradicionales y, más recientemente, técnicas avanzadas de monitoreo en línea, las cuales permiten recopilar datos continuamente durante la operación del equipo, optimizando el mantenimiento y gestión de activos envejecidos.

El Monitoreo de Descargas Parciales (PDM) y el Análisis de Gases Disueltos (DGA)

son herramientas esenciales para evaluar el estado de los transformadores. Aunque a menudo se perciben como redundantes, cada técnica ofrece ventajas únicas y complementarias. Mientras que el DGA proporciona información sobre diversos tipos de fallas internas, el PDM destaca en la detección inmediata de fallas de rápida evolución, aquellas que pueden conducir a fallas catastróficas si no se detectan a tiempo.

El PDM permite localizar la fuente de descargas parciales, evaluar la salud del sistema de aislamiento y actuar de manera inmediata, aspectos cruciales para preservar la integridad de los transformadores y la seguridad de las personas. Casos reales demuestran que la implementación del PDM, como complemento al DGA, ha permitido salvar múltiples transformadores de alta tensión, evitando pérdidas millonarias y mejorando los registros de seguridad en las instalaciones. Comprender el papel complementario entre PDM y DGA es fundamental para optimizar las estrategias de mantenimiento y extender la vida útil de los transformadores.

Perguntas do REP:

1 A partir de quais amplitudes de DPs (em pC) seria possível detectar defeitos internos em transformadores de potência no campo usando as técnicas UHF, acústica e por PDM?

2 Qual deve ser o grau de conhecimento técnico dos profissionais que fazem esse tipo de medição nas empresas, para conseguir identificar o tipo de defeito que estaria ocorrendo no interior de transformadores de potência?

3 Os autores poderiam prover detalhes sobre a simulação de deformação mecânica? A posição do anel equipotencial não está clara neste contexto. Que condição de contorno está sendo considerada? (ex. amplitude e duração da corrente de curto).

Perguntas e Respostas

1 – A partir de quais amplitudes de DPs (em pC) seria possível detectar defeitos internos em transformadores de potência no campo usando as técnicas UHF, acústica e por PDM?

2 - Qual deve ser o grau de conhecimento técnico dos profissionais que fazem esse tipo de medição nas empresas, para conseguir identificar o tipo de defeito que estaria ocorrendo no interior de transformadores de potencia?

3. Os autores poderiam prover detalhes sobre a simulação de deformação mecânica? A posição do anel equipotencial não está clara neste contexto. Que condição de contorno está sendo considerada? (ex. amplitude e duração da corrente de curto). A Figura 7 carece de grandeza e unidade.

Título - Aprendizado de Máquina Aplicado à Previsão de Anomalias em Transformadores e Reatores a partir da Cromatografia Gasosa do Óleo Isolante

Entidade(s) - Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil - Eletrobras CGT Eletrosul

Autor(es) - Rafael Freitas Ferreira, THIAGO BETTIN SANCHEZ

Resumo

RESUMO

Transformadores e reatores desempenham papel estratégico nos sistemas de transmissão de energia elétrica, sendo isolados, em sua maioria, por óleo mineral com função dielétrica e de refrigeração. A degradação térmica e elétrica desses materiais gera gases dissolvidos no óleo, cuja análise por cromatografia gasosa — técnica conhecida como DGA (Dissolved Gas Analysis) — permite a identificação de falhas incipientes e a tomada de decisões de manutenção preditiva. No entanto, a interpretação dessa análise depende fortemente da experiência técnica e pode ser beneficiada pelo uso de métodos baseados em inteligência artificial.

Este trabalho explora a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina à análise cromatográfica de óleo isolante, utilizando uma base de dados composta por mais de 12 mil registros de ensaios históricos da Eletrobras CGT Eletrosul, coletados entre 1982 e 2023. Após etapas de saneamento, tratamento estatístico e balanceamento das classes, onze modelos de classificação supervisionada foram testados com dados originais, padronizados e normalizados, utilizando a biblioteca Scikit-Learn em Python.

Os resultados indicam que modelos baseados em árvores de decisão — especialmente o Gradient Boosting — apresentaram os melhores desempenhos em termos de acurácia (>91%) e baixa taxa de falsos positivos (<5%), aspecto crítico para evitar exposição indevida de ativos à falha. Ajustes finos no hiperparâmetro de número de estimadores permitiram alcançar uma relação otimizada entre desempenho preditivo e custo computacional. Conclui-se que a aplicação de aprendizado de máquina à DGA é promissora para aumentar a confiabilidade do diagnóstico e aprimorar a gestão de ativos isolados a óleo no setor elétrico.

Perguntas do REP:

- 1 Como os dados foram tratados e preparados, considerando três abordagens distintas: dados originais, padronizados e normalizados?
- 2 A taxa de acerto foi aferida a partir da comparação com resultado que seria obtido por um critério tradicional?
- 3 A taxa de falso positivo realmente representa um risco. Como superar este risco para além do erro humano?

Perguntas e Respostas

1- Como os dados foram tratados e preparados, considerando três abordagens distintas: dados originais, padronizados e normalizados?

A biblioteca sklearn do python oferece rotinas prontas para realizar este tratamento. Basicamente:

Dados Originais – foram utilizados tal como extraídos do banco de dados, sem transformação nos valores numéricos. Essa abordagem permite avaliar a capacidade do modelo em lidar diretamente com as grandezas reais medidas, mas pode gerar distorções quando existem variáveis em escalas muito diferentes.

Padronização (Standardization) – os dados foram transformados de forma que cada variável passasse a ter média zero e desvio padrão igual a 1. Esse processo reduz os efeitos de variáveis com escalas muito amplas e é especialmente adequado para

algoritmos que dependem da distância ou da dispersão dos dados, como SVM e KNN.

Normalização (Normalization) – os valores foram ajustados para um intervalo comum, geralmente entre 0 e 1. Essa técnica é útil quando se deseja manter a proporcionalidade entre os dados, mas dentro de uma faixa limitada, favorecendo modelos sensíveis a magnitudes absolutas, como redes neurais e árvores de decisão baseadas em ganho de informação.

2- A taxa de acerto foi aferida a partir da comparação com resultado que seria obtido por um critério tradicional?

A resposta a esta pergunta é difícil pois o modelo ele não busca acertar e sim repetir o comportamento da engenharia que rotulou os dados. Portanto, não podemos dizer que o sistema é melhor ou pior que a análise da engenharia, o que dá para afirmar é que o sistema consegue repetir o comportamento da engenharia de manutenção dos últimos 30 anos com uma acurácia de 91%.

3- A taxa de falso positivo realmente representa um risco. Como superar este risco para além do erro humano?

A ferramenta não pode ser usada em substituição a uma engenharia de manutenção capacitada e experiente. Ela apenas fornece um indicativo que algo que deve ou não ser visto de forma mais célere. Levanta pontos de atenção, porém, não se propõe a substituir um grupo de profissionais qualificados.

Título - Análise modal numérica e experimental de reatores shunt a óleo

Entidade(s) - WEG EQUIPAMENTOS ELETRICOS S/A, WEG

Autor(es) - Guilherme Santos Machado, PEDRO CARVALHO SILVA BARCELOS, Gabriel Cipolatto Nogueira

Resumo

Guilherme Santos Machado; Pedro Carvalho Silva Barcelos; Gabriel Cipolatto Nogueira

WEG Equipamentos Elétricos S/A

RESUMO

As frequências naturais em reatores de potência têm efeito direto no ruído emitido por este equipamento. No entanto, há poucos trabalhos na literatura que tratam desta física específica, com a maioria das pesquisas voltadas para simulações multifísicas. Além das análises modais auxiliarem a determinar parâmetros que tornam uma investigação numérica completa, desde os fenômenos eletromagnéticos até o ruído com menos incertezas, elas são extremamente úteis no dia a dia do projeto de equipamentos engenheirados, pois são menos custosas computacionalmente. Visando preencher esta lacuna nos trabalhos de reatores de potência, este trabalho apresenta duas análises modais – uma numérica e outra experimental – que trabalham de maneira complementar para garantir a precisão mútua e definir a influência de alguns fatores nas frequências naturais dos equipamentos estudados. Nominalmente, os parâmetros estudados foram o módulo de Young dos discos magnéticos, a influência da força de prensagem no núcleo e o efeito do apoio dado pela base em que o equipamento se encontra.

Perguntas do REP:

1 Considerando que no Sistema elétrico brasileiro temos aplicação de reatores fixos e manobráveis, os autores entendem que o projeto mecânico do reator deve ser diferente?

2 Na opinião dos autores qual seria a melhor metodologia para avaliação da vibração e frequência natural do projeto de reatores?

3 Qual foi a tensão e potência do reator objeto do estudo? Os resultados podem ser extrapolados para outras tensões / potências?

Perguntas e Respostas

1- Considerando que no Sistema elétrico brasileiro temos aplicação de reatores fixos e manobráveis, os autores entendem que o projeto mecânico do reator deve ser diferente?

As solicitações mecânicas dinâmicas sobre reatores – fixos ou manobráveis - tendem a ser pouco significativas, uma vez que a curva de magnetização é substancialmente linear (devido ao entreferro ou ao núcleo de ar), o que limita a saturação do circuito magnético e reduz a corrente de energização a níveis modestos, não caracterizando o inrush típico de transformadores. Desta forma, mesmo sempre sendo consideradas as peculiaridades de cada caso, o projeto mecânico destes reatores segue essencialmente uma mesma perspectiva conceitual.

2- Na opinião dos autores qual seria a melhor metodologia para avaliação da vibração e frequência natural do projeto de reatores?

A melhor forma de estimar vibração e frequências naturais em fase de projeto é através de simulações numéricas utilizando metodologias previamente calibradas por extensivos experimentos, como apresentado no artigo. A simulação permite a visualização 3D do fenômeno e alteração simplificada de parâmetros em relação a protótipos experimentais. No entanto, calibrar a metodologia de análise através de experimentos é imprescindível, visto que há diversas escolhas de simulação que mesmo com uma base teórica analítica somente por ensaios podem ser validados. Uma vez definida a metodologia, esta pode ser aplicada para diversas máquinas com mesma solução construtiva, mas caso haja mudanças de conceitos, novos ensaios são necessários.

3- Qual foi a tensão e potência do reator objeto do estudo? Os resultados podem ser extrapolados para outras tensões / potências?

O reator em que foi realizado o ensaio foi um 33 MVA e 500 kV. Quanto ao cálculo de frequências naturais, elas dependem apenas de fatores geométricos e das condições de contato e apoio em que o reator se encontra; portanto, a metodologia utilizada pode ser extrapolada para quaisquer tensão e potência. Quanto a vibração, esta depende, além da frequência natural, da magnitude das forças atuantes, e estas não tem um comportamento linear em relação a tensão e potência; embora, as dificuldades para controle destas variáveis são diretamente proporcional a sua magnitude. Portanto, a metodologia pode ser extrapolada, na parte de vibrações, para equipamentos de menor ou igual porte.

Título - Análise de gases dissolvidos: analisadores on-line vs. análise laboratorial - estudo de caso

Entidade(s) - Instituto de tecnologia para o desenvolvimento ,Foz do Chapecó Energia SA

Autor(es) - Kassia dos Santos Kanieski, Joseane Valente Gulmimo, caroline barino neufeld battiston, Michael Rossetto, Jeferson Rafael Pagliarini, Viviane Vicentim Calixto

Resumo

Kassia dos Santos Kanieski¹ Caroline Neufeld¹, Joseane Valente Gulmine¹, Viviane Vicentim Calixto¹, Jeferson Rafael Pagliarini², Michael Rossetto²

¹Lactec, ²Foz do Chapecó

RESUMO

A manutenção preditiva de transformadores inclui o monitoramento periódico dos gases dissolvidos no fluido isolante, que pode ser feito em laboratório ou por sistemas on-line. O monitoramento on-line tem a vantagem de permitir medições contínuas e automatizadas, eliminando a necessidade de coleta e envio de amostras. Com o aumento da utilização dos analisadores on-line, é importante identificar a correlação entre os dados de medição on-line e os resultados obtidos em laboratório, para facilitar a tomada de decisões pelas equipes de manutenção. Neste sentido, este estudo comparou os dados de dois analisadores on-line, AGD-CG e AGD-PAS, com resultados laboratoriais para avaliar a correlação entre os métodos. O AGD-CG utiliza cromatografia em fase gasosa com detecção por condutividade térmica (TCD), enquanto o AGD-PAS emprega espectroscopia de infravermelho com detector fotoacústico. Durante 12 meses, foram realizadas mais de 1.300 medições on-line e seis coletas de óleo para análise laboratorial conforme as normas NBR 7070 e ASTM D3612. Os resultados indicaram boa correlação entre as técnicas, com o AGD-PAS apresentando maior sensibilidade para etano, acetileno e hidrogênio, mas exibindo flutuações e valores discrepantes. O AGD-CG, embora menos sensível para alguns gases, demonstrou maior estabilidade. As maiores diferenças entre os analisadores foram observadas nas medições de metano, monóxido e dióxido de carbono. A comparação entre os métodos on-line e laboratorial também mostrou boa correlação, exceto para oxigênio, cujas concentrações laboratoriais foram superiores, possivelmente devido à contaminação atmosférica. Os resultados reforçam a importância da combinação de métodos de monitoramento para uma avaliação confiável da condição do transformador, garantindo diagnósticos mais precisos e suporte eficiente para a tomada de decisões na manutenção.

Perguntas do REP:

- 1 Como é vista pelos autores a questão de que o sensor on-line passa a ser ele mesmo um ponto de manutenção?
- 2 A presença de acetileno, mesmo na concentração $<1,0$, já é reportada como TRAÇO em laboratório. Como saber se o AGD-PAS está detectando acetileno realmente ou trata-se de erro de leitura?
- 3 Foi possível concluir que há como fazer uma correção nos dados históricos e que é possível ter confiabilidade sem a análise laboratorial com frequência adequada?

Perguntas e Respostas

1- Como é vista pelos autores a questão de que o sensor on-line passa a ser ele mesmo um ponto de manutenção?

Como o analisador é utilizado em equipamentos de grande porte e com alto valor agregado, o gasto com a manutenção dos analisadores é pequeno quando comparado ao prejuízo causado pela falta de acompanhamento dos gases gerados no transformador.

Além disso, existem diferentes modelos de analisadores com diferentes periodicidades de manutenção e valores de peças a serem substituídas. Cabe a concessionária avaliar isso durante a etapa de aquisição do analisador.

2- A presença de acetileno, mesmo na concentração <1,0, já é reportada como TRAÇO em laboratório. Como saber se o AGD-PAS está detectando acetileno realmente ou trata-se de erro de leitura?

Se o analisador on-line detectou acetileno em concentrações abaixo do seu limite de detecção, o resultado não é confiável. Mas, é um alerta para a retirada de amostras e envio para laboratório para verificação.

3- Foi possível concluir que há como fazer uma correção nos dados históricos e que é possível ter confiabilidade sem a análise laboratorial com frequência adequada?

É possível fazer a correlação com os dados com o histórico do equipamento, pois como as leituras são feitas diariamente é possível acompanhar as tendências e as taxas de formação dos gases. É interessante manter a análise laboratorial, principalmente, porque esses equipamentos de monitoramento on-line acabam emitindo alarmes falsos devido as tecnologias de detecção, sendo esta a causa que motivou a realização desse estudo.

Título - MONITORAMENTO ONLINE E CONTÍNUO PARA TRANSFORMADORES E REATORES: CENÁRIO LEVANTADO ATRAVÉS DE PESQUISA DO GT A2.07

Entidade(s) - CPFL Geração de Energia S.A., Cemig Distribuição S.A., Cemig GT

Autor(es) - FLORIANO TORRES NETO, Cassio Bruno de Araujo, JANAINA GOMES DA COSTA, Roberto Asano Junior

Resumo

Floriano Torres Neto 1 *, Cassio Bruno de Araujo 2 , Janaína Gomes da Costa 4 , Roberto Asano Junior 4

1 CPFL Geração, 2 CEMIG-D, 3 CEMIG-GT, 4 UFABC

RESUMO

Transformadores de alta tensão são fundamentais no sistema elétrico ao interligar os diferentes níveis de tensão existentes, estão sujeitos a falhas, desgastes, condições adversas e outros fatores que podem acelerar seu envelhecimento. Essas falhas podem causar restrições operativas, interrupções no fornecimento de energia, danos a equipamentos adjacentes entre outros e implicam em elevado custo e tempo para reparo ou substituição. Como forma de estudar o caso, colocou-se em discussão o monitoramento contínuo de vários parâmetros deste equipamento pelo Cigré e o Grupo de Trabalho A2.07 foi criado para elaborar uma brochura sobre o tema. Foi feita uma pesquisa junto aos agentes com o objetivo de levantar dados reais, experiências e percepções, de maneira que a Brochura Técnica seja próxima do dia a dia dos agentes. Foi construído um questionário técnico sobre vários aspectos do monitoramento contínuo de transformadores e reatores, com o objetivo

de entender as práticas atuais, o nível de adoção dos sistemas, as tecnologias mais prevalentes, os critérios de avaliação para seleção dos parâmetros monitorados, os modos de reação, a análise de dados, os impactos na operação e na manutenção, os principais desafios, entre outros. Assim, antecipando-se à publicação da brochura, que incluirá os resultados completos da pesquisa e suas análises, este artigo abordará a metodologia da pesquisa, o raciocínio subjacente às questões levantadas, o processamento das informações e a expectativa das análises possíveis e seus resultados esperados, antevendo a importância da brochura para o profissional do setor em sua imersão na tecnologia do monitoramento de transformadores e reatores.

Perguntas do REP:

- 1 Na opinião dos autores, quais as dificuldades para adoção de sistemas de monitoramento de forma mais abrangente pelas empresas?
- 2 Com base nos resultados, os sistemas de monitoramento têm se mostrados eficientes, mas prevenção de falhas?
- 3 Qual a opinião dos autores frente ao compartilhamento de informações técnicas entre as empresas de uma forma geral? Tem ocorrido algum impedimento para realização de pesquisas?

Perguntas e Respostas

1. Na opinião dos autores, quais as dificuldades para adoção de sistemas de monitoramento de forma mais abrangente pelas empresas ?

A principal dificuldade vem da necessidade de comprovação de retorno de investimento sendo que outros indicadores menos financeiros sejam mais adequados para apontar os benefícios; Outra dificuldade está na falta de um guia que ajude na seleção do tipo de monitoramento mais adequado a sua realidade.

2. Com base nos resultados, os sistemas de monitoramento têm se mostrados eficientes mas prevenção de falhas?

Sim, pois a grande vantagem dos sistemas de monitoramento é de apontar uma anomalia com antecedência para se preparar um plano de ação.

3. Qual a opinião dos autores frente ao compartilhamento de informações técnicas entre as empresa de uma forma geral ? Tem ocorrido algum impedimento para realização de pesquisas?

É necessário aumentar os ambientes em seja possível compartilhar informações técnicas sem prejuízo as empresas e as pessoas. Existem nichos que precisam ser conectados para que o compartilhamento seja perene.

Título - Análise do efeito de transientes de tensão em transformadores aplicados em geração solar fotovoltaica distribuída

Entidade(s) - Hitachi Energy Brasil Ltda.,ATG ENGENHARIA LTDA

Autor(es) - Luiz Fernando de Oliveira,Carlos Rolf Kath,angelica rocha

Resumo

Luiz F. de Oliveira 1 , Angélica C. O. Rocha 2 , Rafael Nolasco 3 , Carlos R. Kath 1
1 Hitachi Energy, 2 ATG Engenharia Ltda, 3 Hy Brazil

RESUMO

Este trabalho utiliza simulações circuitais no domínio do tempo com o objetivo de

reproduzir os transitórios eletromagnéticos que ocorrem devido à operação de disjuntores à vácuo em plantas de Mini Geração solar fotovoltaica. Detalhes dos modelos utilizados para a construção da simulação no programa LTSpice são dados. Para a execução de uma série de simulações paramétricas foram empregados modelos simplificados caixa-preta para o transformador, permitindo identificar a sensibilidade aos parâmetros escolhidos (instalação de para-raios e comprimento dos cabos entre disjuntor e transformador) e os casos mais críticos. Tais casos foram então executados utilizando modelos caixa-branca que permitem a avaliação das oscilações de tensão internas ao transformador. Os resultados indicam que a utilização de para-raios é recomendável para limitação dos níveis de tensão e redução das reignições que ocorrem no disjuntor. A influência do comprimento dos cabos também é discutida no trabalho, sendo que cabos de conexão curtos são identificados como um fator de risco. Uma última análise com o modelo caixa-branca do transformador utilizando para-raios internos instalados ao longo do enrolamento de alta tensão é avaliado e os resultados indicam que a solução permite controlar as oscilações internas dos enrolamentos aos níveis mais baixos dentre as opções avaliadas.

Perguntas do REP:

- 1 Foi avaliada a capacidade de absorção de energia para os para-raios externos ao transformador para as aplicações avaliadas?
- 2 Diante do estudo realizado, quais as recomendações para especificação de transformadores coletores?
- 3 Seria sugerido a adoção de ensaios dielétricos especiais ou simulações para avaliar o projeto dielétrico do transformador para esta aplicação?

Perguntas e Respostas

1- Foi avaliada a capacidade de absorção de energia para os para-raios externos ao transformador para as aplicações avaliadas?

Não. A energia absorvida não foi avaliada nem comparada com a suportabilidade. Seria uma avaliação relevante, embora não se espere que os limites dos para-raios sejam superados em transitórios de chaveamento.

2- Diante do estudo realizado, quais as recomendações para especificação de transformadores coletores?

O trabalho focou em transformadores unitários. Para os transformadores coletores de usinas centralizadas, em geral, o estudo de transitórios é bastante mais complexo devido ao número de linhas em componentes no sistema.

3- Seria sugerido a adoção de ensaios dielétricos especiais ou simulações para avaliar o projeto dielétrico do transformador para esta aplicação?

Até o momento, não há ensaio normalizado que consiga reproduzir todos os tipos de transitórios que podem ocorrer em campo. Contudo, os transformadores são testados durante os ensaios do fabricante (FAT), incluindo ensaios dielétricos como tensão aplicada e induzida, e possivelmente impulso atmosférico. Estes ensaios atestam a suportabilidade do transformador para aqueles sinais específicos. A utilização de para-raios garante que os níveis de tensão nos terminais do transformador não sejam excedidos, embora o transformador ainda esteja sujeito a ressonâncias. A solução de instalação de varistores ao longo do enrolamento previne também a falha por ressonância.

Simulações, especialmente estudos dos transitórios, também podem ajudar a identificar os transitórios com maior chance de ocorrer e que teriam a maior criticidade.

Título - Metodologia Multicritério para Priorizar a Substituição e Manutenção de Transformadores de Energia

Entidade(s) - COMPANHIA ESTADUAL DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ,CPFL ENERGIA S.A.

Autor(es) - Marcelo Willers Monteiro

Resumo

Marcelo Willers Monteiro
CPFL ENERGIA

RESUMO

Transformadores de potência desempenham um papel fundamental e oneroso no sistema elétrico. Suas falhas podem levar a uma série de perdas operacionais e financeiras, impactando significativamente diversos clientes. Além disso, sua influência na base de remuneração regulatória é significativa, e o processo de fabricação para substituição envolve prazos de entrega mais longos. Nesse contexto, foi desenvolvida uma metodologia multicritério utilizando o Processo Hierárquico Analítico (AHP) para classificar transformadores em subestações de distribuição de alta tensão, priorizando aqueles que necessitam de substituição ou manutenção. A aplicação dessa metodologia resulta em um ranking de prioridades, considerando os aspectos técnicos, econômicos e regulatórios aos quais cada equipamento está sujeito. O estudo foi realizado utilizando um conjunto de dados de transformadores reais de uma concessionária de energia elétrica brasileira. Os resultados permitiram a identificação de instalações que devem receber prioridade em investimentos, considerando a ponderação dos critérios e a contribuição de um grupo de especialistas. É essencial destacar que a combinação dos pesos dos critérios pode levar a variações na ordem de importância, enfatizando a ausência de um critério absoluto e ressaltando a relevância de analisar individualmente cada transformador.

Perguntas do REP:

- 1 A comunidade internacional está estudando qual o possível marcador de envelhecimento do papel no óleo. Como os autores concluíram que isto poderia ser feito usando a concentração de gases CO e CO₂?
- 2 Por que para representar o índice de saúde da análise cromatográfica não foi usado o diagnóstico do perfil de gases completo de forma direta?
- 3 Como foi definido o critério de consistência?

Perguntas e Respostas

1- A comunidade internacional está estudando qual o possível marcador de envelhecimento do papel no óleo. Como os autores concluíram que isto poderia ser feito usando a concentração de gases CO e CO₂?

O processo de degradação da celulose por oxidação, é resultado da ação do oxigênio sobre o sexto átomo de carbono no anel de celulose, convertendo este em aldeído ou ácido. Podem ocorrer casos em que o terceiro átomo de carbono sofra ação do oxigênio, formando dois aldeídos ou dois grupos de ácido. Este processo enfraquece e quebra as ligações glicosídicas, produzindo a despolimerização da

molécula de celulose, aumentando a acidez do óleo. Neste processo, o polímero de celulose oxida e produz CO, CO₂, H₂O e ácidos (MARTINS, 2010).

A degradação por pirólise – devido a ação da temperatura – irá provocar um decréscimo do grau de polimerização da celulose, gerando gases como CO, CO₂, H₂, líquidos como a água e compostos furânicos como 2-FAL. Também serão produzidas substâncias sólidas como moléculas de celulose mais curtas, que darão origem a lama no fundo do transformador (MARTINS, 2010).

Desta forma foi utilizado a concentração de gases CO e CO₂, visto a dificuldade de fazer comparações ao longo da vida útil do transformador com o resultado entre as relações destes gases.

2- Porque para representar o índice de saúde da análise cromatográfica não foi usado o diagnóstico do perfil de gases completo de forma direta?

Porque é difícil trabalhar com as correlações durante toda a vida útil do transformador. Cada análise cromatográfica é uma "foto" do estado atual e com reformas, regenerações de óleo, as condições se alteram. Por isso a ideia do somatório, é o que mais "sofreu" ao longo do tempo, incluindo todos os fatores envolvidos.

3- Como foi definido o critério de consistência?

O método AHP propõe o cálculo de uma medida de inconsistência das informações oriundas das comparações dos especialistas, sendo este um dos grandes diferenciais desta metodologia. A verificação é baseada na determinação de um Índice de Consistência (IC) em função dos valores de autovalores encontrados para a matriz de comparação formatada (SAATY e TRAN, 2007).

A razão de coerência é definida pela fórmula $RC = IC/IR$, onde $IC = \lambda_{\text{máx}} - n / (n-1)$ e IR , que é o Índice Randômico, onde a quantidade de elementos do estudo define o valor do IR e qual o valor máximo de RC para a avaliação ser consistente.

Título - Análise avançada dos impactos de harmônicos de corrente no aquecimento e no hotspot de transformadores especiais

Entidade(s) - DATA ENGENHARIA LTDA

Autor(es) - GUILHERME MASCHIO

Resumo

Guilherme Maschio, João Paulo Vieira, Edgar Maurici
DATA Engenharia

RESUMO

Com o aumento do uso de aplicações no sistema elétrico que demandam ou fornecem energia em corrente contínua, os conversores e retificadores têm sido cada vez mais empregados em instalações de alta potência. Em particular, em instalações de grande porte, esses dispositivos são frequentemente utilizados em conjunto com transformadores para adequação dos níveis de tensão à rede. A aplicação de tais transformadores, porém, é bastante especial, uma vez que tal equipamento estará sujeito aos transitórios de chaveamento dos retificadores ou

conversores que transformam a energia CA em CC ou vice-versa. Por conta do chaveamento dos diodos e outros equipamentos da eletrônica de potência, é comum que a corrente gerada por tais aplicações não seja puramente senoidal, mas sim uma composição harmônica complexa, que depende do sistema retificador/conversor como um todo.

O transformador, foco de estudo deste trabalho, muitas vezes será submetido a estas distorções de corrente e deverá suportá-las sem prejuízos à sua robustez e durabilidade. Do ponto de vista da integridade e robustez dos transformadores, os pontos mais quentes dos enrolamentos, conhecidos como *hotspots*, são críticos. Se as temperaturas nesses locais ultrapassarem os limites suportados pelo papel isolante, o sistema de isolamento pode se degradar rapidamente, resultando em uma geração acentuada de gases e potencial falha do equipamento.

Este trabalho tem como objetivo demonstrar como os harmônicos de corrente (provenientes de qualquer fonte não senoidal) impactam o projeto e o dimensionamento térmico dos transformadores. Será mostrado que, além de considerar os fatores de acréscimo das perdas adicionais causadas pelos harmônicos — amplamente conhecidos no meio técnico como α —, é fundamental dar atenção ao cálculo do *hotspot* nos enrolamentos do transformador, pois ele sofre forte influência quando se considera a distorção harmônica.

Perguntas do REP:

1 Foi apresentado um exemplo de aplicação prática que considera um transformador para aplicação em retificador. Para transformadores aplicados em sistemas de geração alternativa (solar ou fotovoltaica) é recomendado considerar o impacto dos harmônicos nas temperaturas?

2 Qual é a opinião dos autores com relação a adoção de fibras ópticas para medição de temperatura durante os ensaios de elevação de temperatura?

3 Quais considerações devem ser destacadas para que o ensaio de elevação de temperatura em transformadores reflita as condições operativas no caso de alto nível de harmônicos de corrente?

Perguntas e Respostas

1- Foi apresentado um exemplo de aplicação prática que considera um transformador para aplicação em retificador. Para transformadores aplicados em sistemas de geração alternativa (solar ou fotovoltaica) é recomendado considerar o impacto dos harmônicos nas temperaturas?

1- Foi apresentado um exemplo de aplicação prática que considera um transformador para aplicação em retificador. Para transformadores aplicados em sistemas de geração alternativa (solar ou fotovoltaica) é recomendado considerar o impacto dos harmônicos nas temperaturas?

Sim, nos sistemas de geração alternativa, caso comprovadamente tenham um conteúdo harmônico considerável, os mesmos impactos de aumento no fator de *hotspot* serão observados. Porém, usualmente esses sistemas têm harmônicos menos severos que aplicações de retificadores, fornos, etc, portanto os efeitos tendem a ser menos impactantes.

2- Qual é a opinião dos autores com relação a adoção de fibras ópticas para medição de temperatura durante os ensaios de elevação de temperatura?

A adoção de fibras óticas é uma excelente alternativa para medição de temperatura em enrolamentos, especialmente naqueles de alta corrente, onde até a medição de gradientes térmicos conforme norma são difíceis (ou impossíveis) de serem executados por conta das metodologias de medição usadas: medir resistência em um enrolamento de baixíssima resistência.

A importância da fibra ótica é ainda maior em equipamentos com alta deformação harmônica na corrente, onde tal comportamento não pode ser reproduzido fielmente nos ensaios de fábrica.

Por conta disso, a fibra ótica é importante não só na medição de temperatura nos ensaios de fábrica mas também para monitoramento constante do transformador em operação. Porém, o custo para instalação e monitoramento é bastante elevado, muitas vezes inviabilizando o uso.

3- Quais considerações devem ser destacadas para que o ensaio de elevação de temperatura em transformadores reflita as condições operativas no caso de alto nível de harmônicos de corrente?

Existem normas que guiam esse tipo de ensaio, como a IEC 61378, onde informa que deverá ser aplicado uma corrente superior à nominal tal que as perdas totais no transformador se igualem às perdas com harmônicos de operação.

Apesar disso, a própria norma destaca que reproduzir fielmente o perfil de harmônico da operação nos ensaios de fábrica (com corrente senoidal) é impossível, sendo os ensaios uma "aproximação" da realidade.

É imprescindível que o fabricante tenha metodologias de cálculo adequadas para calcular corretamente os gradientes térmicos e fatores de hotspot conforme operação em campo (com harmônicos).

Título - Sensor micro fluídico impresso em 3D usando Redes de Período Longo integradas para medição da qualidade do óleo de transformador

Entidade(s) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA UFJF, Universidade Federal de Juiz de Fora

Autor(es) - Renato Luiz Faraco Filho, Davi de Oliveira Gomes, João Victor de Castro Nascimento, FELIPE OLIVEIRA BARINO

Resumo

Renato Luiz Faraco Filho, Deivid Edson Delarota Campos, Davi de Oliveira Gomes, João Victor de Castro Nascimento, Ulysses Vitor, Felipe Oliveira Barino, Alexandre Bessa dos Santos

Universidade Federal de Juiz de Fora

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sensor óptico baseado em redes de período longo (LPG) para monitoramento contínuo de umidade em óleo isolante de transformadores. O sensor foi encapsulado em um sistema microfluídico e testado com amostras de óleo contendo concentrações de água entre 0% e 6%. Os resultados demonstraram uma correlação linear ($R^2 = 0,98$) entre a umidade e o deslocamento espectral, comprovando a eficácia do método. Comparado às técnicas tradicionais, como a titulação Karl Fischer, o sensor LPG oferece vantagens como imunidade a interferências eletromagnéticas, monitoramento em tempo real e redução de custos operacionais. A tecnologia apresenta potencial para integração em sistemas de manutenção preditiva, aumentando a confiabilidade de

transformadores de potência.

Perguntas do REP:

1 Os autores poderiam justificar a escolha da faixa de 0 a 6% de água (até 60.000 ppm) para calibração do sensor, considerando que a solubilidade da água no óleo isolante mineral, a 40°C, é de aproximadamente 100 ppm?

2 Considerando que os transformadores operam com limites muito baixos de umidade no óleo, geralmente abaixo de 40 ppm para evitar saturação, como os autores pretendem adaptar ou revalidar o sensor para esse intervalo real de aplicação?

3 Na curva de calibração apresentada, foram utilizadas concentrações de água variando até 6%, o que corresponde a níveis extremamente superiores à solubilidade do óleo isolante, mesmo a 40°C. Nessa faixa, a água não está dissolvida, mas sim emulsificada, o que altera completamente o comportamento óptico do meio. Assim, os autores consideram que a resposta espectral obtida nessa condição representa, de fato, um sensor de umidade dissolvida? Como se pretende validar esse sensor para operar na faixa real de interesse técnico do setor elétrico, abaixo de 100 ppm?

Perguntas e Respostas

1- O autor poderia justificar a escolha da faixa de 0 a 6% de água (até 60.000 ppm) para calibração do sensor, considerando que a solubilidade da água no óleo isolante mineral, a 40°C, é de aproximadamente 100 ppm?

2- Considerando que os transformadores operam com limites muito baixos de umidade no óleo — geralmente abaixo de 40 ppm para evitar saturação —, como você pretende adaptar ou revalidar o sensor para esse intervalo real de aplicação?

3- Na curva de calibração apresentada, você utilizou concentrações de água variando até 6%, o que corresponde a níveis extremamente superiores à solubilidade do óleo isolante, mesmo a 40°C. Nessa faixa, a água não está dissolvida, mas sim emulsificada, o que altera completamente o comportamento óptico do meio. Você considera que a resposta espectral obtida nessa condição representa, de fato, um sensor de umidade dissolvida? Como pretende validar esse sensor para operar na faixa real de interesse técnico do setor elétrico, abaixo de 100 ppm?

Os autores poderiam justificar a escolha da faixa de 0 a 6% de água (até 60.000 ppm) para calibração do sensor, considerando que a solubilidade da água no óleo isolante mineral, a 40°C, é de aproximadamente 100 ppm?

A faixa de 0 a 6% foi utilizada como uma etapa preliminar de prova de conceito, com o objetivo de demonstrar a resposta espectral do sensor em diferentes concentrações de água no óleo. Reconhecemos que essa faixa está acima da solubilidade da água no óleo mineral a 40°C (~100 ppm), o que significa que parte da água testada encontra-se em forma livre. Trabalhos futuros incluirão a calibração do sensor em faixas mais próximas das condições reais de operação de

transformadores, com o objetivo de avaliar a sensibilidade e aplicabilidade prática do dispositivo.

Considerando que os transformadores operam com limites muito baixos de umidade no óleo, geralmente abaixo de 40 ppm para evitar saturação, como os autores pretendem adaptar ou revalidar o sensor para esse intervalo real de aplicação?

Os testes iniciais focaram em concentrações elevadas para validar a sensibilidade do sensor e sua resposta espectral. Para aplicação prática em transformadores, planejamos revalidar o sensor em concentrações mais baixas, abaixo de 100 ppm. Essa etapa visa aumentar a resolução e a sensibilidade na faixa operacional real.

Na curva de calibração apresentada, foram utilizadas concentrações de água variando até 6%, o que corresponde a níveis extremamente superiores à solubilidade do óleo isolante, mesmo a 40°C. Nessa faixa, a água não está dissolvida, mas sim emulsificada, o que altera completamente o comportamento óptico do meio. Assim, os autores consideram que a resposta espectral obtida nessa condição representa, de fato, um sensor de umidade dissolvida? Como se pretende validar esse sensor para operar na faixa real de interesse técnico do setor elétrico, abaixo de 100 ppm?

Reconhecemos que, acima da solubilidade do óleo, a água encontra-se em forma emulsificada, o que pode alterar o comportamento óptico do meio e, consequentemente, a resposta do sensor. A curva de calibração apresentada teve como objetivo inicial avaliar o princípio de funcionamento do sensor em condições controladas com maiores variações espectrais. Para aplicação prática, o sensor será revalidado em faixas inferiores a 100 ppm, utilizando métodos de referência, como a titulação Karl Fischer, para garantir que a resposta espectral obtida represente com precisão a umidade dissolvida no óleo.

Título - Metodologia para qualificação da condição de transformadores de potência baseado em normas técnicas, análise estatística de dados e conhecimento tácito dos especialistas

Entidade(s) - Fundação Centros De Referencia Em Tecnologias Inovadoras,CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista

Autor(es) - Sophia Boing Righetto,Guilherme Ramos Milis,Rodrigo Antonio Sbardeloto Kraemer,Manuella da Rocha Brito Sacco,Mauricio Ibarra Dobes,Gabriela Sampaio Rêma,carlos guilherme gonzales

Resumo

Sophia B. Righetto¹, Guilherme R. Milis¹, Manuella R. B. Sacco¹, Rodrigo A. S. Kraemer¹, Maurício I. Dobes¹, Gabriela S. Rêma², Vinicius M. R. Selis², Carlos G. Gonzales³

¹Fundação CERTI, ²ISA ENERGIA BRASIL, ³MRG – Consultoria e Treinamento

RESUMO

O sistema de transmissão de energia brasileiro vem passando por um processo de envelhecimento em diversas instalações. Especialmente ativos com maior valor financeiro, como transformadores de potência, trazem maiores preocupações devido aos altos prejuízos operacionais e financeiros às transmissoras quando há incidência de falhas e retirada de operação. Para diminuir as ocorrências de falhas e

prolongar a vida útil desses equipamentos, há a necessidade de um monitoramento periódico dos transformadores de forma a avaliar a condição do ativo associada às estratégias de manutenção preventiva e preditiva da transmissora. Entretanto, atualmente muitos processos de monitoramento ainda são realizados manualmente, o que demanda grande dispêndio de tempo para execução. Nesse contexto, foi proposta uma metodologia para desenvolvimento de uma ferramenta computacional baseada em normas técnicas, análise estatística de dados e conhecimento tácito dos especialistas visando automatizar análises manuais para a avaliação da condição dos transformadores. Tal ferramenta visa auxiliar nas tomadas de decisão das estratégias de manutenção e servirá de apoio aos especialistas, desonerando-os de atividades operacionais e direcionando-os para atividades estratégicas. O desenvolvimento deste trabalho foi realizado no âmbito do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PRODDI) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), referência PD-00068-0067/2023 e baseia-se na utilização de dados de manutenções preventivas periódicas de transformadores de potência da ISA ENERGIA BRASIL, categorizados como: Análise de Cromatografia Gasosa (CG); Análise Físico-Química (FQ); Ensaio de Buchas; e Inspeções e Testes Funcionais. O algoritmo foi implementado em Python e objetiva aprimorar o indicador da condição do equipamento.

Perguntas do REP:

- 1 Os valores típicos de gases dos guias internacionais foram considerados?
- 2 Houve discrepância entre o diagnóstico especialista e o resultado do sistema? Qual a dimensão desta discrepância?
- 3 Como se procede a entrada de um novo equipamento no sistema concebido?

Perguntas e Respostas

1- Os valores típicos de gases dos guias internacionais foram considerados?

Os valores típicos de gases nos guias não eram condizentes com as características do parque de transformadores da transmissora. Logo, sempre se fazia necessário uma análise específica do especialista. Por isso, buscou-se uma metodologia própria para estabelecer valores típicos de taxa de geração de gases, baseada no cenário atual da transmissora.

2- Houve discrepância entre o diagnóstico especialista e o resultado do sistema? Qual a dimensão desta discrepância?

Atualmente, está sendo realizada a validação do algoritmo, e os resultados são bastante satisfatórios até o momento. O diagnóstico do sistema aponta para o mesmo diagnóstico dado pelo especialista na ampla maioria dos casos. Porém, estes acertos ainda não foram quantificados percentualmente. Após o período de validação, a performance do algoritmo será quantificada, e caso seja satisfatória, este algoritmo será incluído dentro do software de ERP da transmissora, sendo executado de forma automática para todo o parque de transformadores.

3- Como se procede a entrada de um novo equipamento no sistema concebido?

No momento, o sistema é ainda um MVP com um código executável em python, contendo uma pasta de entrada e saída. Na pasta de entrada, são colocados os arquivos excel contendo os pontos de medição de cada transformador individualmente, além também de um excel geral contendo os dados cadastrais e operacionais de todos os transformadores a serem analisados. Após a execução do

algoritmo, na pasta de saída, surgirão as planilhas individuais para cada TR contendo todos os índices, indicador final e gráficos de concentração de gases, além também de um excel resumo contendo os índices e indicadores de todos os transformadores que foram incluídos nessa execução. Caso você queira executar o algoritmo para um novo TR, é preciso apenas incluir o excel deste TR na pasta de entrada do executável, e os dados cadastrais e operacionais deste TR também devem constar na planilha geral de dados, a qual também se encontra na pasta de entrada do algoritmo. Feito isso, se procede com a execução do algoritmo, e surgirá uma nova planilha de resultado deste TR na pasta de saída.

Título - Estimativa da Vida Residual de Transformadores de Potência Baseada na Correlação entre Metanol e o Grau de Polimerização do Papel Isolante

Entidade(s) - ITAIPU BINACIONAL, Itaipu Binacional, Itaipu Binacional, Itaipu Binacional

Autor(es) - FABIANA LETICIA RUIZ DIAZ, Fernando Cesar Barbado Farias, Domingo Maldonado, Oscar Miguel Santacruz Silvero, Charles Robert Santacruz Cano

Resumo

F.L. RUIZ DIAZ* 1 , C.R. SANTACRUZ 2 F, .C. BARBADO 2 , D.M. MALDONADO 2 , O.M. SANTACRUZ S. 1

1 ITAIPU Binacional/UNE, 2 ITAIPU Binacional

RESUMO

Los transformadores de potencia son componentes esenciales en los sistemas eléctricos por lo tanto garantizar su operación segura en la red resulta fundamental. En ese sentido el principal desafío en lo que respecta al mantenimiento predictivo de transformadores se encuentra en la determinación de la degradación de su papel aislante y su aceite dieléctrico. Este artículo presenta la aplicación de un modelo matemático que correlaciona el grado de polimerización del papel con la concentración de metanol disuelto en el aceite. El modelo fue aplicado a transformadores en operación en la Central Hidroeléctrica Itaipú, analizando datos experimentales corregidos por temperatura y condiciones operativas específicas. Los resultados obtenidos demostraron que los transformadores analizados presentan una degradación de papel baja lo cual representa una vida residual estimada prolongada en lo que respecta al papel aislante.

Perguntas do REP:

- 1 Como se chegou à correlação logarítmica se aplica para estimar a % de vida útil remanescente e a concentração de metanol?
- 2 A leitura do teor de metanol foi considerada mais confiável para a correlação de vida útil que o 2-FAL mesmo tendo apresentado o mesmo resultado?
- 3 Quais são os próximos passos do trabalho?

Perguntas e Respostas

1- Como se chegou à correlação logarítmica se aplica para estimar a % de vida útil remanescente e a concentração de metanol?

La correlación logarítmica surge del modelo propuesto por Jalbert y Rajotte (2018), que demuestra una relación entre el contenido de metanol en el aceite y el grado de polimerización (GP) del papel aislante. Al analizar datos experimentales de transformadores con diferente antigüedad, se identificó una tendencia logarítmica entre la concentración de CH₃OH y el GP. Dado que el GP es un buen indicador de

la degradación del papel, y por ende de la vida útil remanente, se extrapoló este modelo para estimar porcentajes de vida útil basados en concentraciones de metanol medidas por HS-GC.

2- A leitura do teor de metanol foi considerada mais confiável para a correlação de vida útil que o 2-FAL mesmo tendo apresentado o mesmo resultado?

Sí, se consideró más confiable. Aunque el 2-FAL también es un marcador válido, el metanol presenta ventajas clave: es un subproducto directo de la degradación de la celulosa, especialmente en papeles térmicamente mejorados (como el TUK), lo que lo convierte en un marcador más sensible para transformadores modernos. Además, el metanol se libera en etapas más tempranas del envejecimiento térmico del papel, permitiendo detectar signos de degradación incipiente antes que los furanos. Esto lo hace más adecuado para estimar con precisión la vida útil remanente en transformadores que aún no muestran signos avanzados de deterioro.

3- Quais são os próximos passos do trabalho?

- Aplicar el modelo de proyección de vida útil a una muestra más amplia de transformadores, con diferentes tecnologías de papel y diferentes condiciones de carga, para validar su aplicabilidad general.
- Verificar los resultados mediante métodos cruzados, como la comparación con resultados de análisis de furanos y pruebas de resistencia mecánica del papel (cuando estén disponibles).
- Monitorear anualmente el contenido de metanol en transformadores estratégicos para observar la evolución del envejecimiento y ajustar los parámetros del modelo.
- Finalmente, se plantea integrar este modelo como herramienta de planificación del mantenimiento predictivo, dentro del sistema de gestión de activos de la central, optimizando decisiones de renovación o reemplazo.

Título - Determinação de equações de envelhecimento de diferentes sistemas isolantes (papel/óleo)

Entidade(s) - VEGOOR TECNOLOGIA APLICADA LDA, COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A., Universidade Federal de Santa Maria, DATA ENGENHARIA LTDA

Autor(es) - HELENA MARIA WILHELM, Paulo de Oliveira Fernandes, Germano Fröhlich Moraes, Nelson Veloso Vieira, Vitor Cristiano Bender, Tiago Bandeira Marchesan, Marco Antonio Marin

Resumo

HELENA M. WILHELM¹, PAULO O. FERNANDES¹, MARCO A. MARIN², GERMANO F. MORAES², NELSON V. VIEIRA², VITOR C. BENDER³, TIAGO B. MARCHESAN³

¹ VEGOOR TECNOLOGIA APLICADA LDA; ² COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S. A. , ³ UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

RESUMO

Neste artigo é apresentada a metodologia de envelhecimento acelerado utilizada na

obtenção dos dados de GP para determinação das equações de envelhecimento (ou modelos cinéticos de envelhecimento) dos seguintes sistemas isolantes: papel kraft termoestabilizado (TUK) em óleo mineral isolante (OMI), TUK em óleo vegetal isolante (OVI), papel híbrido (HP) em OMI e papel híbrido em OVI. A partir de gráficos dos dados de GP em função do tempo para cada temperatura de envelhecimento e do log da taxa de degradação versus o inverso da temperatura, para cada sistema isolante investigado, foi possível obter as equações de envelhecimento propriamente ditas. A constante A do modelo cinético de envelhecimento (coeficiente linear da reta) varia com a condição do líquido isolante enquanto que a energia de ativação (EA) (coeficiente angular da reta) é a energia mínima necessária para que uma reação química possa ocorrer. Quanto maior a EA mais lenta será a reação. Os diferentes papeis isolantes em OVI apresentaram maiores valores de A e de EA comparativamente aos papeis em OMI. Dessa forma, a velocidade da reação de degradação dos sistemas isolantes estudados pôde ser ranqueada na seguinte ordem: TUK/OMI > HP/OMI > HP/OVI > TUK/OVI.

Perguntas do REP:

- 1 Como existem diferentes OVI com diferentes comportamentos de oxidação, não seria necessário calcular as constantes químicas para cada um deles?
- 2 Ao operar os equipamentos com OVI com hotspot mais alto que o OMI não ocorrerá uma degradação mais acelerada deste fluido?
- 3 Quais são a repetibilidade e a reprodutibilidade do estudo, feito em simplicata?

Perguntas e Respostas

1- Como existem diferentes OVI com diferentes comportamentos de oxidação, não seria necessário calcular as constantes químicas para cada um deles?

Sim. Cada óleo vegetal isolante possui composição própria, com variações no teor de ácidos graxos, antioxidantes e processos de refino, o que impacta diretamente na sua cinética de degradação. Por isso, os valores de constantes cinéticas obtidos neste estudo são específicos para o OVI analisado no estudo e não podem ser extrapolados para todas as formulações existentes no mercado. Assim, para trabalhos futuros, é fundamental determinar as constantes de cada tipo de OVI, de modo a garantir modelos de envelhecimento confiáveis e representativos.

2- Ao operar os equipamentos com OVI com hotspot mais alto que o OMI não ocorrerá uma degradação mais acelerada deste fluido?

De fato, se o OVI for submetido a temperaturas acima do limite térmico projetado, ocorrerá uma degradação acelerada do fluido, com aumento de acidez, viscosidade e formação de subprodutos de oxidação. No entanto, os resultados mostraram que, na mesma condição de temperatura, os sistemas isolantes papel/OVI apresentam desempenho superior aos com OMI, pois degradam menos a celulose e permitem operação em temperaturas de hotspot mais elevadas, condição que pode degradar mais rapidamente o OVI.

3- Quais são a repetibilidade e a reprodutibilidade do estudo, feito em simplicata?

Como o estudo foi realizado em simplicata para cada condição experimental, não foi possível calcular estatisticamente a repetibilidade e a reprodutibilidade dos ensaios. Para isso, seriam necessárias replicatas em pelo menos triplicata, permitindo

determinar desvios padrão e limites de confiança, o que por outro lado demandaria uma quantidade enorme de testes laboratoriais, que implica em altos custos operacionais.

Título - Monitoramento de Transformadores: Um Estudo Prático em Busca de uma Metodologia de Manutenção e Gestão do Parque

Entidade(s) - Energisa Mato Grosso do Sul, SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES COMERCIAL LTDA, Energisa Paraíba - Distribuidora De Energia S.A

Autor(es) - Nathalia Cristina de Souza Moura, Camila da Silva Oliveira, Douglas de Oliveira Brunismann, Hirokazu Teixeira Batista Ito

Resumo

Camila Oliveira¹, Douglas de Oliveira Brunismann¹, Nathalia Cristina de Souza Moura², Hirokazu Teixeira Ito²

¹SEL, ² Energisa

RESUMO

Hoje conhece-se a importância de monitorar um transformador de força, uma vez que se trata do ativo de maior custo de uma subestação. Diversas ferramentas de monitoramento podem ser aplicadas, desde monitoramento térmico, monitoramento de componentes específicos, monitoramento de faltas passantes e até mesmo a detecção de gases e umidade dissolvidos nos tanques de óleo. Entre os principais objetivos do monitoramento pode-se destacar a possibilidade de realizar uma melhor gestão estratégica do parque de transformadores, mitigar falhas e deixar mais eficientes os processos de manutenção preditiva, preventiva e prescritiva. O presente trabalho abordará o monitoramento térmico, de faltas passantes e de umidade como formas de atingir os objetivos apontados, uma vez que esses parâmetros representam importantes fatores para a perda de vida útil de transformadores de força. São trazidos dois monitoramentos presentes em monitores digitais capazes de prever o desgaste de um transformador: um relacionado ao seu ciclo de carregamento, que seria o monitoramento térmico, e o outro relacionado ao desgaste causado por faltas passantes.

Outro monitoramento possível é o monitoramento de gases dissolvidos e de umidade, que depende de sensores específicos que atuam de forma online e que corroboram com o diagnóstico do transformador.

Por fim, o objetivo do artigo é correlacionar as informações dos monitoramentos aqui descritos e aplicados a transformadores reais a fim de garantir o monitoramento completo do ativo. A conclusão foi a criação de uma metodologia que poderá ser aplicada nas concessionárias de como cruzar estes dados e ter um processo de manutenção coerente, eficiente e otimizado através de ferramentas digitais de monitoramento.

Perguntas do REP:

- 1 Como tem se comportado os resultados de 2 FAL dos equipamentos monitorados? Os resultados tem sido significativos?
- 2 O envelhecimento determinado pelo monitoramento térmico chegou a ser confirmado por uma análise de GP?
- 3 Porque apenas a umidade foi considerada como parâmetro físico-químico ligado ao envelhecimento dos transformadores?

Perguntas e Respostas

1- Como tem se comportado os resultados de 2 FAL dos equipamentos monitorados? Os resultados tem sido significativos?

2- O envelhecimento determinado pelo monitoramento térmico chegou a ser confirmado por uma análise de GP?

3- Porque apenas a umidade foi considerada como parâmetro físico-químico ligado ao envelhecimento dos transformadores?

Título - Aplicação da Transformada Wavelet na interpretação da Análise de Resposta em Frequência (FRA) para Identificação de Deformações e Curtos-Circuitos em Transformadores

Entidade(s) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CEPEL

Autor(es) - Ighor Souza dos Santos

Resumo

Ighor Souza dos Santos 1 , Mariane Petraglia Rembold 1 , Issouf Fofana 3 , Dickson Silva de Souza 2 , Sekongo Beki 3 , Meysam Beheshti Asl 3

1 Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2 Centro de pesquisas em energia elétrica – Eletrobras Cepel, 3 Université du Québec à Chicoutimi – UQAC

RESUMO

Este estudo propõe uma metodologia inovadora para o diagnóstico de deformações e curtos-circuitos em transformadores de potência, integrando Análise de Resposta em Frequência (FRA), transformada wavelet e aprendizado de máquina. A combinação dessas técnicas visa aumentar a sensibilidade e precisão na detecção de falhas, permitindo localizar com maior exatidão anomalias nos enrolamentos e avaliar a integridade estrutural dos equipamentos. A transformada wavelet, reconhecida por sua capacidade de análise multiescala, permite a separação e observação de componentes de alta e baixa frequência nas curvas de FRA, revelando padrões que passam despercebidos em análises convencionais. Já o uso de aprendizado de máquina facilita o reconhecimento automático de falhas em grandes volumes de dados, tornando o processo de diagnóstico mais ágil e confiável. Experimentos realizados em modelos laboratoriais demonstraram que a abordagem proposta apresenta desempenho superior na identificação precoce de deformações e curtos-circuitos, superando métodos tradicionais. Os resultados sugerem que a fusão entre FRA, wavelet e aprendizado de máquina constitui uma abordagem robusta para manutenção preditiva, alinhada às tendências de digitalização e automação. Sua adoção pode reduzir custos, minimizar o tempo de inatividade e aumentar a confiabilidade da rede elétrica. Recomenda-se a aplicação regular dessa metodologia como parte das estratégias modernas de gestão de ativos em sistemas de potência.

Perguntas do REP:

1 Na opinião dos autores, considerando os resultados obtidos, qual é a principal vantagem de utilizar metodologia proposta para identificação de deformações?

2 Quais são as recomendações de incorporação dessas técnicas em avaliações de rotina dos transformadores?

3 Há uma previsão para a realização da validação do método proposto em campo com transformadores reais?

Perguntas e Respostas

1- Na opinião dos autores, considerando os resultados obtidos, qual é a principal vantagem de utilizar metodologia proposta para identificação de deformações?

A principal vantagem é aumentar significativamente a precisão e a robustez na identificação de deformações e curtos-circuitos, superando métodos tradicionais baseados apenas em índices estatísticos.

A combinação da Transformada Wavelet com aprendizado de máquina permite uma análise multiescala das curvas de FRA, revelando padrões que passam despercebidos em análises convencionais, além de automatizar a classificação, reduzindo a subjetividade e o tempo de análise.

Na prática, isso viabiliza diagnósticos mais confiáveis e consistentes, mesmo em condições de alta variabilidade estrutural.

2- Quais são as recomendações de incorporação dessas técnicas em avaliações de rotina dos transformadores?

Os autores recomendam que essa metodologia seja incorporada como etapa complementar às análises de FRA realizadas rotineiramente.

Na prática, ela pode ser usada para automatizar o processamento dos dados de FRA, gerando relatórios com indicações quantitativas de anomalias estruturais, auxiliando o especialista na tomada de decisão.

Além disso, sugere-se que as equipes de manutenção e engenharia sejam capacitadas para operar sistemas que integrem essa abordagem, alinhando-se às tendências de digitalização e manutenção preditiva em sistemas de potência.

3- Há uma previsão para a realização da validação do método proposto em campo com transformadores reais?

No momento, a validação em campo ainda não está formalmente programada, mas os autores pretendem avançar para essa etapa, buscando parcerias com concessionárias, centros de pesquisa e empresas do setor elétrico.

A meta é aplicar a metodologia em transformadores reais em operação, de forma a avaliar seu desempenho prático em ambientes com maior complexidade e variabilidade, validando a robustez observada em laboratório em situações reais de serviço.

Título - Medição (Método Elétrico e Acústico combinados) e Monitoramento de Descargas Parciais Online em Transformadores de Potência

Entidade(s) -

Autor(es) - LEONARDO BOLZAN GIACCHETTA

Resumo

Leonardo Bolzan Giacchetta 1 , Wendel do Valle Costa 2

1 LBG Energy Consulting, 2 Neoenergia

RESUMO

Em um cenário de geração de energia elétrica cada vez mais crítico, faz-se necessário a avaliação mais aprimorada da condição de máquinas elétricas, no que tange ao isolamento elétrico, uma vez que encontramos a maior parte das falhas, quando em operação, neste elemento. Entretanto, este mesmo cenário, que exige uma análise mais avançada, e que seja capaz de detectar, de maneira mais antecipada o quanto possível, a condição de falha, por outro lado, disponibiliza períodos, cada vez menores, mais curtos, para a área de manutenção realizar ensaios elétricos para avaliação da condição dos transformadores baseada na condição do isolamento. Neste sentido, é apresentada uma metodologia e um escopo de ensaios que visam atender aos requisitos atuais da manutenção elétrica, baseada na condição, com um tempo mínimo de interrupção da operação e, determinando, com níveis de incerteza adequados, os parâmetros necessários para definir a criticidade dos eventos. Para realizar tal atividade, são utilizadas tecnologias de ponta na medição, análise e localização de fontes de descargas parciais [1], no qual utiliza-se da ferramenta matemática conhecida como Transformada Rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transformer) direta e inversa, permitindo a detecção, separação, quantificação e localização de fontes de descargas parciais de amplitudes baixas, mesmo em ambientes severos, com a presença de altos níveis de ruído de fundo. A combinação dos métodos de medição elétrico e acústico [2], simultaneamente, reduzem significativamente o tempo para uma avaliação aprofundada e, como complemento, é realizado o monitoramento online das descargas parciais mediante condição de operação nominal do transformador.

Perguntas do REP:

- 1 Como o operador do instrumento pode identificar na prática a melhor relação sinal/ruído para que as medições sejam feitas e escolha das frequências?
- 2 No Estudo de Caso, como o acetileno se encontrava em níveis elevados, já não teria sido o caso de se fazer uma intervenção no equipamento? Qual foi o valor de acetileno, quando o equipamento foi substituído?
- 3 A grande variação nas amplitudes médias das descargas parciais durante o monitoramento de 36 horas (figura 10) foi atribuída aos valores de potência gerados. Durante esse monitoramento, foram registrados os valores de potência, temperatura e tensão? Em que níveis se encontravam?

Perguntas e Respostas

1 – Como o operador do instrumento pode identificar na prática a melhor relação sinal/ruído para que as medições sejam feitas e escolha das frequências?

2 – No Estudo de Caso, como o acetileno se encontrava em níveis elevados, já não teria sido o caso de se fazer uma intervenção no equipamento? Qual foi o valor de acetileno, quando o equipamento foi substituído?

3 – A grande variação nas amplitudes médias das descargas parciais durante o monitoramento de 36 horas (figura 10) foi atribuída aos valores de potência gerados. Durante esse monitoramento, foram registrados os valores de potência, temperatura e tensão? Em que níveis se encontravam?

Título - Ferramenta computacional de análise de efeitos transitórios de alta frequência em transformadores de potência

Entidade(s) - Universidade Federal de Santa Maria, COMPANHIA ESTADUAL DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Autor(es) - Aldair Wontroba, Tiago Bandeira Marchesan, Vitor Cristiano Bender, Eleonora Fripp Lazzari, Daniel Pinheiro Bernardon, Adriano Peres de Moraes, Herber Fontoura, Cristian Hans Correa

Resumo

Aldair Wontroba, Tiago Bandeira Marchesan, Vitor Cristiano Bender, Eleonora Flipp Lazzari, Daniel Pinheiro Bernardon, Adriano Peres de Moraes, Rafael Concatto Beltrame, Herber Cuadro Fontoura, Cristian Hans Correa, Rodinei Carraro.
Universidade Federal de Santa Maria, CPFL Energia.

RESUMO

A ocorrência de transitórios de altas frequências em sistemas de potência é um tema que tem despertado interesse na literatura científica, uma vez que a sua relevância diz respeito à confiabilidade da operação dos equipamentos elétricos. Avaliar o comportamento do transformador isoladamente limita a compreensão dos fenômenos, assim a análise de sobretensões oriundas de descargas atmosféricas ou manobras de equipamentos é essencial para garantir a estabilidade e operação adequada do sistema. As ferramentas do tipo Electromagnetic Transients Program (EMTP), utilizadas para análise de transitórios eletromagnéticos, permitem a modelagem detalhada das características elétricas e geométricas dos equipamentos, bem como a avaliação do comportamento de tensões e correntes durante surtos.

A metodologia proposta utiliza um modelo matemático que considera as capacitâncias, resistências e indutâncias dos enrolamentos, tanto mútua quanto próprias, fornecendo resultados mais fidedignos ao sistema real. O EMTP automatiza a geração do circuito equivalente do transformador, baseado em seus parâmetros construtivos, e realiza simulações em subestações reais para avaliar o impacto dos surtos sobre o sistema de isolamento. O modelo permite modificações estruturais e paramétricas, possibilitando a comparação entre diferentes cenários.

Apesar da alta demanda computacional associada a esses estudos, a ferramenta implementa técnicas de compactação do modelo, reduzindo significativamente o tempo de simulação sem grande perda de precisão. Os resultados obtidos destacam pontos críticos nos enrolamentos, auxiliando no desenvolvimento de projetos mais robustos e confiáveis de transformadores. Esta abordagem fornece subsídios aos engenheiros para o aprimoramento dos sistemas de isolamento e técnicas de aperfeiçoamento dos enrolamentos, contribuindo para a operação segura e eficiente dos transformadores.

Perguntas do REP:

- 1 Qual a opinião dos autores sobre a solicitação de um determinado fator alfa nas especificações de reatores para melhoria da distribuição das tensões transitórias. Seria viável?
- 2 Os resultados obtidos poderiam ser validados por medição do transformador real?
- 3 Os autores pretendem considerar também nas simulações ondas oscilatórias amortecidas que retratam melhor os transitórios obtido no sistema?

Perguntas e Respostas

1. Qual a opinião dos autores sobre a solicitação de um determinado fator alfa nas especificações de reatores para melhoria da distribuição das tensões transitórias . Seria viável?

O a é um bom alvo de projeto para melhorar a distribuição inicial de tensões, pois orienta o aumento de Cs e o controle de Cg.

É viável, mas pouco usual como requisito explícito de compra: a depende fortemente da geometria e do arranjo do reator/transformador.

2. Os resultados obtidos poderiam ser validados por medição do transformador real ?

Sim, pode-se validar e foram parcialmente validados.

Os testes realizados em laboratório incluíram partes de um transformador real, obtendo-se parâmetros elétricos de forma isolada. Porém o modelo implementado no EMTP prevê todo o transformador completo.

3. Os autores pretendem considerar também nas simulações ondas oscilatórias amortecidas que retratam melhor os transitórios obtido no sistema ?

Sim. O EMTP já suporta ondas amortecidas; basta parametrizar fonte/impedâncias de rede e modelos dependentes de frequência, e conectar ao modelo.

3. Os autores pretendem considerar também nas simulações ondas oscilatórias amortecidas que retratam melhor os transitórios obtido no sistema ?

Título - Predição de defeitos em reatores da Eletrobras Eletronorte utilizando regras de associação

Entidade(s) - CENTRAIS ELETRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A

Autor(es) - Walmor Vieira Gomes

Resumo

Walmor Vieira Gomes

Eletrobras Eletronorte

RESUMO

A Eletrobras Eletronorte, concessionária no segmento de energia elétrica, possui uma grande rede de instalações que exige monitoramento contínuo. Dados são coletados em intervalos de milissegundos, portanto é necessário o uso de Inteligência Artificial para sua gestão eficiente. Este projeto aplicou o método de mineração de dados chamado Regras de Associação para encontrar relações entre alarmes e desligamentos de reatores, equipamentos essenciais no setor de energia, com o propósito de aperfeiçoar a manutenção preventiva.

Após análise do banco de dados SAGE, seleção e preparação, o método encontrou regras para orientar a manutenção, porém não há força suficiente para explicar os defeitos dos reatores (Suporte de apenas 10% e Confiança pouco acima de 50%).

Perguntas do REP:

- 1 Os autores propõem outro tipo de algoritmo de mineração para melhorar o desempenho do sistema de detecção de falhas ?
- 2 Qual a experiência de outras empresas nesse tipo de ferramenta?
- 3 Quais são as próximas ações que a ELETRONORTE pretende tomar para melhoria do sistema apresentado?

Perguntas e Respostas

1. Os autores outro tipo de algoritmo de mineração para melhorar o desempenho do sistema de detecção de falhas ?

2. Qual a experiência de outras empresas nesse tipo de ferramenta?

Em conversas informais com outros agentes, envolvidos em processos de automação, identifiquei muitas iniciativas nas áreas de governança, mas nenhuma na área de O&M.

3. Qual as próximas ações que a ELETRONORTE pretende tomar para melhoria do sistema apresentado?

Melhorar o sistema de coleta de dados; desenvolver o sistema de armazenamento, facilitando a extração de dados úteis; implementar o método sobre um volume maior de dados; expandir o método para um número maior de famílias de equipamentos; experimentar refinamentos do método propostos pela academia.

1. Os autores propõe outro tipo de algoritmo de mineração para melhorar o desempenho do sistema de detecção de falhas ?

1. Os autores propõem outro tipo de algoritmo de mineração para melhorar o desempenho do sistema de detecção de falhas ?

O método foi adotado por sua lógica simples e objetiva, fácil de explicar aos patrocinadores, mas há diversas alternativas no campo do aprendizado não-supervisionado. Em especial, o método de redes neurais parece muito promissor, inclusive há trabalhos usando esse método para análise preditiva de falhas em foguetes.

Título - Análise comparativa de técnicas disponíveis para identificação de pontos de descargas parciais (DP) em transformadores elevadores de capacidade 250MVA isolados a óleo.

Entidade(s) - China Three Gorges Brasil Energia LTDA

Autor(es) - Giulliano Batelochi Gallo, José Rodrigo Galvão, Claudio Cesar Alcantara, Leonardo Torres Bispo dos Santos

Resumo

Giulliano Batelochi Gallo, Maurilio Faria Moraes, José Rodrigo Galvão, Marcio Matos, Leonardo Torres Bispo dos Santos
CTG Brasil

RESUMO

Os Transformadores de potência, são sem dúvida um dos ativos mais caros e de maior criticidade operativa em todo o Sistema Elétrico de Potência (SEP). Seguindo

essa premissa, as empresas de energia investem cada vez mais recursos em sistemas de monitoramento robustos e técnicas preditivas de diagnóstico capazes de identificar defeitos. Com as novas políticas de gestão de ativos baseadas na condição, a avaliação real da condição do ativo, diminui a indisponibilidade e consequentemente maximiza a confiabilidade dos sistemas elétricos nos quais estão inseridos.

Dentre as ferramentas preditivas de diagnóstico aplicadas a grandes transformadores, a medição de descargas parciais, vem sendo cada vez mais utilizada por apresentar grande potencial de identificação de defeitos incipientes, evitando assim falhas catastróficas e por vezes, permitindo que a ação corretiva possa ser programada e otimizada. O principal objetivo do trabalho, será a apresentação de um estudo de caso prático, aplicado a um transformador de potência localizado na UHE de Jupiá, submetido a diferentes ferramentas preditivas de diagnóstico capazes de identificar descargas parciais em sua isolação, além da análise dos resultados apresentados e a comparação de sensibilidade de cada uma delas.

Perguntas do REP:

- 1 Como é realizada a calibração inicial pela metodologia acústica, visando quantificar a energia das descargas internas ao transformador de potência? Esta calibração é feita para cada um dos sensores acústicos?
- 2 Como é feita, pelo software da instrumentação, a correção do posicionamento dos sinais acústicos para sincronismo com os sinais a 60 Hz, uma vez que existe um retardo na aquisição dos sinais acústicos, o qual é função da distância do sensor ao local da descarga?
- 3 Foi realizada alguma inspeção/abertura do transformador retirado de operação em 2023? Senão, a empresa pretende ainda fazer uma verificação para elucidar sobre o real problema que teria ocorrido internamente?

Perguntas e Respostas

1 – Como é realizada a calibração inicial pela metodologia acústica, visando quantificar a energia das descargas internas ao transformador de potência? Esta calibração é feita para cada um dos sensores acústicos?

Após a instalação dos sensores acústicos piezoelétricos ao longo do tanque do transformador, de forma que o número de sensores depende do número de canais do Analisador Acústico utilizado, gera-se um sinal acústico artificial de forma que cada sensor por diferentes tempos e à diferentes energias (sendo estes alguns dos parâmetros quantificados pelo analisador acústico) recebem esses sinais de forma diferenciada. O sinal de calibração é produzido por uma quebra de grafite com ponta 2H e diâmetro 0,3 ou 0,5 mm e não inferior à 85 dB, padronizado conforme a norma ABNT NBR 15633 na superfície do tanque do transformador, ao lado dos sensores, de forma a sensibilizá-los e garantir a funcionalidade do analisador acústico em relação aos parâmetros de medição.

2 – Como é feita, pelo software da instrumentação, a correção do posicionamento dos sinais acústicos para sincronismo com os sinais a 60 Hz, uma vez que existe um retardo na aquisição dos sinais acústicos, o qual é função da distância do sensor ao local da descarga?

Os sinais a 60 Hz são sinais periódicos, compostos pelas próprias grandezas do sistema elétrico de potência e portanto apenas servem como sinal de sincronismo da atividade de Descarga Parcial. Desta forma, como os sensores acústicos são ressonantes e atuam na faixa de frequência de geralmente 150 kHz, o método de localização utilizando o algoritmo de triangularização ou pela reaproximação dos sensores é função do correto cadastro da velocidade de propagação do som no óleo mineral isolante, das distâncias de cada sensor em relação à fonte de DP e dos parâmetros de energia e tempo de chegada desses sinais em cada elemento sensor. Portanto, durante a ocorrência do sinal de descarga parcial elétrica em HF, estes sinais elétricos de alta frequência são convertidos em ondas de pressão mecânicas que se propagam no óleo e em outros meios no interior do transformador e sensibilizam os sensores acústicos, portanto não há influência do sinal de sincronismo elétrico em 60 Hz.

3 – Foi realizada alguma inspeção/abertura do transformador retirado de operação em 2023? Senão, a empresa pretende ainda fazer uma verificação para elucidar sobre o real problema que teria ocorrido internamente?

Após as medições acústicas que indicaram atividades significativas próximas à região do comutador e da repetição da produção de acetileno e outros gases combustíveis como hidrogênio e monóxido de carbono mesmo após o tratamento do óleo, decidiu-se pelo desligamento do ativo e a programação da inspeção interna do transformador por uma empresa especializada contratada. O processo de contratação já foi concluído e as inspeções deverão ocorrer entre os meses de outubro e novembro deste ano de 2025.

Título - Inventário de PCB: Principais desafios, oportunidades de melhoria e avaliação dos resultados para equipamentos de grande porte e de pequeno porte.

Entidade(s) - Cemig Distribuição S.A., ADPM Serviços de Engenharia Ltda, Cemig GT, Universidade Federal de Minas Gerais

Autor(es) - MARIANA GARCIA COSTA, Eduardo Henrique Ferreira Santos, Cassio Bruno de Araujo, Adriana de Castro Passos Martins, Romulo Miranda Teixeira, Marcelo Cardoso, Iana Rísia Alves dos Santos, COSTABILE DI SESSA, FELIPE FRANCISCO BUENO COTTA, Clara Silva

Resumo

G. COSTA 1 ; A. C. P. MARTINS 2 ; C. DI SESSA 3 ; I. R. A. DOS SANTOS 1 ; F. F. B. COTTA 1 ; M. CARDOSO 4 ; E. H. F. SANTOS 5 ; C. B DE ARAUJO 1 ; R. M. TEIXEIRA 3 ; C. SILVA 3 ; J. F. ALVES 5

1 CEMIG D, 2 ADPM Engenharia; 3 CEMIG GT; 4 UFMG; 5 G4F a serviço da Cemig D

RESUMO

O Brasil é signatário da Convenção de Estocolmo (CE) sobre poluentes orgânicos persistentes que incluem as Bifenilas Policloradas (PCB), utilizadas como fluido dielétrico isolante, entre outros. A CE estabelece que, até 2025, deve-se enviar esforços para identificar e tirar de uso equipamentos com mais de 50 mg/kg, realizando sua destinação até 2028. Estima-se que o país utilizou de 1 a 2% da

produção global das PCBs. Em 2021 e 2022, foram publicadas a Lei nº 14.250 e Portaria Interministerial MMA MME nº 107, que estabeleceram os critérios do Inventário de PCB, entre outros.

Esse trabalho tem por objetivos: avaliar brevemente os resultados do Inventário de PCB de uma companhia do setor elétrico que contemplou os segmentos de Geração, Transmissão e Distribuição, e apresentar os principais desafios enfrentados para sua conclusão com propostas de melhorias.

Os resultados indicaram um percentual baixíssimo de equipamentos contaminados com PCB ou PCB (2,7% das amostras dos 3 segmentos), como era esperado pelo histórico nacional e dessa companhia e projetos demonstrativos realizados. A principal dificuldade enfrentada foi a qualidade das informações dos bancos de dados por estarem em sistemas incompletos, com números inconsistentes, elaborados apenas com informações elétricas, com números de identificação diversos, entre outros. Mas destaca-se que foi possível realizar o inventário, apesar dessas adversidades, a partir de premissas que foram assumidas. Assim, a regulamentação vigente permitiu a priorização das atividades necessárias para atendimento à CE, sem onerar desnecessariamente a sociedade brasileira.

Perguntas do REP:

1 A quantidade de equipamentos avaliados na amostragem corresponde a que proporção em relação ao total disponível na população? Houve alguma tendência encontrada em relação aos valores de PCB e o ano de fabricação dos transformadores? Como os autores avaliam a representatividade estatística da amostragem dos equipamentos? Houve subpopulações cuja representatividade tenha sido considerada crítica ou insuficiente? Quantos transformadores se enquadraram na condição de outilers? Qual o critério para remoção de outilers da estatística final?

2 Dado que os resultados obtidos por potenciometria apresentaram valores superiores aos da cromatografia, os autores consideram possível a adoção futura de uma única metodologia analítica padronizada? Como a diferença metodológica entre cromatografia e potenciometria para detectar PCBs pode influenciar a interpretação dos dados e na tomada de decisão?

3 Além do atendimento às exigências da Convenção de Estocolmo, quais práticas ou aprendizados oriundos da execução deste inventário os autores consideram passíveis de institucionalização no setor elétrico, visando à melhoria contínua da gestão de ativos e à promoção da sustentabilidade?

Perguntas e Respostas

1 - A quantidade de equipamentos avaliados na amostragem corresponde a que proporção em relação ao total disponível na população? Houve alguma tendência encontrada em relação aos valores de PCB e o ano de fabricação dos transformadores? Como os autores avaliam a representatividade estatística da amostragem dos equipamentos? Houve subpopulações cuja representatividade tenha sido considerada crítica ou insuficiente? Quantos transformadores se enquadraram na condição de outilers? Qual o critério para remoção de outilers da estatística final?

2 - Dado que os resultados obtidos por potenciometria apresentaram valores superiores aos da cromatografia, os autores consideram possível a adoção

futura de uma única metodologia analítica padronizada? Como a diferença metodológica entre cromatografia e potenciometria para detectar PCBs pode influenciar a interpretação dos dados e na tomada de decisão?

3 - Além do atendimento às exigências da Convenção de Estocolmo, quais práticas ou aprendizados oriundos da execução deste inventário os autores consideram passíveis de institucionalização no setor elétrico, visando à melhoria contínua da gestão de ativos e à promoção da sustentabilidade?

Título - Classificação de Descarga de Efeito Corona por meio de Imageamento Ultravioleta

Entidade(s) - FACULDADES CATOLICAS

Autor(es) - Yuri dos Reis Oliveira, Eduardo Costa da Silva

Resumo

Yuri dos Reis Oliveira; Eduardo Costa da Silva; Carlos Roberto Hall Barbosa
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

RESUMO

A identificação precisa de descargas corona em equipamentos de alta tensão é essencial para evitar danos mecânicos e perdas energéticas. Tradicionalmente, essa análise é realizada por meio de métodos subjetivos, como inspeção visual ou medição de radiointerferência, os quais dependem da experiência do operador e são sensíveis a parâmetros como distância e ganho da câmera UV. Este artigo propõe um classificador automático baseado em redes neurais para categorizar descargas corona em quatro tipos principais: corona negativo (NE), transição para corona positivo (IP), corona positivo estabilizado (PE) e corona extremo (PEX). Foram avaliadas três abordagens: redes Multilayer Perceptron (MLP), redes neurais convolucionais (CNN) e uma arquitetura híbrida (rede neural multimodal) combinando as CNN e MLP com dados estruturados de aquisição (ganho, distância e modelo da câmera). Os dados foram obtidos em ensaios laboratoriais com eletrodos ponta-plano, processados por técnicas de visão computacional, gerando imagens integradas resultante e características extraídas. A abordagem MLP alcançou acurácia máxima de 80,5%, enquanto a CNN pura atingiu 84,5%. A arquitetura híbrida (CNN +MLP “dados estruturados”) obteve o melhor desempenho, com 91,2% de acurácia em dados generalistas e 98,7% quando especializada para a câmera UV de maior resolução (1280 × 720 pixels). Os resultados demonstram que a inclusão de parâmetros de aquisição e o uso de imagens de alta resolução melhoram significativamente a classificação. O classificador desenvolvido reduz a subjetividade da análise humana e pode ser integrado a sistemas de monitoramento de alta tensão, oferecendo um método robusto para detecção automática de descargas corona.

Perguntas do REP:

1 Qual é a utilização prática das técnicas apresentadas para as equipes de manutenção ou inspeção de linhas de transmissão e equipamentos de subestação? Como as equipes de manutenção devem agir em função dos resultados de medições de corona nas linhas e equipamentos de alta tensão? Considerando que o dano ao equipamento decorre da descarga em si, qual é a motivação para classificar

as fases intermediárias do fenômeno corona, em vez de avaliar apenas a presença ou ausência de descarga prejudicial?

2 As inspeções tradicionais via sensores parabólicos ultrassônicos, antenas, bem como as mais atuais câmeras de imagem acústica não deveriam ser também consideradas nesse tipo de trabalho, uma vez que se destinam às mesmas finalidades? No mais, como o método baseado em imagens UV mitiga os efeitos de variações atmosféricas (temperatura, umidade, luminosidade ambiente) em comparação com as técnicas tradicionais?

1 De quais referências foram obtidas as classificações de corona, denominadas resumidamente por NE, IP, PE e PEX? O autor pode explicar os critérios físicos que diferenciam cada fase do efeito corona? Por que não foi utilizada uma nomenclatura mais clássica e reconhecida internacionalmente, tal como corona negativo, corona positivo e suas subdivisões (trichel, glow, streamers), etc ?

Perguntas e Respostas

1- Qual é a utilização prática das técnicas apresentadas para as equipes de manutenção ou inspeção de linhas de transmissão e equipamentos de subestação? Como as equipes de manutenção devem agir em função dos resultados de medições de corona nas linhas e equipamentos de alta tensão? Considerando que o dano ao equipamento decorre da descarga em si, qual é a motivação para classificar as fases intermediárias do fenômeno corona, em vez de avaliar apenas a presença ou ausência de descarga prejudicial?

2- As inspeções tradicionais via sensores parabólicos ultrassônicos, antenas, bem como as mais atuais câmeras de imagem acústica não deveriam ser também consideradas nesse tipo de trabalho, uma vez que se destinam às mesmas finalidades? No mais, como o método baseado em imagens UV mitiga os efeitos de variações atmosféricas (temperatura, umidade, luminosidade ambiente) em comparação com as técnicas tradicionais?

3- De quais referências foram obtidas as classificações de corona, denominadas resumidamente por NE, IP, PE e PEX? O autor pode explicar os critérios físicos que diferenciam cada fase do efeito corona? Por que não foi utilizada uma nomenclatura mais clássica e reconhecida internacionalmente, tal como corona negativo, corona positivo e suas subdivisões (trichel, glow, streamers), etc ?

Título - Desenvolvimento de Sistema Inteligente para Monitoramento e Diagnóstico de Transformadores de Potência – Subestação Digital

Entidade(s) - PS Soluções Indústria, Comércio, Representações e Consultoria Ltda, EDF Brasil Holding, INSTITUTO GNARUS

Autor(es) - Fernanda Mitchelly Vilas Boas Abreu, Jaime Jose de Oliveira Junior, Rafael Bartholomeu Bernardo Carvalho, Frederico de Oliveira Assunção, Tiago Gonçalves Zacarias

Resumo

Fernanda Mitchelly Vilas Boas Abreu 1 , Leonardo Cordiviola Navarro 2 , André Luiz Fidélis Santos 2 , Fábio Monteiro Steiner 2 , Jaime Oliveira Júnior 2 , Rafael Bartholomeu Bernardo Carvalho 2 , Frederico de Oliveira Assunção 1 , Erik Leandro Bonaldi 1 , Luiz Eduardo Borges da Silva¹; Tiago Gonçalves Zacarias 3 ; Leandro Calegari Correa 2

1 PS SOLUÇÕES INDÚSTRIA, COMÉRCIO, REPRESENTAÇÕES E CONSULTORIA LTDA; 2 EDF NORTE FLUMINENSE; 3 INSTITUTO GNARUS

RESUMO

Transformadores de potência são ativos críticos no Sistema Elétrico de Potência, e falhas podem resultar em prejuízos financeiros e interrupções no fornecimento de energia. Este artigo apresenta o desenvolvimento e a validação de um sistema inteligente de monitoramento em tempo real, integrando sensores digitais, análise de resposta em frequência online (OnFRA 4.0), algoritmos de inteligência artificial e plataforma supervisória baseada em comunicação digital. Foi aplicada a comparação entre os algoritmos Random Forest , Isolation Forest e Entende Isolation Forest (EIF) para detecção de anomalias operacionais. O sistema foi validado em dois transformadores, em ambientes industrial e de subestação, demonstrando a eficácia do EIF com acurácia superior a 92% e ganho operacional de até 30% em relação a sistemas tradicionais. A análise econômica apontou um retorno sobre investimento (ROI) de 2,4 anos, evidenciando a viabilidade da solução para modernização de subestações.

Perguntas do REP:

1 A análise econômica apresentada no trabalho foi realizado para um transformador com quais características (potência, tensão, com comutação sob carga...)?

2 Para o estudo de caso, as falhas foram simuladas ou obtidas de um monitoramento de transformadores instalados em campo

3 A partir do desempenho apresentado, os autores acreditam que a tomada de decisão pela retirada de operação do transformador baseada apenas na resposta do Sistema de monitoramento (sem a avaliação da equipe de manutenção) seria prudente?

Perguntas e Respostas

1- A análise econômica apresentada no trabalho foram realizado para um transformador com quais características (potência, tensão, com comutação sob carga...)?

A análise econômica apresentada foi desenvolvida considerando transformadores de grande porte operando em subestações de geração e transmissão de energia. Como exemplo representativo, pode-se citar o transformador 110BAT10 da EDF Norte Fluminense, com potência nominal de até 203 MVA (ONAFII), tensão de 345 kV / 15 kV, resfriamento ONAN/ONAFI/ONAFII, e comutação manual fora de carga. O estudo avaliou os impactos da aplicação de um sistema inteligente de monitoramento on-line composto por sensores, aquisição integrada e algoritmos de detecção baseados em iForest, resultando em benefícios como a redução de mais de 35% no custo total de propriedade (TCO) em 10 anos e retorno do investimento (ROI) em cerca de 2,4 anos.

2- Para o estudo de caso, as falhas foram simuladas ou obtidas de um monitoramento de transformadores instalados em campo?

As falhas foram simuladas a partir de transformadores efetivamente monitorados em campo. As simulações foram realizadas com base em fenômenos reais observáveis (como umidade no óleo, mau contato e falha de isolamento), utilizando equipamentos já instalados no ambiente de operação. Os sensores e sistemas aplicados foram desenvolvidos no âmbito de projetos de P&D ANEEL, garantindo que os dados fossem representativos e aderentes à realidade operacional.

3- A partir do desempenho apresentado, os autores acreditam que a tomada de decisão pela retirada de operação do transformador baseada apenas na resposta do Sistema de monitoramento (sem a avaliação da equipe de manutenção) seria prudente?

Acredita-se que, para determinadas falhas com resposta objetiva (como sobretemperatura ou variação abrupta de impedância), o sistema fornece elementos suficientes para decisões imediatas. No entanto, o procedimento recomendado envolve a integração do sistema com o centro de operação (ex.: SACADA da concessionária), o qual avalia os alarmes emitidos antes de acionar o desligamento. Assim, o sistema atua como suporte inteligente à decisão, mas a prudência exige validação conjunta com a equipe técnica da manutenção.

Título - Metodologia de Baixo Impacto operacional para o Monitoramento On-Line de Transformadores a Seco

Entidade(s) - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CEPEL

Autor(es) - Hélio de Paiva Amorim Junior, Thiago Baptista Rodrigues, Daniel Leandro Argôlo, Rogério Magalhães de Azevedo

Resumo

Hélio de Paiva Amorim Júnior, Thiago Baptista Rodrigues, Daniel Leandro Argôlo, Rogério Magalhães de Azevedo, Pietro Leonardo Heinsch Griotti e Breno Torres Meyer

Cepel e CGT Eletrosul

RESUMO

Os transformadores a seco se tornaram populares em aplicações comerciais e industriais. Eles também têm sido empregados com grande intensidade nas usinas fotovoltaicas e nos parques eólicos, atividade em plena expansão no sistema elétrico brasileiro. Algumas razões que ajudaram a popularizar o uso desses equipamentos elétricos estão relacionadas a questões ambientais e minimização de explosões. O transformador a seco, ao contrário do concorrente, o transformador isolado a óleo, não apresenta risco de derramamento de óleo, pois não possui esse material isolante e o risco de incêndio e explosão, embora ainda exista, é bem inferior quando comparado com o concorrente. O principal problema deste tipo de equipamento é a degradação do material isolante. Sem qualquer proteção, o transformador poderá ser destruído devido a problemas no isolamento da resina das bobinas de alta tensão, causando grandes danos e perdas no processo produtivo. Este artigo investiga e analisa uma metodologia de baixo impacto operacional no monitoramento destes equipamentos. O emprego de sensores bipartidos, conhecidos como HFCT (High Frequency Current Transformer) apresenta vantagens, como rapidez na instalação e monitoramento on-line. Dois estudos de caso de extrema relevância serão apresentados e algumas importantes conclusões são obtidas a partir destes casos.

Perguntas do REP:

Os autores consideram que o método de medição de DP por meio do HFCT, apresentam resultados satisfatórios apesar de ser menos sensível que o sistema convencional de medição?

Qual a recomendação para a validação da quantificação (estabelecimento do valor real das DPs)?

Considerando proposta da aplicação do HFCT para avaliação dos transformadores a seco em parques eólicos, a distância entre o HFCT e o instrumento de medição seria um ponto de atenção?

Perguntas e Respostas

1- Os autores consideram que o método de medição de DP por meio do HFCT apresentam resultados satisfatórios apesar de ser menos sensível que o sistema convencional de medição?

2- Qual a recomendação para a validação da quantificação (estabelecimento do valor real das DPs)?

3- Considerando proposta da aplicação do HFCT para avaliação dos transformadores a seco em parques eólicos, a distância entre o HFCT e o instrumento de medição seria um ponto de atenção?

1- Os autores consideram que o método de medição de DP por meio do HFCT apresentam resultados satisfatórios apesar de ser menos sensível que o sistema convencional de medição?

2- Qual a recomendação para a validação da quantificação (estabelecimento do valor real das DPs)?

3- Considerando proposta da aplicação do HFCT para avaliação dos transformadores a seco em parques eólicos, a distância entre o HFCT e o instrumento de medição seria um ponto de atenção?

1- Os autores consideram que o método de medição de DP por meio do HFCT apresentam resultados satisfatórios apesar de ser menos sensível que o sistema convencional de medição?

2- Qual a recomendação para a validação da quantificação (estabelecimento do valor real das DPs)?

3- Considerando proposta da aplicação do HFCT para avaliação dos transformadores a seco em parques eólicos, a distância entre o HFCT e o instrumento de medição seria um ponto de atenção?

3- Considerando proposta da aplicação do HFCT para avaliação dos transformadores a seco em parques eólicos, a distância entre o HFCT e o instrumento de medição seria um ponto de atenção?

4.0 – Constatações