

Grupo de Estudo de Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes (GTM)

RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

JAIME SUNE - Consultor
ALAIN FRANCOIS SANSON LEVY - CEPEL
ROBERTO ASANO JUNIOR - UFABC

1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os temas preferenciais do GTM para o SNPTEE 2018 trouxe a oportunidade para que se apresentassem os atuais desafios enfrentados pela indústria e as consequentes soluções desenvolvidas ou em desenvolvimento para transformadores, materiais e técnicas de ensaio e diagnóstico. Os autores e apresentadores encontraram-se bem distribuídos entre usuários, universidade e centros de pesquisa onde predominantemente os usuários estão entre os autores principais e demandantes das pesquisas. Destaca-se a participação limitada dos fabricantes.

A confiabilidade e gestão do ativo foi um tema predominante, incluindo aprimoramentos da especificação, ensaios e questões regulatórias referentes aos procedimentos de manutenção, remuneração do ativo e políticas de incentivos para continuidade do serviço.

Observou-se também a participação de uma nova geração de engenheiros que demandam a debates em temas aparentemente esgotados, mas que, poderiam ser revisitados num formato trabalhos de revisão, tutorias ou painéis de discussão.

2.0 CLASSIFICAÇÃO DOS INFORMES TÉCNICOS

Os 28 (vinte e oito) informes técnicos apresentados foram classificados em 04 (quatro) grupos, conforme os Temas Preferenciais escolhidos pela Comissão Técnica e ordenados conforme grade de horário do evento, em função do conteúdo técnico conforme indicado a seguir:

Especificação de Transformadores e Reatores para G, T & D (alta tensão de D) – 6 IT

Materiais Aplicados a Reatores e Transformadores – 3 IT

Ocorrências em Transformadores e Reatores – 3 IT

Técnicas de ensaio, medição, calibração, monitoramento e diagnóstico – 16 IT

Embora a grande maioria dos trabalhos estejam classificados no tema associado a técnicas de ensaio e monitoramento, verifica-se que o foco desses trabalhos são em sua maioria aplicados a transformadores de potência, o que reflete a grande importância desse ativo no sistema. Houve boa diversidade de enfoque dos artigos uma vez que assuntos envolvendo modelagens, análises de desempenho, materiais, interação com o sistema, estudos de casos e outros aspectos associados a transformadores puderam ser explorados pelos autores dos informes técnicos.

Poucos trabalhos exploraram temas relacionados a equipamentos dos sistemas de transmissão que não fossem transformadores de potência e reatores. Dois artigos trataram de isoladores, um de transformadores de corrente e um envolvendo para-raios.

2.1 507 - Especificação de Transformadores e Reatores para G, T & D (alta tensão de D):

- 409 - MODELAGEM UTILIZANDO O MÉTODO AHP, PARA DETERMINAR A PRIORIZAÇÃO NA SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADORES DE TRANSMISSÃO COM A VIDA ÚTIL REGULAMENTAR EXAURIDA.
- 939 - REQUISITOS TÉCNICOS E MELHORES PRÁTICAS PARA ESPECIFICAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E REATORES DE DERIVAÇÃO - GT A2 09
- 933 - Análise da relação perdas em vazio e em carga de autotransformadores e transformadores de potência da Cemig GT
- 212 - Considerações sobre definição, especificação, aquisição, instalação e manutenção de transformadores de PCHs.
- 414 - ANÁLISE DAS SOLICITAÇÕES IMPOSTAS POR AIS/GIS E LINHAS SUBTERRÂNEAS SOBRE OS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA
- 1376 - COMPARAÇÃO ENTRE MODELO NUMÉRICO DETALHADO E SIMPLIFICADO DO ENROLAMENTO DE UM TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ELEVAÇÕES DE TEMPERATURA INTERNAS

2.2 508 - Materiais Aplicados a Reatores e Transformadores:

- 365 - ESTUDO DE NANOCOMPÓSITOS ISOLANTES DE EPÓXI/ALUMINA
- 1223 - ANÁLISE DOS RESULTADOS CROMATOGRÁFICOS DOS PROJETOS DEMONSTRATIVOS DE INVENTÁRIO ESTATÍSTICO DE PCB EM 3 COMPANHIAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO
- 1184 - Métodos para Cálculo do Envelhecimento de Transformadores Isolados a Óleo Mineral ? Uma Revisão do Estado da Arte

2.3 509 - Ocorrências em Transformadores e Reatores:

- 746 - FALHAS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA, SEUS EFEITOS E AS RECOMENDAÇÕES ASSOCIADAS
- 614 - Cálculo de parâmetros circuitais dos modelos de alta frequência para transformadores de potência
- 875 - Banco de Transformadores Operando com Enrolamentos Abertos - Modelagem, Análise de Falha e Comparação de Resultados

2.4 510 - Técnicas de ensaio, medição, calibração, monitoramento e diagnóstico:

- 115 - Desenvolvimento de sistema de monitoramento óptico de multiparâmetros para transformadores de potência
- 274 - USO DE METANOL E ETANOL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS TÉRMICAS ENVOLVENDO PAPEL KRAFT ISOLANTE
- 358 - Avaliação de desempenho e custo de pintura anticorrosiva de transformadores
- 691 - Metodologia online para diagnóstico de comutadores de derivações sob carga baseada em assinatura elétrica
- 769 - Aplicação de Técnicas de Processamento de Sinais para Mitigação de Ruídos nas Medições de Resposta em Frequência em Subestações Energizadas.

- 786 - Desenvolvimento de sensor óptico de temperatura e esforços mecânicos para transformadores de potência.
- 870 - SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA ENSAIOS DE PERFURAÇÃO EM ISOLADORES
- 883 - Sistema de Medição para Solicitações Transitórias em Transformadores de Corrente para Alta Tensão
- 1250 - Classificador de Nível de Poluição em Isoladores de Vidro, aplicação em Rede Neural
- 882 - MONITORAMENTO PREDITIVO EM ATIVOS DE TRANSMISSÃO COM FOCO NA EMISSÃO DE LAUDOS TÉCNICOS CONFORME RESOLUÇÃO ANEEL 669/2015
- 976 - EXPLORAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA ESTIMAÇÃO DE VIDA ÚTIL DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA
- 1019 - Análise do Comportamento dos Enrolamentos de um Transformador de Potência Durante a Energização
- 303 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA - ANÁLISE DOS ENROLAMENTOS FRENTE ÀS SOLICITAÇÕES IMPOSTAS PELO SISTEMA ELÉTRICO
- 1231 - MODELAGEM DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA EM ALTAS FREQUÊNCIAS ATRAVÉS DE MEDIÇÕES EM CAMPO
- 1172 - Investigação dos Métodos Normativos para o Cálculo e Estimação da Temperatura do Topo do Óleo em Transformadores de Potência - Aplicabilidade ao Cenário Brasileiro e Proposta de Novas Abordagens
- 1433 - Desafios no diagnóstico de para-raios óxido de zinco de alta tensão aplicados na proteção de transformadores de potência

3.0 RELATÓRIO SOBRE OS INFORMES TÉCNICOS

3.1 - MODELAGEM UTILIZANDO O MÉTODO AHP, PARA DETERMINAR A PRIORIZAÇÃO NA SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADORES DE TRANSMISSÃO COM A VIDA ÚTIL REGULAMENTAR EXAURIDA.

ANTÂNIO TADEU DE BRITO(1); ALZETE MARTINS QUADROS(2); FELIPE LUIS PROBST(3); - ELETROSUL(1);ELETROSUL(2);ELETROSUL(3);

Este trabalho apresenta a aplicação do método AHP para classificar a ordem de substituição de transformadores da rede básica que possuem idade superior a 35 anos, visando a alta administração da Eletrosul com mais uma ferramenta para auxiliar as tomadas de decisões. A principal vantagem do método é a propriedade de ser facilmente replicado, após a definição dos critérios, para condições similares, visto que as definições são totalmente analíticas. Ao final do estudo, é possível verificar de forma clara e objetiva a aplicabilidade do método, bem como a facilidade de sua aplicação.

Perguntas e respostas:

A) A equação que trata da idade dos transformadores é constante para quaisquer idades do conjunto a ser considerado na avaliação? Para um vetor de Eigen de 4% associado com a idade dos transformadores, essa equação dificilmente irá fazer com que seja priorizada a substituição de uma unidade pelo critério de sua idade.

Sim, a equação é constante. Para esclarecer a questão, gostaria de exemplificar com a seguinte situação: A priorização de substituição, para situação semelhantes, entre um transformador antigo com a vida regulamentar exaurida, com baixa importância sistêmica e um transformador mais novo, que inicia a dar problemas com importância sistêmica elevada, o método levaria à condição de substituir o equipamento mais novo devido a sua importância sistêmica. No caso deste estudo, a idade do equipamento não é a principal característica a ser observada. Caso deseje, podemos fazer uma simulação com estudo de caso.

B) Aspectos técnicos de desempenho dos transformadores no caso de três amostras analisadas (2FAL e obsolescência dos acessórios) aparentam ter pouco efeito no resultado final do trabalho. Isso é também verdade para um conjunto maior envolvendo as 36 unidades avaliadas pela Eletronorte?

A Eletrosul analisou os 36 equipamentos e pelo critério, o envelhecimento do papel tem um peso idêntico ao da importância sistêmica, de 35,97%. Entendo que a obsolescência dos acessórios tem pouca importância no resultado final, todavia, o envelhecimento do papel tem grande importância. No nosso caso houve um equipamento que estava em primeiro lugar para substituir devido à degradação do papel, mas devido à sua importância sistêmica e aos outros critérios ficou em 11º lugar no "ranking" final no que tange a priorização para a sua substituição.

C) Um estudo complementar associado ao risco de falha dos equipamentos não poderia trazer uma alteração nas importâncias relativas das características consideradas no estudo realizado?

É possível que sim, a depender das características do estudo a ser executado. Saliento porém que possivelmente as características do trabalho seriam alteradas..

Comentário: - O arquivo enviado pelo autor mantinha a marcação de comentários ativa, o Relator mudou a seleção desta funcionalidade para versão final e salvou o arquivo sem alterações. - Faltam as informações de todos os coautores.

3.2 - REQUISITOS TÉCNICOS E MELHORES PRÁTICAS PARA ESPECIFICAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E REATORES DE DERIVAÇÃO - GT A2 09

JANAINA GOMES DA COSTA(1); ALAN SBRAVATI(2); ALEXANDRE GONÇALVES LEITE(3); Juliano Ricardo da Silva(3); Rosana Ishii(4); Marcos Czernorucki(5); Roberto Asano Junior(6); Hamilton Batista de Oliveira(7); Iran Prado Arantes(8); Gilberto Amorim Moura(9); - CEMIG GT(1);CARGILL(2);ITAIPU(3);Consultor(4);ABB(5);UFABC(6);FURNAS(7);ELETRONORTE(8);Treetech(9);

Entre os princípios do modelo aplicado ao setor elétrico brasileiro estão a modicidade tarifária e a garantia de segurança do fornecimento de energia elétrica. Ambos os princípios são fundamentais e o equilíbrio entre eles depende do avanço na definição dos requisitos técnicos dos equipamentos e sistemas utilizados em nosso país. Tendo como objetivo o incentivo à livre concorrência, os editais de licitações do setor se limitam aos requisitos funcionais mínimos e aos procedimentos de rede. Porém, dada a grande complexidade do sistema elétrico brasileiro, incluindo o Sistema Interligado Nacional (SIN), são necessários aprofundamentos nos requisitos técnicos, de confiabilidade e disponibilidade. Em relação aos transformadores, elementos de elevado custo e responsabilidade para o sistema, os elevados níveis de concorrência dos empreendimentos, podem levar a reduções nas exigências aplicadas nas especificações técnicas dos transformadores, buscando-se o menor custo para o equipamento. Entretanto, o princípio da modicidade tarifária deve ser equilibrado com a garantia de segurança do fornecimento, que depende de equipamentos confiáveis e com elevados padrões de qualidade. Assim o equilíbrio entre tais princípios depende de aprimoramentos e aprofundamentos nos requisitos das especificações técnicas para os equipamentos. Neste contexto, o Grupo de Trabalho (GT) A2.09 foi formado com o objetivo de reunir em um documento requisitos de especificação, tendo como base brochuras técnicas nacionais (1), (2) e internacionais do Cigré (3), (4), bem como realizar a análise de diferentes aspectos incorporados às especificações técnicas de empresas tradicionais de nosso país, normas técnicas nacionais e internacionais e novas metodologias e soluções que favoreçam a conciliação entre custos competitivos, qualidade e confiabilidade a longo prazo, aplicáveis para os transformadores do SIN (Sistema Integrado Nacional).

Perguntas e respostas:

A) Referente à utilização das normas, o trabalho vai contemplar uma análise sobre sua real efetividade para garantir um desempenho confiável ao longo de sua vida útil pretendida para os transformadores e reatores?

As normas aplicáveis a transformadores (ABNT NBR 5356 e suas partes) visam padronizar de forma genérica transformadores de diferentes aplicações, tensões e potências, de forma que é aplicável a equipamentos trifásicos e monofásicos (inclusive autotransformadores) do sistema de distribuição, transmissão e geração, excetuando-se apenas certas categorias de pequenos transformadores e transformadores especiais. Considerando a abrangência das normas bem como a complexidade e custo do transformador, torna-se imprescindível a elaboração de uma especificação técnica que contemple requisitos da aplicação, considerando intercambiabilidade, rotinas de manutenção do usuário e vida útil compatível com o esperado. Uma das propostas do trabalho é promover uma revisão e comparação entre as Especificações Técnicas dos principais agentes no mercado brasileiro, não voltada para padronização mas sim à identificação de elementos comuns e discussão da relação custo/benefício das diferentes soluções. O desempenho confiável de um equipamento ao longo da vida útil começa com uma boa especificação técnica e continua com a adequada manutenção preditiva e preventiva.

B) A confiabilidade de um equipamento certamente está atrelada à rigidez de seus requisitos técnicos, o que, em princípio, tem função direta com os custos, o que se reflete no inverso na modicidade tarifária. Nesse sentido, não seria possível definir ou sugerir critérios básicos de projeto mais relacionados com uma melhor garantia de desempenho?

Acredito que uma boa especificação técnica deve levar em consideração requisitos técnicos compatíveis com seu porte, sua relevância no sistema, rotinas operativas e de manutenção. Sob a ótica de uma solução global que considere a diversidade de transformadores (porte, ponto operativo, função, estratégia de manutenção, segurança), uma boa especificação técnica não implica em aumento de custos e sim em redução do custo total de propriedade.

C) Sobre a estrutura da brochura técnica pergunta-se: Serão tratados separadamente os vários tipos de transformadores e reatores?

Não haverá capítulos separados para os vários tipos de transformadores e reatores, a brochura irá tratar as diferenças e considerações sobre particularidades quando houverem ou forem relevantes ao longo do texto.

3.3 - Análise da relação perdas em vazio e em carga de autotransformadores e transformadores de potência da Cemig GT

JANAINA GOMES DA COSTA(1); JUNIO CESAR SOUZA DA SILVA(2); ADINA MARTINS PENA(3); - CEMIG GT(1);TSEA(2);CEMIG GT(3);

O transformador é uma máquina com considerável eficiência, porém quando consideramos equipamentos de alta potência, tipicamente os aplicados à Rede Básica, suas perdas apresentam valores significativos. Considerando o número de equipamentos instalados, as perdas em transformadores de potência representam uma parcela expressiva das perdas do sistema elétrico de transmissão brasileiro. Por essa razão, a crescente busca por sistemas de melhor desempenho energético demanda especial atenção. A especificação das perdas são um dos parâmetros mais importantes na definição do projeto de um transformador ou autotransformador, apresentando impacto direto no tamanho e peso da parte ativa, na capacidade do sistema de resfriamento, bem como no custo e eficiência do equipamento. Com a mudança na estrutura institucional do setor elétrico brasileiro no final da década de 90 e o consequente estabelecimento de regras para operação/desempenho das instalações de transmissão da rede básica do Sistema Elétrico Nacional, foram publicados os primeiros Procedimentos de Rede. No que diz respeito às perdas de transformadores e autotransformadores, a primeira revisão do submódulo 2.3 determinava que o valor das perdas totais em sua potência trifásica nominal, e à tensão e frequência nominais fosse inferior a 0,3% de sua potência trifásica nominal (1). As revisões mais recentes deste mesmo submódulo, distinguem autotransformadores de transformadores, determinando um percentual fixo para autotransformadores e percentuais

distintos de perdas totais para transformadores segundo faixas de potências nominais trifásicas (2). Entretanto, a relação ótima entre as perdas em vazio e em carga nunca foi abordada por esses procedimentos. Assim, transformadores de mesmas potência, tensões e impedâncias fornecidos às transmissoras por diferentes fabricantes podem apresentar relações entre de perdas em vazio e perdas em carga diferentes. Antes da vigência dos Procedimentos de Rede no Sistema Elétrico Interligado, algumas concessionárias utilizavam o conceito de "capitalização de perdas" nos processos licitatórios a fim de adquirir equipamentos com relação ótima entre perdas em vazio, e perdas em carga e preço final do equipamento. A capitalização de perdas é uma forma eficaz de minimizar o custo total dos transformadores levando em conta o custo inicial do equipamento e somando-se a ele o custo da eletricidade necessária ao longo de sua vida útil para suprir essas perdas. Assim, é possível obter um preço global mais competitivo do equipamento visando o cálculo do valor da economia na data do investimento inicial com a redução de perdas sobre a vida útil do transformador (3). Este trabalho tem o objetivo de apresentar a relação entre os valores de perdas em vazio (P0) e em carga (PK) dos transformadores e autotransformadores adquiridos pela Cemig GT nos últimos 10 anos em licitações públicas com e sem a avaliação de perdas visando uma análise crítica desta relação.

Perguntas e respostas:

A) Qual a motivação para para um maior custo das perdas em vazio e quais as premissas para adoção dos valores de USD 6000 e USD 4000?

A motivação para um custo maior das perdas em vazio está relacionado ao ciclo operativo típico dos transformadores do sistema de transmissão, os quais não operam com carregamento nominal na maioria das aplicações sendo as perdas em vazio mais representativas que as perdas em carga. As premissas adotadas para os valores levaram em consideração: - relação entre potência nominal e previsão de carga média - vida útil do transformador - previsão do custo da eletricidade - taxa de retorno do investimento

B) Como o usuário deveria escolher entre os diferentes níveis IEP para adequa-lo com a aplicação e curva típica de carregamento atual e previsão de carregamento futuro?

Os diferentes níveis de IEP previstos nas normas não levam em consideração carregamento atual e previsão de carregamento futuro. Para uma especificação que leve em conta as condições de carregamento (pesos diferentes para perdas a vazio e em carga) e custo da eletricidade necessária ao longo da vida útil do transformador para suprir as perdas é necessário incluir na especificação requisitos que permitam a capitalização de perdas.

C) Como os autores proporia que a norma IEC 60076-20 ou a equivalente brasileira ABNT NBR 5356-20 deveriam ser usadas em conjunto ou não com alguma função de capitalização das perdas para melhorar a busca pela eficiência energética no sistema de transmissão, assegurando tanto a competitividade entre os agentes e minimizando o impacto nos custos tarifários?

Para melhorar a busca pela eficiência energética no sistema de transmissão, assegurando a competitividade entre os fabricantes e otimizando o custo dos equipamentos é interessante a adoção de valores máximos para perdas (como prevê o procedimento de rede e o IEP da IEC 60076-20) acrescida de um critério para capitalização de perdas. Conforme pode ser verificado nas curvas apresentadas pelo trabalho, para os autotransformadores fornecidos à Cemig GT o que estabelece o procedimento de rede seja para o nível A ou D não haveria alteração no projeto. Já para os transformadores a adoção do IEP nível A implicaria em projetos diferentes dos fornecidos, sendo o procedimento de rede mais flexível. Deve se lembrar que os transformadores das subestações da distribuição e geração não são cobertos pelos requisitos dos procedimentos de rede o que demanda atenção ao se especificar adequadamente.

3.4 - Considerações sobre definição, especificação, aquisição, instalação e manutenção de transformadores de PCHs.

ROBERTO DE AGUIAR(1); Jhonata Froguel(2); José Airton dos Santos Filho(2); - R DE AGUIAR(1);BROOKFIELD R.(2);

Após alguns anos acompanhando o desempenho de transformadores de PCHs foi possível fazer um levantamento das principais falhas e defeitos desses equipamentos. Esse trabalho vai abordar as principais falhas e as dificuldades para efetuar a manutenção corretiva em transformadores nesse tipo de instalação. Também iremos apresentar algumas considerações à respeito a definição, especificação, aquisição, instalação e manutenção desses transformadores.

Perguntas e respostas:

A) Quais são os ensaios periódicos mais eficazes para se acompanhar o desempenho dos transformadores instalados em PCH?

Considerando que os defeitos mais comuns nesses transformadores é a ocorrência de mau contato e circulação de corrente no núcleo e ferragens, o DGA tem se mostrado o principal ensaio periódico. Também temos recomendado os ensaios de isolamento no transformador e na bucha a cada 03 anos.

B) Quais técnicas de monitoramento poderiam ser utilizadas para fins de manutenção preditiva, visto ser importante não haver falhas intempestivas nesse tipo de equipamento?

Temos PCHs no Brasil todo, mas a maioria ficam em regiões muito quentes (temperatura ambiente alta), e normalmente operam na potência máxima, o tradicional monitoramento da temperatura é muito importante. O monitoramento dos gases dissolvidos no óleo também seria muito interessante, porem o custo deste dispositivo inviabiliza sua utilização nesses transformadores.

C) Que tipo de estruturas de apoio poderiam ser previstas nas instalações a fim de facilitar a execução da manutenção em campo?

As principais técnicas seriam no projeto do transformador, prever janelas de inspeção que facilitem o acesso aos aterramentos internos e aos comutadores. Em termos de estrutura e possibilitar (facilitar) a deslocamento do transformador para a área de trabalho na casa de força da PCH. A altura e a capacidade da ponte rolante também devem possibilitar a retirada da parte ativa.

3.5 - ANÁLISE DAS SOLICITAÇÕES IMPOSTAS POR AIS/GIS E LINHAS SUBTERRÂNEAS SOBRE OS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

GRACITA BATISTA ROSAS(1); PABLO MOURENTE MIGUEL(2); MARCELO MENDONÇA GONÇALVES(3); VENILTON RODRIGUES DE OLIVEIRA(3); HELIO PESSOA DE OLIVEIRA JR(4); MIGUEL ARMINDO SALDANHA MIKILITA(5); JEFERSON SHIMOMURA(6); - COPEL(1);TgDelta(2);JORDÃO ENG.(3);ONS(4);COPEL(5);COPEL(6);

Neste informe técnico são analisadas as solicitações dielétricas sobre os transformadores de potência, da nova subestação 230 kV Curitiba Centro, impostas pelo efeito combinado dessa nova subestação isolada a gás e da nova linha subterrânea 230 kV Curitiba Centro – Uberaba, em circuito duplo subterrâneo. As solicitações analisadas consideram as sobretensões de impulso e as sobretensões muito rápidas. Para efeito de comparação são analisadas as solicitações que seriam observadas em uma subestação convencional suprida por linhas aéreas. A análise foi realizada para a etapa de projeto básico do novo empreendimento de transmissão.

Perguntas e respostas:

A) A repetição continuada de trens de pulsos VFTO devidos a aberturas e fechamentos de seccionadores, mesmo com amplitudes inferiores aos níveis de suportabilidade por norma, podem vir a fragilizar o sistema isolante dos transformadores, uma vez que cada manobra poderia conter centenas de pulsos. Como se trata de um processo de ondas viajantes com possibilidade de múltiplas reflexões e refrações, nas dimensões das instalações físicas, haveria como identificar as distâncias ótimas entre os equipamentos (transformadores, disjuntores, seccionadores, conexões) de tal forma a se minimizar os níveis de tensão transitórias que podem vir a ser geradas?

A amplitude do VFTO depende do divisor capacitivo formador entre a capacitância inerente (e de gradação, se existir) do disjuntor e a capacitância entre o disjuntor e a chave manobrada. Ao se aumentar a capacitância entre o disjuntor e a chave manobrada (ou seja, a distância entre a chave e o disjuntor na GIS), as amplitudes do VFTO podem ser menores. A frequência do VFTO depende da topologia da GIS, quanto mais próximos os pontos de descontinuidade, maior será a frequência do VFTO. Para cada chave manobrada existe uma frequência dominante nos pulsos de VFTO. Tratar desses pulsos tentando reduzi-los se mostra uma tarefa extremamente difícil, a solução que pode apresentar maior chance de ser implementada com sucesso é a de instalar dispositivos atenuadores desse tipo de surtos nas subestações. Esse tipo de solução foi apresentado no XXIV SNTPEE (artigo GTM04 ? Limitador de VFTO para Transformadores de Potência). Esses dispositivos permitem atenuar o VFTO que se propaga em direção a equipamentos críticos, como os transformadores e reatores e com isso minimizar os efeitos danosos desses trens de pulsos.

B) O artigo analisa os níveis de tensão que ocorrem nos terminais dos transformadores nas várias condições. Considerando o efeito interno ao longo dos enrolamentos dos transformadores (ou reatores) quais seriam as diferenças em termos de criticidade nas solicitações dielétricas em um arranjo convencional no ar (AIS) e uma GIS com VFTO?

Em uma AIS o retorno pelo solo faz com que os pulsos gerados sejam atenuados e como as distâncias entre os pontos de descontinuidade são maiores, a amplitude se reduz rapidamente. Além disso, o espectro de frequência mostra componentes na faixa de dezenas de quilohertz, posto que a distância entre os pontos de descontinuidade é da ordem de dezenas de metros, e as sobretensões geradas não podem ser qualificadas como VFTO. Em uma GIS a atenuação das ondas trafegantes é baixa, devido ao retorno pelo involucro e a distância entre os pontos de descontinuidade é em alguns casos, inferior a um metro. Logo na GIS em comparação com a AIS a VFTO apresenta atenuação mais lenta, conseguindo chegar aos terminais dos transformadores.

C) Os autores citam, até mesmo confirmando por medições de campo, que os impulsos cortados realizados durante os ensaios de aceitação de transformadores, são muito diferentes das solicitações VFTO que ocorrem na prática. Essas diferenças se referem a quais das seguintes grandezas: formas de onda? Amplitude? Número de pulsos repetidos? Ou outros? Nesse sentido, alguma sugestão normativa poderia ser apresentada pelos autores para que o desempenho dos transformadores pudesse ser melhor avaliado quanto às solicitações VFTO? No mais, como foram feitas as medições de campo para obter as características das VFTO que são geradas devidas às manobras de GIS e as correspondentes características dessas sobretensões sobre os transformadores?

As diferenças entre a onda cortada e os pulsos de VFTO são: Impulso com onda cortada pulsos de VFTO Um único pulso por vez Centenas de pulsos a cada vez Aparece menos de 10 vezes na vida do Trafo Aparece milhares de vezes por ano Maior amplitude 110 % do NBI Amplitude entre 50 e 90 % do NBI Espectro de frequências ? até 10 MHz Pode chegar até 80 MHz Sugestões normativas para avaliação de desempenho de transformadores frente a pulsos de VFTO A primeira sugestão é a de que seja incluída uma normativa referente à medição da resposta em frequência dos transformadores e reatores que abranja a faixa entre 1 e 100 MHz. Com isso se localizarão as frequências de ressonância do transformador e se poderá comparar essas frequências com as frequências dominantes geradas em cada chave manobrada em uma GIS e se for o caso decidir pela inserção de dispositivos atenuadores. A segunda sugestão é que sejam prescritos ensaios de envelhecimento dos materiais isolantes usados entre as espiras. Especificar uma amplitude e frequências e submeter amostras do material a um ensaio de envelhecimento acelerado. Por exemplo: Uma amostra de papel isolante sendo aquecida a 90 °C e sendo submetida a pulsos de 100 V com frequências de 40, 60 e 80 MHz. Isso caracterizaria como o material envelhece e permitiria estimar a vida esperada do isolamento, homogeneizando as propostas de cada fornecedor. Sobre as medições realizadas e as características das VFTO sobre os transformadores As medições foram descritas nos seguintes artigos: XXIV SNTPEE ? GDS07 ? Comparação de Transientes de manobra VFT's obtidos através de modelagem com medições de campo em SIG's CIGRE Bienal 2018 ? C4301 ? Comparison between measured and simulated VFTO in 525 kV GIS VII Workspot ? Avaliação de sobretensões internas em transformadores de potência através de modelos em caixa aberta para simulação na plataforma ATP VII Workspot ? Comparação de modelos digitais de transformadores de força para avaliação dos níveis de sobretensão em simulações de transitórios rápidos e muito rápidos

3.6 - COMPARAÇÃO ENTRE MODELO NUMÉRICO DETALHADO E SIMPLIFICADO DO ENROLAMENTO DE UM TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ELEVAÇÕES DE TEMPERATURA INTERNAS

LEONARDO APARECIDO REIS BEDANI(1); JULIANO RICARDO DA SILVA(2); CAMILO ALEXANDRE FURLANETTO(2); CHRISTIANO WENDT DOS SANTOS(3); - UNIOESTE(1);IB(2);FPTI(3);

A elevação de temperatura em enrolamentos de transformadores causam diminuição da eficiência do sistema de isolamento e limitação no carregamento do equipamento. A estimativa da temperatura por CFD é confiável, porém exige alto poder computacional e elevado tempo de simulação. Neste trabalho é avaliado a sensibilidade térmica para simplificações nos dutos de óleo para diminuir a exigência computacional e tempo de simulação. O fluxo de óleo do enrolamento estudado é direcionado, sendo aplicado e analisado a influência das simplificações propostas nos resultados com o caso original e confrontando-os com valores de ensaio realizados pelo fabricante do equipamento.

Perguntas e respostas:

A) Quais outras simplificações de modelagem os autores sugerem para reduzir o esforço computacional e quais as possíveis consequências?

B) Como a adição das correntes parasitas influenciadas pelo campo magnético e a consequente modificação na distribuição superficial do fluxo de calor alterariam os resultados apresentados?

C) Quais as recomendações dos autores para incorporar a variação das propriedades do óleo com a temperatura no modelo e quais as demais considerações necessárias para aplicar em resfriamento natural ON?

3.7 - ESTUDO DE NANOCOMPÓSITOS ISOLANTES DE EPÓXI/ALUMINA

ALEXANDER POLASEK(1); PAULO SERGIO DA SILVA CARVALHO(2); ARTHUR DE CASTRO RIBEIRO(1); PAULA MENDES JARDIM(2); - CEPEL(1);UFRJ(2);

Compósitos de matriz polimérica reforçados com cargas minerais são materiais amplamente utilizados em diversas áreas. No setor elétrico, tais materiais podem ser utilizados como isolantes elétricos. A alta concentração de cargas adicionada aos compósitos tradicionais traz limitações como o aumento do peso e a diminuição da processabilidade dos materiais. Estudos recentes mostram que a adição de nanopartículas à matriz polimérica, em frações de até 5-10% em peso, levam ao aumento de diversas propriedades dielétricas. O presente trabalho investiga como algumas propriedades dielétricas de nanocompósitos constituídos de resina epóxi com nanopartículas de alumina varia em função do tamanho e dispersão das partículas.

Perguntas e respostas:

A) Qual seria a variação do custo de fabricação de uma resina epoxi em seu estado puro, comparativamente com uma resina acrescida de nanopartículas de alumina?

Até o nosso conhecimento, o nanocompósito estudado está em fase de desenvolvimento em nível mundial. A produção precisa ser otimizada e escalonada.

B) Como se alteram as propriedades mecânicas e térmicas da resina epoxi acrescida dos nano compósitos utilizados no artigo?

No presente trabalho não foram realizados ensaios mecânicos, mas diversos estudos mostram que a utilização de nanopartículas pode melhorar as propriedades mecânicas e térmicas do material. Na literatura foi observado o aumento do módulo de elasticidade e da resistência à tração para o mesmo sistema epóxi com nanopartículas de alumina. Quanto às propriedades térmicas, nossos estudos mostram que a adição das nanopartículas retardou os processos de degradação do polímero, ilustrado pelo deslocamento das curvas de TGA para a direita. Tais resultados também foram encontrados em trabalhos de outros grupos, onde nanopartículas de alumina e de argila foram adicionadas à resina epóxi.

C) Foram verificados aspectos de suportabilidade dielétrica para altas frequências de epoxi aditivado?

Não.

3.8 - ANÁLISE DOS RESULTADOS CROMATOGRÁFICOS DOS PROJETOS DEMONSTRATIVOS DE INVENTÁRIO ESTATÍSTICO DE PCB EM 3 COMPANHIAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

MARIANA GARCIA COSTA(1); SERGIO ROBERTO DIAS(2); GISELE RODRIGUES DOS SANTOS(2); MIGUEL CARLOS MEDINA PENA(3); IVANDRE LUIZ SOARES(3); Carlos Eduardo Almeida(4); Hildamara Brondani Coelho(4); Adriana de Castro Passos Martins(5); Costabile Di Sessa(5); - Cemig D(1);AMAZONAS ENERGIA(2);CHESF(3);COPEL DIS(4);CEMIG GT(5);

O Brasil é signatário da Convenção de Estocolmo que, entre outros, estabelece metas para identificação e destinação de equipamentos com mais de 50 mg/kg de bifenilas policloradas. Para tanto, foram realizados projetos demonstrativos de inventário estatístico em três companhias do Setor Elétrico Brasileiro. Objetiva-se avaliar os resultados de análise por cromatografia gasosa com detector por captura de elétrons pelo método IEC 61612 de cerca de 320 amostras por companhia. Os resultados indicaram que estas companhias apresentam um percentual baixíssimo ou muito baixo de equipamentos com mais de 50 mg/kg, indicando a efetividade do gerenciamento de PCB nestas companhias.

Perguntas e respostas:

A) A análise feita por cromatografia gasosa das 962 amostras, conforme a IEC 61612, foram realizadas no mesmo laboratório? Se em mais de um, em quais laboratórios? Os laboratórios são acreditados para esse tipo de serviço?

Sim, as análises foram realizadas em um único laboratório europeu acreditado para este tipo de serviço, apesar da acreditação na 17025 não ser garantia de confiabilidade dos resultados.

B) Qual é o procedimento que a empresa deve adotar ao encontrar um equipamento que tenha valores de PCB acima de 50 mg/Kg?

Os procedimentos a serem adotados são conforme as principais regulamentações e normas vigentes no momento no Brasil, entre as quais destacam-se: ABNT NBR-8371 - Ascarel para transformadores e capacitores; Características e Riscos; Decreto Federal nº 5472/2005.

C) Os resultados obtidos no trabalho realizado, com a amostragem de três empresas brasileiras, pode ser considerado como sendo representativo para o conjunto de empresas brasileiras do setor elétrico? Senão, o que deveria ser feito para se ter uma visão global sobre o que resta de PCB e onde se localizam em nosso sistema elétrico?

O backup se torna um documento muito importante e estamos com o projeto de alocação em servidor interno da ISA CTEEP atrelado a uma interface via web browser. Isso será para facilitar a inserção dos documentos pelas equipes de todas as regionais.

3.9 - Métodos para Cálculo do Envelhecimento de Transformadores Isolados a Óleo Mineral ? Uma Revisão do Estado da Arte

DANIEL CARRIJO POLONIO ARAUJO(1); Gabriel de Souza Pereira Gomes(2); Mateus Batista de Moraes(3); Rafael Prux Fehlberg(4); - Tretech(1);Tretech(2);Tretech(3);Tretech(4);

O envelhecimento dos transformadores de potência no sistema elétrico sempre foi um assunto muito discutido, uma vez que a confiabilidade e estabilidade do mesmo sistema estão diretamente ligadas à correta operação de tais máquinas. Uma falha nestes equipamentos pode causar prejuízos extensos, muito além de apenas a interrupção do fornecimento da energia elétrica, passando por incêndios e chegando até mesmo a explosões catastróficas. Além da importância de tais informações para garantir o funcionamento da malha elétrica brasileira, a perda de vida de um transformador, calculada a partir do seu envelhecimento, é um reflexo do carregamento aplicado no mesmo, fornecendo dados importantes não só para utilização em manutenção preditiva, mas também para estimar o custo de operação e o tempo máximo para sua substituição. Partindo da necessidade de conhecer como o envelhecimento é operado em tais ativos, muitos estudos vêm sendo realizado desde o início do século passado, considerando que o envelhecimento de um transformador é dado majoritariamente pelo envelhecimento de sua isolamento. Pioneiramente Montsinger, um engenheiro norte-americano, mediu e analisou a variação da rigidez à tração de cambraia (tecido utilizado no passado para isolamento dos enrolamentos do transformador) em tubos de óleo, os quais foram aquecidos pelo mesmo para simular o aquecimento do óleo do transformador devido ao carregamento. Posteriormente (no final dos anos 40) Dakin propôs uma equação para relacionar diretamente o envelhecimento à temperatura do ponto mais quente do enrolamento baseando-se na equação da taxa de reação de Arrhenius, e seu resultado foi amplamente aceito pela comunidade de engenheiro eletricitistas. A partir desses primeiros estudos, muitos fatores além da influência da temperatura foram estudados e acrescentados na equação, como a influência da umidade adquirida pelo papel e do oxigênio presente no meio, que são agentes catalizadores da reação de envelhecimento, sendo tais catalizadores um assunto amplamente discutido por Fabre/Pinchon e por Oomeen. Além disso, a equação proposta por Dakin foi adaptada diversas vezes, considerando outros métodos de análise para a equação de Arrhenius, como a energia de ativação da reação e o grau de polimerização do papel. Esses estudos não só possibilitaram um maior conhecimento sobre o envelhecimento da isolamento dos transformadores em si, mas também levaram ao desenvolvimento de novos tipos de papel isolante, como por exemplo o papel termo estabilizado, buscando reduzir a velocidade da reação e por consequência diminuir a influência da temperatura e de outros fatores catalisadores, aumentando a resistência da isolamento e possibilitando assim a aplicação de um carregamento mais severo nos transformadores atuais sem ocasionar uma perda de vida excessiva. Dentro desse contexto, este artigo é composto por uma revisão histórica e numérica dos principais métodos utilizados para o cálculo do envelhecimento e tem por objetivo servir como um guia informativo para aqueles que desejam saber o estado de vida dos seus transformadores isolados a óleo.

Perguntas e respostas:

A) A que tipos de falhas elétricas um transformador poderia estar sujeito devido à degradação dielétrica de seu papel isolante? A perda das propriedades mecânicas do papel pode acarretar quais tipos de problemas para o desempenho do transformador?

Devido à degradação do papel, o transformador fica sujeito a diminuição da sua capacidade de resistir a esforços mecânicos, os quais está sujeito durante a sua operação normal. Em termos de desempenho como há diminuição da capacidade de resistir a solicitações eletrodinâmicas pode haver diminuição na capacidade de suportar curto-circuitos no sistema. As falhas e suas relações aos fatores de envelhecimento serão tratadas em trabalho futuro. Este artigo é composto por uma revisão histórica e numérica dos principais métodos utilizados para o cálculo do envelhecimento e tem por objetivo servir como um guia informativo para aqueles que desejam saber o estado de vida dos seus transformadores isolados a óleo.

B) Quais parâmetros e quais periodicidades de medição destes parâmetros poderiam ser monitorados ao longo da vida dos transformadores para se poder obter uma boa precisão no cálculo da vida útil remanescente de um determinado transformador?

DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA: PIRÓLISE -> Monitoração online da temperatura do óleo e do ponto mais quente do enrolamento. O uso de tecnologia de medição direta por fibra ótica traz ganhos, se os pontos onde os sensores forem colocados forem consistentes com os pontos previstos como hot spot, o que muitas vezes não é possível. Atualmente, faz parte do conjunto básico de instrumentação qualquer transformador. DA INFLUÊNCIA DA ÁGUA: HIDRÓLISE -> Monitoração online da umidade do óleo isolante. Hoje monitores de umidade são muito acessíveis e contribuem sobremaneira para a preservação do conjunto papel-óleo. DA INFLUÊNCIA DO OXIGÊNIO: OXIDAÇÃO -> Acompanhamento dos níveis de oxigênio no óleo isolante para compensar / melhorar o modelo preditivo. Uso de bolsas / membrana nos conservadores pode ajudar.

OUTROS: Ensaios ocasionais de 2-FAL ajudam como um dado balizador, assim como, se for possível, ensaios de GP. Estes dados precisam estar devidamente armazenados, cruzados e integrados em um sistema para que o resultado do cálculo de vida remanescente seja robusto. Vale citar que os três fatores agem conjuntamente para amplificar o efeito da degradação.

C) Entre os possíveis parâmetros a serem citados, quais conseguem indicar os estágios mais incipientes na degradação do papel?

Para acompanhamento da vida do papel ao longo da operação normal do transformador, a temperatura e umidade são os mais preponderantes. Após alguma intercorrência, é recomendado um ensaio de 2-FAL, técnica simples, não invasiva e relativamente consagrada para indicar o estágio de degradação do papel. Existem também trabalhos promissores com os grupos alcoóis, como o metanol e etanol. Outros grupos furfurais, também podem ser utilizados, mas sob auspício de um especialista para a interpretação dos resultados.

3.10 - FALHAS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA, SEUS EFEITOS E AS RECOMENDAÇÕES ASSOCIADAS

WELLINGTON BEZERRA DE ARAUJO JUNIOR(1); CÍCERO MARIANO PIRES DOS SANTOS(1); - UFPE(1);

O artigo apresenta resultados de pesquisas no tocante às falhas em transformadores de potência imersos em líquidos isolantes, no sentido de contribuir para a gestão de seu ciclo de vida, através da análise dos modos de falha, de suas consequências e das ações que contribuem para o aumento da disponibilidade. A pesquisa considera ocorrências em 21 países, envolvendo uma população de cerca de 167.000 transformadores-ano, durante o período de 1996 a 2010, tendo-se registrado aproximadamente 1000 falhas principais, a classe de tensão foi limitada a valores ≥ 69 kV. Observando a melhoria de indicadores de manutenibilidade e de confiabilidade o artigo gera cerca de 30 recomendações para os 4 principais componentes do transformador, em conformidade com a pesquisa realizada e com base nas análises aqui apresentadas.

Perguntas e respostas:

A) Quando cabível, qual deveria ser a periodicidade na realização das recomendações assinaladas na tabela 5?

A periodicidade das verificações realizadas através da inspeção visual e dos ensaios de análise de gases dissolvidos no óleo, bem como os ensaios de sensíveis a integridade da isolação do transformador variam de acordo com as condições operacionais, valor agregado do equipamento, ambiente de operação, severidade da falha do equipamento entre outras características inerentes ao transformador.

B) Os autores poderiam indicar quais monitoramentos em tempo real seriam úteis para ajudar a evitar os modos de falha possíveis nos transformadores de potência?

Algumas variáveis indicadoras da condição de vida do transformador de potencia podem ser monitoradas através sistemas de medição, entre eles estão o monitoramento online do fator de potência e capacitancia das buchas condensivas, temperatura do óleoe dos enrolamentos, gases no óleo isolante, monitoramento de descargas parciais e teor de água no óleo. O registro de eventos de forma continua contribui ainda mais para a detecção de defeitos incipientes e na obtenção de banco de dados para tratamento estatístico.

C) As especificações iniciais e ensaios dos transformadores poderiam ser melhor formuladas pelos usuários de tal modo a reduzirem as probabilidades de falhas relacionadas com problemas construtivos?

Na tabela 5 existem recomendações que contemplam estudos realizados durante a especificação e aquisição de novos transformadores, como a integração de modelagem e simulação de transitórios, bem como verificações e ensaios que devem ser realizados após a montagem em campo a fim de verificar o estado do transformador e detectar possíveis falhas de fabricação, montagem e transporte.

Comentário: Falta foto do primeiro autor

3.11 - Cálculo de parâmetros circuitais dos modelos de alta frequência para transformadores de potência

LUIZ FERNANDO DE OLIVEIRA(1); ALVARO PORTILLO(2); FEDERICO PORTILLO(2); ODIRLAN IARONKA(1); KAUE JORGE SALVADOR(1); - WEG(1);Consultor(2);

O número de falhas oriundas da interação entre transformadores e o sistema elétrico no qual estes estão instalados nunca foi desprezível. É fato conhecido que sobretensões ressonantes surgem no interior de enrolamentos quando excitados por um sinal de tensão com uma frequência específica de forma que algumas excitações oscilantes, mesmo de baixa amplitude, podem provocar esforços tão rigorosos quanto a sequência de ensaios dielétricos. Estes esforços não verificados pelos ensaios dielétricos são de especial interesse na análise de falhas em transformadores de potência. Há uma vasta gama de técnicas disponíveis para modelagem de transformadores para alta frequência baseando-se na teoria de circuitos (parâmetros concentrados) ou na teoria de linhas de transmissão (parâmetros distribuídos). Ainda, dentre os métodos da teoria de circuitos, algumas técnicas têm sido destacadas e adequadamente definidas para modelar a interação dos transformadores de potência e reatores com o sistema elétrico. Dentre tais técnicas, o modelo "caixa-branca" utiliza circuitos equivalentes para reproduzir a resposta em frequência dos equipamentos. Cada trecho de cada enrolamento é discretizado até que possa ser representado por um ramo circuito. Quanto mais discretizado o circuito, espera-se que mais a resposta do modelo se aproxime à resposta real do equipamento, no ponto mais extremo o modelo pode considerar os enrolamentos "espira por espira", requerendo elevado esforço computacional para a solução do sistema de equações. Em geral, é necessário estimar três parâmetros fundamentais: • Matriz de indutâncias: descreve o acoplamento magnético entre os diferentes componentes, geralmente entre as espiras (ou grupo de espiras) dos enrolamentos. Pode ainda ser convertida numa matriz de acoplamento, oferecendo dados objetivos que tornam a análise mais simples à inspeção; • Matriz de capacitâncias: ao descrever o acoplamento elétrico entre cada elemento condutor do transformador, deve ser capaz de modelar o acúmulo de cargas elétricas ao longo dos enrolamentos; • Resistências: as resistências são responsáveis por dissipar a energia do circuito. Um circuito sem as resistências torna-se um circuito sem amortecimento e oscila perpetuamente. Contudo, a variação da dissipação de energia de acordo a frequência do sinal de excitação torna a modelagem complexa em muitos casos. Este trabalho visa realizar uma revisão das técnicas disponíveis atualmente para estimação das matrizes constituintes dos circuitos elétricos utilizados no modelo "caixa-branca". Espera-se que o trabalho possa propiciar um nível de informação ao leitor já familiarizado com o tema tal que seja possível analisar de forma objetiva a acuracidade de algum estudo eletromagnético com base nas técnicas utilizadas para obter os parâmetros circuitais. Tal capacidade é de especial importância durante o processo de Design Review de transformadores. As técnicas podem ser aplicadas aos diversos tipos de enrolamentos, como camada, disco contínuo, disco entrelaçado, hélice, hélice múltipla.

Perguntas e respostas:

A) Apesar do artigo ressaltar modelos em alta frequência, estes foram utilizados para o cálculo de perdas. O modelo baseado na permeabilidade complexa poderia ser utilizado em outro tipo de avaliação?

A principal vantagem do modelo baseado em permeabilidade complexa é calcular as perdas pro proximidade com baixo esforço computacional. Isso é especialmente útil no cálculo das perdas em alta frequência. Adicionalmente, o modelo pode ser utilizado para calcular impedância através da energia do campo magnético, forças, entre outras aplicações que dependem do correto mapeamento do campo magnético que permeia os condutores.

B) Os autores descrevem a elaboração de modelos caixa branca de transformadores de potência, considerando a variação dos parâmetros com a frequência. Estes modelos são aplicáveis em simulações no domínio do tempo em programas do tipo EMT? Os autores poderiam apresentar alguma comparação de simulação e medição em um transformador real em que é possível avaliar a distribuição de tensão nos enrolamentos?

Os parâmetros calculados servem como entrada para a técnica de Vector Fitting, posteriormente, com a resposta do Vector Fitting, se modela um circuito equivalente que pode ser utilizado em programas do tipo ATP/EMTP. Devido ao prazo de submissão do artigo, não foi possível chegar ao ponto de comparar os resultados com transformadores medidos, contudo, isto está sendo feito com bons resultados já em Setembro de 2019.

C) Levando-se em conta que um cliente tem condição de avaliar as manobras e sobretensões que ocorrem em suas instalações, é possível fornecer um modelo caixa branca para realização de simulações?

Sim. Esse é um dos principais objetivos de todo o trabalho que está sendo desenvolvido. O circuito no domínio do tempo servirá para, além dos fabricantes avaliarem os ensaios de fábrica, os clientes também poderem avaliar da melhor forma possível a interação entre o transformador e o sistema elétrico. Claro, tudo isso tem início e depende do cálculo dos parâmetros RL em função da frequência e é neste ponto que a utilização da permeabilidade complexa traz grandes vantagens.

3.12 - Banco de Transformadores Operando com Enrolamentos Abertos - Modelagem, Análise de Falha e Comparação de Resultados

ULISSES ROBERTO REGISTRO MASSARO(1); FABIO VIEIRA(1); - ESUL(1);

A proposta deste trabalho é apresentar as análises realizadas para diagnóstico das causas de falha de um banco de transformadores durante uma intervenção onde o enrolamento em delta permaneceu com seus terminais abertos. São apresentadas análises analíticas e através de simulação, que foram realizadas com o auxílio do programa Alternative Transients Program (ATP), através da representação das unidades monofásicas dos transformadores, das respectivas capacitâncias entre enrolamentos e entre enrolamento e terra. A falha ocorreu em decorrência de sobretensões fase-terra que surgiram devido ao acoplamento capacitivo entre os enrolamentos primário, secundário, terciário e terra.

Perguntas e respostas:

A) Este tipo de operação com enrolamentos abertos é utilizada com frequência pela Eletrosul? Qual o procedimento recomendado nestes casos?

1) Na Eletrosul já ocorreram solicitações de análise de operação de transformadores em vazio para alimentação de serviços auxiliares. Nestes casos sempre é verificado se os estudos de energização analisaram esta condição de operação, sobretudo a aplicação e eliminação de defeitos nessa condição. A operação com enrolamentos abertos não é frequente na Eletrosul. Este caso apresentado no informe técnico foi o primeiro caso que tomamos conhecimento. Como esse tipo de operação não é frequente, não existe normatização para esta situação.

B) Os autores verificaram a transferência AT para MT nas condições de energização com um dos terminais da MT aterrado? O uso de para-raios de aterramento não seria recomendado no terminal não aterrado?

2) Não foi verificada a transferência da AT para MT em condições de energização com um dos terminais aterrados. O aterramento de um dos terminais foi uma opção avaliada somente através de simulação para solução para o problema. Mas entendemos que estudos de transitórios eletromagnéticos devem ser realizados antes de emitir qualquer recomendação, bem como, a realização de medições em campo.

C) Os autores relatam que a energização com terminais flutuantes foi acordada entre os proprietários e o fabricante. Como devem ser preparados os técnicos e engenheiros para decidir sobre efeitos elétricos-circuitais elementares, e seus riscos, quando submetidos a pressões contratuais e operacionais?

Geralmente na fase de comissionamento de novas instalações ou ampliações existe uma Comissão de Testes, com representantes de diversas áreas da empresa, que tem certa autonomia para tomar decisões.

Comentário: Falta foto do autor principal

3.13 - Desenvolvimento de sistema de monitoramento óptico de multiparâmetros para transformadores de potência

JÓÃO BATISTA ROSOLEM(1); AGUINALDO GOES DE MELO(2); DANIEL BENETTI(2); DANILO CESAR DINI(3); JOAO PAULO VICENTINI FRACAROLLI(4); RODRIGO PERES(5); CLAUDIO FLORÍDIA(6); FABIO RENATO BASSAN(7); MARCIO COLAZZA ARGENTATO(8); LUIZ ALKIMIN DE LACERDA(9); - CPQD(1); Copel GET(2); CPQD(3); CPQD(4); CPQD(5); CPQD(6); CPQD(7); CPQD(8); LACTEC(9);

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de múltiplos parâmetros para transformador de potência. A rede de sensores ópticos conectados no transformador é do tipo FBG e fará a monitoração da temperatura interna, da deformação de espiras, de descargas parciais e de gases dissolvidos no óleo do transformador. A utilização destes sensores para a medição de parâmetros fundamentais para saúde do transformador permitirá a obtenção de uma plataforma de monitoração integrada, visto que a mesma irá monitorar múltiplos parâmetros do transformador. O desenvolvimento deste sistema para a COPEL-GeT está sendo realizado através do projeto ANEEL PD 6491-0379/2015.

Perguntas e respostas:

A) Uma vez instalado um protótipo desse sistema de monitoramento em um transformador real, quais seriam as principais necessidades de manutenção e eventuais calibrações dos sensores a base de fibra óptica?

- A priori o uso de sensores ópticos dentro do transformador dispensaria a necessidade de calibração destes sensores. A calibração poderia ser realizada eventualmente e externamente na ferramenta de leitura de dados dos sensores. Em caso de algum dano eventual aos sensores (ex. sensores de deformação) isso demandaria a troca do mesmo em momento oportuno. No entanto a rede de sensores pode usar redundância de leitura para ambos os lados da rede.

B) O que se poderia dizer sobre a sensibilidade dos sensores ópticos em relação aos métodos mais usuais de medição de temperatura, teor de hidrogênio e descargas parciais pelo método acústico?

Os sensores ópticos FBG são tão sensíveis com a temperatura quanto aos sensores convencionais. Os sensores ópticos acústicos são tão sensíveis quanto os sensores baseados em PZT, mas levam a vantagem de poderem ser instalados dentro do tanque por serem passivos, o que tende a aumentar a sensibilidade as ondas acústicas por estarem dentro do transformador. Os sensores FBG de hidrogênio baseados no uso do paládio tem a mesma sensibilidade do que os convencionais que usam o paládio de forma diferente.

C) Quais seriam os materiais dielétricos que poderiam ser utilizados no encapsulamento do cartão de fibras ópticas?

Alguns materiais dielétricos que poderiam ser utilizados são o próprio PEEK descrito no artigo e o Teflon. Estes materiais têm excelentes propriedades elétricas e podem ser utilizados em temperaturas superiores a 250 °C.

3.14 - USO DE METANOL E ETANOL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS TÉRMICAS ENVOLVENDO PAPEL KRAFT ISOLANTE

HELENA MARIA WILHELM(1); PAULO O. FERNANDES(1); GEOVANA CAROLINA DOS SANTOS(1); MARIA LETÍCIA GOMES DOS SANTOS(1); THATIANE TAMYRIS KUCZERA PEREIRA(1); DANIEL DA CONCEIÇÃO AROUCHA FILHO(2); MARCELO LUIZ DE CARVALHO RIBEIRO(2); ARLEY DE PAULA MAR(2); PEDRO JOSE DOS SANTOS JUNIOR(2); - VEGOOR(1); GERA MARANHÃO(2);

Falha térmica envolvendo papel isolante foi simulada em laboratório em dispositivo específico para esta finalidade. O dispositivo de envelhecimento acelerado (patente requerida) permite aquecer o papel em altas temperaturas (até 1000 0C) mantendo o óleo isolante em baixa temperatura. O papel foi enrolado na resistência imersa em óleo e aquecida em diferentes temperaturas e tempos. Houve carbonização do papel nas camadas próximas da resistência. A quantidade e o tipo de gases encontrados no óleo indicaram a ocorrência da falha térmica simulada. Recomenda-se o uso da razão CO2/CO, da concentração de metanol e etanol no diagnóstico de falha envolvendo papel isolante.

Perguntas e respostas:

A) O que fez com que o envelhecimento do papel ficasse determinado pelas 244 horas e com temperaturas até 400 graus, já que o dispositivo poderia ser utilizado até 1000 graus? Ou seja, que parâmetros foram considerados para definir o ciclo de envelhecimento?

O objetivo do estudo foi simular uma falha térmica pontual envolvendo o papel kraft isolante. Foram realizados testes em diferentes temperaturas e tempos a fim de atingir uma determinada concentração de gases que permitisse avaliar a razão CO2/CO, os demais gases de falha e novos indicadores químicos oriundos de uma falha térmica entre 300 até 700 C, envolvendo o papel kraft isolante.

B) Em quais locais do dispositivo de envelhecimento foram registradas a temperatura do óleo?

A temperatura do óleo foi monitorada no topo e no meio do dispositivo de envelhecimento acelerado.

C) No segundo ciclo de envelhecimento foi também utilizado um volume de óleo de 16,9 litros? Resultados equivalentes obtidos no artigo seriam também encontrados para transformadores com grande volume de óleo?

No segundo e no terceiro envelhecimento foi utilizada uma camada de papel envolta em uma resistência menor e 3 L de óleo. A concentração individual dos gases e dos demais indicadores químicos monitorados foi dependente da quantidade de papel envolvido na falha e do volume de óleo utilizado, como esperado. Porém, o tipo de gases formado e a razão de gases usada para diagnosticar a falha térmica simulada. Foi possível observar uma diminuição na relação CO2/CO com o envolvimento do papel na falha, mostrando que essa relação pode ser usada como ferramenta auxiliar no diagnóstico incipiente de falhas térmicas envolvendo o PKT, independente do volume de óleo do transformador.

Comentário: Falta foto do autor principal.

3.15 - Avaliação de desempenho e custo de pintura anticorrosiva de transformadores

ALBERTO PIRES ORDINE(1); EDSON DE SOUZA SANTOS(2); CRISTINA DA COSTA AMORIM(1); ELBER VIDIGAL BENDINELLI(1); MARCOS MARTINS DE SA(1); FILIPE BATISTA FONTES(1); - CEPEL(1); ELN(2);

A partir de um estudo de caso sobre as causas de falhas prematuras na pintura anticorrosiva de transformadores, em operação na região Norte do Brasil, verificou-se quais os critérios essenciais para um bom desempenho anticorrosivo, desde a especificação até a cura do revestimento. Com o auxílio de uma ferramenta computacional, foram realizadas simulações de custo do esquema de pintura, quando aplicado de forma adequada e das formas que resultaram em falhas no revestimento. Tal análise permitiu avaliar o quanto o custo direto da manutenção não programada impactou no custo final do esquema de pintura.

Perguntas e respostas:

A) As características técnicas do esquema de pintura são diferentes para os demais componentes dos transformadores, tais como radiadores e tanques? Caso o procedimento seja o mesmo, porque então estes não apresentaram corrosão?

Depende muito do projeto que o fabricante de transformador utiliza. Tecnicamente, pode ser diferente sim, porque as espessuras de chapas são diferentes, as vezes, os materiais são diferentes (e até a geometria das peças). Isto vai definir quais os métodos de preparação de superfície e de esquema de pintura mais apropriados.

B) Ao comprar um equipamento tal como um transformador, quais são os mecanismos para se verificar se as espessuras das camadas de tinta estão compatíveis com as normas?

É possível realizar a medição de espessura da camada total, por método não destrutivo. Caso esteja fora dos padrões, já é uma forma de garantia e reprovação da pintura. Para saber de cada camada, o método seria destrutivo, e necessitaria retouque da pintura. Pode se exigir do fabricante o relatório de inspeção de pintura do equipamento, onde os controles são feitos nas etapas intermediárias por um inspetor de pintura qualificado.

C) No caso de se realizar uma repintura total de um equipamento, é necessário proceder a um descarte especial das camadas retiradas? As tintas armazenadas e vencidas precisam também de um descarte especial? Qual seria a maneira correta de se fazer tais descartes?

Deve-se contatar o Instituto Ambiental local que indica empresas credenciadas para realizar o recolhimento dos produtos. Tais empresas realizam o descarte, que geralmente é por incineração.

Comentário: Faltam biografias de todos os co-autores

3.16 - Metodologia online para diagnóstico de comutadores de derivações sob carga baseada em assinatura elétrica

EMERSON LIMA DO NASCIMENTO(1); MARIA ALICE DE OLIVEIRA RODRIGUES(1); ALEXANDRO SANTA ROSA(1); ADELFO BRAZ BARNABÉ(1); AURÉLIO MARTINS BARBOSA(2); - CGTI(1); LIGHT ENERGIA(2);

Este artigo apresenta um sistema de monitoramento on-line de comutadores de derivações sob carga capaz de detectar possíveis falhas no equipamento, baseando-se nas formas de onda das correntes de fase do transformador e da corrente do motor do comutador. Foram catalogadas formas de onda associadas a anomalias ocorridas no equipamento através de ensaios e simulações computacionais, e técnicas de processamento de sinais e inteligência artificial foram aplicadas para extração de características e diagnóstico dos comutadores. Os resultados obtidos foram satisfatórios quanto à detecção das anomalias sugeridas. O sistema de monitoramento on-line apresentado proporciona uma alternativa para a avaliação da condição operativa dos comutadores.

Perguntas e respostas:

A) Há quanto tempo e em quantos comutadores da Light esse sistema está instalado? Já houve alguma intervenção para manutenção de comutador a partir da indicação do sistema de monitoramento?

B) Quais técnicas de redes neurais foram utilizadas para o reconhecimento de padrões devido a falha de rompimento de cordoalha de comutação?

C) O banco de dados de sinais "saudáveis" e "não saudáveis" são válidos para os diferentes projetos de OLTCs em uso no sistema elétrico?

3.17 - Aplicação de Técnicas de Processamento de Sinais para Mitigação de Ruídos nas Medições de Resposta em Frequência em Subestações Energizadas.

DICKSON SILVA DE SOUZA(1); ITALO FORADINI DA NOVA(1); LUIZ EDUARDO DIAS SANTOS(1); - CEPEL(1);

A medição de resposta em frequência em equipamentos elétricos, quando efetuada em subestações, apresenta alguns desafios como a presença de ruídos na medição, o que pode dificultar a aplicabilidade desta técnica. Com o intuito de se estudar uma solução para resolver esse tipo de problema este informe apresenta o uso de técnicas de processamento de sinais para mitigar os ruídos oriundos de fontes típicas de subestações energizadas como a componente fundamental da rede, componentes harmônicas e efeito corona. Para tanto as técnicas aqui apresentadas foram implementadas e testadas em laboratório e então apresentados os resultados para condições de alto ruído.

Perguntas e respostas:

A) Estando em um ambiente qualquer no campo em condições desconhecidas de ruído ambiente, como seria possível saber se existem efetivamente ruídos (aleatórios ou periódicos) que poderiam introduzir erros na medição de resposta em frequência?

Durante a medição em campo, basta utilizar um sistema de medição que não seja dotado de técnicas de processamento de sinais ou quaisquer outras técnicas de mitigação de ruído para saber se há incidência de ruídos que possam atrapalhar a medição. No caso do sistema desenvolvido e utilizado para desenvolvimento da pesquisa do IT este foi dotado de controles para desabilitar as técnicas utilizadas para mitigar ruídos e assim comprovar a sua efetividade.

B) Os autores poderiam detalhar um pouco mais como funciona o filtro digital que precisa estar sintonizado com a frequência do sinal aplicado?

Os filtros funcionam de tal forma que, um algoritmo modifica a frequência central da banda passante a cada ponto de medição para que esta frequência coincida com a frequência ajustada no gerador de funções. Tudo controlado automaticamente via software.

C) A média de múltiplas formas de onda na medição só é efetiva para o caso da ocorrência de ruídos aleatórios ou ela deve ser sempre utilizada em conjunto com o filtro digital?

A média é uma técnica que permite minimizar o efeito dos ruídos aleatórios e também pode ser utilizada em conjunto com o filtro digital. O uso das técnicas em conjunto demonstrou uma melhora efetiva nos resultados dos ensaios.

3.18 - Desenvolvimento de sensor óptico de temperatura e esforços mecânicos para transformadores de potência.

AGUINALDO GOES DE MELO(1); DANIEL BENETTI(2); LUIZ ALKIMIN DE LACERDA(3); JOAO BATISTA ROSOLEM(4); DANILO CESAR DINI(4); FABIO RENATO BASSAN(4); RODRIGO PERES(4); CLAUDIO FLORIDIA(4); Artur de Araujo Silva(4); - Copel GET(1); Copel GET(2); LACTEC(3); CPQD(4);

Este trabalho apresenta os resultados parciais do desenvolvimento de sensores utilizando a tecnologia FBG (Fiber Bragg Grating) para medição em tempo real da temperatura e esforços mecânicos em transformadores de potência, do projeto de P&D ANEEL PD-06491-0379/2015, "Sistema de monitoramento Óptico de Multiparâmetros para Transformadores de Potência". Para o monitoramento da temperatura e dos esforços os sensores FBGs serão instalados nos calços e espaçadores dos enrolamentos do transformador. Com o sensoriamento da parte ativa será possível mensurar os esforços radiais e axiais que atuam nos bobinados em eventos transitórios, bem como medir o hotspot dos enrolamentos.

Perguntas e respostas:

A) Os sensores ópticos deverão estar ligados a um instrumento de monitoramento em tempo real visto que um evento de curto circuito só iria ocorrer de forma intempestiva. Assim, quais devem ser as características técnicas da instrumentação a ser utilizada junto com esses sensores? E como as equipes de manutenção iriam receber as informações dos sensores?

As fibras deverão estar ligadas a um interrogador de sensores FBG que tenham uma taxa de amostragem bem superior a do tempo de ocorrência do efeito transitório. Se o efeito de curto circuito tem frequência de 120 Hz é desejável que a taxa de amostragem seja superior a 1,2 KHz para capturar adequadamente o efeito. No caso usamos um interrogador com taxa de amostragem de 5KHz. Para a medição de temperatura não são necessárias altas taxas de amostragem, ou seja taxas de até 100 Hz são suficientes. Este interrogador deve estar ligado a um computador no qual haja o software desenvolvido para realizar a leitura das temperaturas e esforços mecânicos. Pode ser implementado mensagens de alarme via virtual, como e-mail, mensagens SMS entre outros ou implementado uma interface (hardware) para gerar alarme físico através de contatos.

B) Quais são as faixas de temperatura e de pressão mecânica que os sensores atendem?

A fibra óptica escolhida para o projeto suporta uma temperatura de até 1200°C, o sensor FBG feito na própria fibra suporta temperatura de 300°C, seu encapsulamento suporta até 150°C quando usado glass fiber reinforced plastic (GFRP) e 300 °C quando usado a poliamida. Quanto a pressão suportada dependerá das solicitações mecânicas exercidas para cada transformador, uma vez que alterando as dimensões e o material do sensor altera-se a sua capacidade de carga. Nos testes laboratoriais foi aplicado uma força de 20.000 N.

C) Seria possível fazer algum tipo de calibração ou verificação dos sensores ao longo do tempo, mesmo que indireta, uma vez que estes, aparentemente, não poderiam ser retirados uma vez instalados dentro dos transformadores?

A priori o uso de sensores ópticos dentro do transformador dispensaria a necessidade de calibração destes sensores. A calibração poderia ser realizada eventualmente e externamente no sistema na ferramenta de leitura do sistema de coleta de dados dos sensores. Em caso de algum dano eventual aos sensores (ex. sensores de deformação) isso demandariam troca do mesmo em momento oportuno.

3.19 - SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA ENSAIOS DE PERFURAÇÃO EM ISOLADORES

MÁRCIO THELIO FERNANDES DA SILVA(1); IGHOR SOUZA DOS SANTOS(2); LUIZ CARLOS DE AZEVEDO(1); VALDIR REMILSON SANTOS(1); MARCUS VINICIUS BARROS LOPES(1); - CEPEL(1); PUC-Rio(2);

Quantificar a amplitude de um impulso de perfuração, com todas as garantias metrológicas, não é uma tarefa trivial, por se tratar de um sinal impulsivo com centenas de kV e frentes rápidas entre 100 ns e 200 ns. Embora o ensaio de perfuração seja normatizado pela IEC 61211 ainda não existem na maioria dos Institutos Nacionais de Metrologia (INM), inclusive no Brasil, padrões para rastrear sistemas de medição utilizados nesses ensaios. Além disso, divisores de tensão com alto desempenho dinâmico para essa aplicação não estão disponíveis comercialmente e são objetos de pesquisa dos próprios INM e ou instituições de P&D+I.

Perguntas e respostas:

A) É necessário alguma homologação para garantir o bom funcionamento de um divisor desse tipo? Qual é a periodicidade necessária para a calibração de um SMIP?

B) Os requisitos normativos apresentados no artigo se referem a informações de funcionalidades visando a qualidade da medição. Assim, quais são os requisitos para um divisor desse tipo, no que se refere a suas características de suportabilidade dielétrica?

C) O divisor desenvolvido pelo Cepel pode ser utilizado para validar outros divisores eventualmente utilizados por outros laboratórios? Se sim, essa validação é regulamentada por algum órgão tal como o INMETRO?

Comentário: Faltam informações dos coautores

3.20 - Sistema de Medição para Solicitações Transitórias em Transformadores de Corrente para Alta Tensão

CARLOS MAGNO RODRIGUES VASQUES(1); RÔMULO DOS SANTOS DELGADO(1); LUIZ EDUARDO DIAS SANTOS(1); DICKSON SILVA DE SOUZA(1); ITALO FORADINI DA NOVA(1); GABRIELA SAMPAIO REMA(1); MARCIO THELIO F DA SILVA(1); LEONARDO TORRES BISPO DOS SANTOS(1); - CEPEL(1);

Manobras de seccionadores e disjuntores, curtos-circuitos e descargas atmosféricas geram solicitações transitórias com um amplo espectro de frequências aos equipamentos elétricos que fazem parte do Sistema Interligado Nacional (SIN). Considerando particularmente transformadores de corrente para alta tensão, um elevado número de falhas vem sendo motivo para uma série de investigações, de modo a esclarecer as possíveis causas. O Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL) vem recebendo recorrentes demandas para prover avaliações de sobretensões transitórias em transformadores de corrente (TC), especificamente, durante manobras de seccionadores. Assim sendo, iniciou-se um estudo para o desenvolvimento e avaliação de um sistema de medição capaz de realizar medições de sobrecorrentes transitórias que percorrem o corpo condutivo do TC e, a partir destes resultados, avaliar sobretensões transitórias às quais o mesmo pode ser submetido. A priori, para avaliação e medição de eventos transitórios, o sistema deve ter um desempenho dinâmico adequado para quantificar os transitórios e sobrecorrentes geradas, frequentemente, com componentes de frequência da ordem de dezenas a centenas de kHz.

Perguntas e respostas:

A) A resposta ao degrau e a resposta em frequência de um sistema de medição são equivalentes? Senão, que diferentes informações sobre o SM são obtidas em cada caso?

Não, as respostas não são equivalentes. - Resposta ao Degrau - consiste em avaliar o tempo de estabilização da resposta do SM uma vez que este seja submetido a um degrau aplicado aos terminais de entrada. O tempo de estabilização garante que a resposta do sistema se encontre estável a partir deste, ou seja, para o SM apresentado o $T_s = 117,6$ ns que garante avaliações de sinais até 7,5 MHz. - Resposta em Frequência ? consiste em avaliar regiões de frequência do sinal que precisam ser corrigidas devido às características do SMIP. Pode-se dizer que as respostas são complementares, mas as mesmas não são equivalentes.

B) Qual foi a razão de se utilizar a forma de onda de 8/20 μ s para verificar o FE do sistema de medição com HFCT? Não poderia ser utilizado a onda de corrente de 4/10 μ s que possui maiores componentes de frequência?

O Cepel dispõe de um gerador de impulso de corrente que possibilita o ajuste de 20kA de pico em até 8/20us, além de um SMR (sistema de medição de referência) para impulso de corrente acreditado. Assim sendo, à época o SM foi calibrado utilizando o SMR disponível.

C) Essa técnica para avaliação de transitórios de tensão poderia ser aplicada para outros equipamentos das subestações? Se sim, em quais? E quais modificações no sistema precisariam ser feitas em cada caso?

O método de medição desenvolvido em laboratório utiliza um único meio de conexão entre os terminais de alta tensão do TC e o potencial nulo (terra). Assim sendo, é possível comprovar que a utilização da cordoalha de aterramento do TC, para medição de corrente transitória, se apresenta viável. Uma vez que se conhece a impedância do TC é possível calcular os impulsos de sobretensão que são submetidos aos mesmos, possibilitando assim a quantificação dos parâmetros destas sobretensões advindas das manobras. Com os resultados apresentados possibilita-se um ajuste nos modelos dos TCs, simulações e estudos para coordenação de isolamento. Entretanto, espera-se que encontre a mesma condição no campo (SEs). Quanto à aplicação deste método à outros equipamentos, deve ser mantida a condição desenvolvida em laboratório. É possível aplicar em um TPC por exemplo.

Comentário: 1) Faltam as informações dos coautores; 2) A figura 5 não existe. Quando referenciada no artigo, trata-se da figura 6 que deve ser considerada.

3.21 - Classificador de Nível de Poluição em Isoladores de Vidro, aplicação em Rede Neural

YURI DOS REIS OLIVEIRA(1); JOSE ANTONIO DAFFONSECA SANTIAGO CARDOSO(2); JORGE LUIS DE OLIVEIRA(2); - Cepel / PUC-Rio(1);CEPEL(2);

Frequentemente os isoladores são retirados do sistema elétrico e então inspecionados para a verificação do nível de poluição o qual estão submetidos. Para facilitar tal verificação foi proposto neste trabalho o treinamento de uma rede neural convolutiva destinada a classificar o nível de poluição em um isolador de vidro ainda instalado no sistema elétrico, utilizando apenas as imagens obtidas com a câmera de detecção de corona ultravioleta (UV). O trabalho também relata a metodologia utilizada para obter o banco de dados através de ensaios de alta tensão executados com isoladores poluídos artificialmente com camada sólida salina e nevoa limpa.

Perguntas e respostas:

A) As imagens com resolução de 320 x 240, características de matrizes retangulares, foram compactadas para uma resolução de 64 x 64, que se refere a matrizes quadradas. Qual foi o processo utilizado para a compactação dessas imagens? Os autores chegaram a considerar outras compactações tais como 32 x 32 ou 16 x 16 ?

As imagens foram redimensionadas utilizando interpolação de área, método muito utilizado na biblioteca de visão computacional OpenCV. Não foram testadas outros tipos, pois a perda de informação na imagem seria muito grande.

B) A técnica apresentada necessita que o isolador esteja sob o processo de umidificação no momento da medição com câmera UV de tal forma a gerar corona. Assim, como essa técnica poderia ser utilizada para verificar o nível de poluição de isoladores no campo?

Sim a técnica poderia ser utilizada para isoladores no campo, desde que a rede neural fosse treinada com imagens obtidas em campo, e que o conjunto de treinamento fosse capaz de fornecer os mais variados exemplos de poluição nas mais variadas condições climáticas.

C) O artigo considera o caso de um único isolador. Seria possível classificar níveis de poluição em vários isoladores de uma mesma cadeia ao mesmo tempo?

Para ser utilizado em uma cadeia de isoladores seria necessário um pré-processamento para separar as imagens em cada isolador. A rede neural iria classificar cada isolador individualmente. Entretanto para classificar um cadeia como um todo, seria necessário treinar a rede neural com imagens de cadeias de isoladores poluídas, nos diferentes níveis de poluição.

Comentário: Faltam informações dos co-autores.

3.22 - MONITORAMENTO PREDITIVO EM ATIVOS DE TRANSMISSÃO COM FOCO NA EMISSÃO DE LAUDOS TÉCNICOS CONFORME RESOLUÇÃO ANEEL 669/2015

CLEINER SILVA ASSIS(1); WILSON JOSÉ REÇA ALVES(2); Cleusomir Carvalho dos Santos(3); - ELETRONORTE(1);ELETRONORTE(2);ELETRONORTE(3);

Monitoramento preditivo em ativos da transmissão com foco na emissão de laudos técnicos conforme resolução ANEEL 669/2015 são ações desenvolvidas no âmbito da Eletronorte para aplicação do conceito RCM2 na sua gestão de ativos. Entre essas ações estão; Eficientização e maior acuracidade das técnicas preditivas; Implantação de novas técnicas preditivas; Supervisão e monitoramento on-line de ativos de transmissão, entre eles transformadores e Reatores; Elaboração de laudos técnicos da condição dos equipamentos com a emissão de diagnósticos. Neste trabalho iremos demonstrar a aplicação da metodologia e a experiência da Eletronorte para emissão dos laudos técnicos.

Perguntas e respostas:

A) Todas as regionais da Eletronorte aplicam esta metodologia para postergar as intervenções por tempo?

A Eletronorte já emitiu alguns laudos de forma pontual. Esses laudos foram elaborados pela engenharia de manutenção da regional de operação do Tocantins. Estamos revisando o nosso procedimento de manutenção corporativo na empresa, será desenvolvido um fluxo para elaboração e cadastros de laudos. Se tiverem interesse posso mandar os laudos que já elaboramos aqui na empresa.

B) Existem exemplos onde a ANEEL não aceitou o Laudo?

O objetivo desse informe técnico é demonstrar que a Eletronorte esta preparada e até já emitiu alguns laudos técnicos. Existe alguns paradigmas no setor elétrico que precisam ser quebrados, até dentro da própria Eletronorte. Neste trabalho estamos mostrando o caminho e que é possível emitir laudos técnicos para postergar manutenções preventivas com intervalo fixo e praticar realmente a manutenção baseada na condição. Mas até o momento ainda não cadastramos nenhum laudo com o objetivo de postergação de manutenção preventiva de um determinado ativo. Mas como disse na resposta da pergunta anterior, estamos revisando nossos procedimentos para que a emissão de laudos com essa finalidade vire rotina da nossa engenharia de manutenção. Depois poderemos publicar outro IT e demonstrarmos nossa experiência nas avaliações da ANEEL dos nossos laudos que serão cadastrados.

C) A concessionária dispõe de Ferramenta Computacional Inteligente que a partir das diversas entradas proporcionadas pela manutenção preditiva indique o grau de manutenibilidade do ativo?

A Eletronorte utiliza o DIANE (Diagnósticos e Análises de Equipamentos elétricos) desenvolvido pelo CEPEL, como foi demonstrado no próprio Informe Técnico. O DIANE fornece diagnóstico dos resultados de análise de óleo de todos os Transformadores e Reatores da empresa, além de outras funcionalidades. Mas estamos sempre atentos às novidades do mercado, Ferramentas como essa da pergunta nos dariam ainda mais respaldo para emissão dos laudos técnicos.

Comentário: Faltam as informações dos coautores

3.23 - EXPLORAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA ESTIMAÇÃO DE VIDA ÚTIL DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

HALLEY JOSE BRAGA DA SILVA(1); FLÁVIO ALESSANDRO SERRÃO GONÇALVES(2); FERNANDO PINHABEL MARAFÃO(3); HELMO KELIS MORALES PAREDES(4); Daniela Gonzalez Tinois da Silva(5); - UNESP Sorocaba(1);UNESP Sorocaba(2);UNESP Sorocaba(3);UNESP Sorocaba(4);UNESP(5);

A estimativa do tempo de vida útil de um transformador de potência pode viabilizar a melhoria do uso do ativo, bem como do planejamento quanto a sua confiabilidade frente ao seu impacto no sistema elétrico de potência por falhas. Neste contexto, este artigo faz a análise de duas metodologias de avaliação de ciclo de vida de transformadores considerando a aplicação de ambas em um universo de 230 equipamentos em operação na rede de alta tensão, as metodologias avaliadas baseiam em análise de taxa de saúde e análise estatística de falha dos subcomponentes e acessórios dos transformadores.

Perguntas e respostas:

A) Para contabilizar o índice de máxima potência existe um tempo mínimo de operação a esta potência?

Acredito que seja com relação ao índice de histórico de carregamento (HC), não existe um tempo mínimo, pois o divisor da equação é acrescido em função do número de registros de máxima potência.

B) Como a periodicidade de análise de gasromatografia é considerada no modelo?

A periodicidade da análise de cromatografia gasosa não influencia no modelo, uma vez que a mesma é uma "foto" no momento do ensaio.

C) Como é feita a classificação dos resultados de FQO para uso na tabela 2 a partir da equação 3?

A classificação é feita com base na análise de 6 parâmetros (teor de água, rigidez dielétrica, acidez, tensão interfacial, coloração e fator de dissipação), cada parâmetro possui um score(relacionado a uma faixa de concentração) e peso ponderado associado, que está relacionado a influência do elemento analisado, posteriormente a essa classificação de acordo com os pontos e pesos é aplicada a equação 3, infelizmente como o artigo possui uma limitação de páginas relativamente baixa, não é possível demonstrarmos toda a etapa de classificação dos fatores analisados.

3.24 - Análise do Comportamento dos Enrolamentos de um Transformador de Potência Durante a Energização

LUÇAS SOUSA MAHMUD(1); DIOGE DE SOUZA LIMA(1); WELLINGTON DA SILVA FONSECA(2); DIEGO DE AZEVEDO GOMES(1); JOSÉ CARLOS DA SILVA(1); - UNIFESSPA(1);UFPA(2);

Neste artigo será realizado um estudo do comportamento eletromagnético e estrutural de um transformador de 50 MVA presente em um banco trifásico de uma subestação, com o intuito de avaliar os esforços sofridos pelos enrolamentos, cujos resultados são obtidos por meio do acoplamento eletromagneto-mecânico. Inicialmente serão mostradas as formulações para o cálculo das forças eletromagnéticas. Em seguida será descrita a metodologia para modelagem computacional do transformador, desde a obtenção da curva da corrente de energização ao desenho tridimensional do mesmo. Por fim, serão coletados os resultados das análises para avaliação da integridade física dos enrolamentos em função do tempo.

Perguntas e respostas:

- A) Qual a expectativa do autor quanto aos resultados a serem obtidos considerando as variações de temperaturas causadas pelas elevadas correntes no aumento do estresse nos enrolamentos?
- B) Haveria algum ensaio que pudesse ser realizado para verificar a diferença de desempenho de um transformador produzido conforme a metodologia proposta?
- C) Em relação ao estresse mecânico, os transformadores são submetidos ou projetados para suportar correntes com amplitudes maiores durante um curto-circuito. O fato da corrente de inrush ser bastante distorcida, contribui para um maior estresse mecânico nos enrolamentos do transformador

Comentário: Falta o nome do último coautor

3.25 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA - ANÁLISE DOS ENROLAMENTOS FRENTE ÀS SOLICITAÇÕES IMPOSTAS PELO SISTEMA ELÉTRICO

HUMBERTO MARGEL WICKERT(1); TIAGO BANDEIRA MARCHESAN(2); - CEEE-GT(1);UFSM(2);

Este trabalho apresenta uma proposta de modelagem de um transformador de potência para transitórios eletromagnéticos em altas frequências. O emprego deste modelo possibilita avaliar o comportamento dos enrolamentos frente aos surtos de tensão resultantes de transitórios no sistema elétrico de potência. Os cálculos foram realizados para um transformador de potência de 25 MVA, a partir dos dados obtidos de uma auditoria técnica entre concessionária e fabricante. Com o objetivo de avaliar as potencialidades do modelo desenvolvido realizaram-se simulações enfatizando a determinação da distribuição das tensões transitórias de impulso atmosférico ao longo dos enrolamentos do transformador, sendo estes resultados avaliados detalhadamente.

Perguntas e respostas:

- A) Até que valores de frequência a modelagem sugerida poderia ser utilizada para analisar sinais transitórios internos aos transformadores?

Para este caso, como as espiras de um par de discos são agrupadas, a precisão do modelo é assegurada até uma frequência de 1 MHz. Porém com uma maior discretização da modelagem elétrica é possível aplicá-la a frequências superiores.

- B) A participação do cliente na análise do desempenho do projeto não poderia acarretar uma responsabilidade compartilhada no desempenho operativo do transformador durante sua operação no sistema?

A interação com o fabricante é entendida como oportunidade de melhorar a confiabilidade do equipamento quando em operação no sistema elétrico. Pode-se assegurar em contrato que a responsabilidade no desempenho operativo do transformador é responsabilidade única do Fabricante.

- C) Qual a referência para as curvas de projeto apresentadas e qual a escala dos eixos? O transformador citado foi alterado conforme indicação e qual o resultado do ensaio

Segue a referência: H.P. Moser, Transformerboard, Scientia Electrica, 1979. Em relação a escala dos eixos são conforme consta kV/mm e distância conforme metodologia de análise citada na referida referência. Ainda, foram feitas interações durante a fase de Design Review com o fabricante que possibilitaram aumento de confiabilidade do equipamento.

3.26 - MODELAGEM DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA EM ALTAS FREQUÊNCIAS ATRAVÉS DE MEDIÇÕES EM CAMPO

Gabriela Sampaio Rema(1); DICKSON SILVA DE SOUZA(2); CARLOS MAGNO RODRIGUES VASQUES(2); GUILHERME SARCINELLI LUZ(3); ROGERIO MAGALHAES DE AZEVEDO(2); RÁ?MULO DOS SANTOS DELGADO(2); HELVIO JAILSON AZEVEDO MARTINS(4); BENEDITO DONIZETI BONATTO(5); DAVI SIXEL(6); Antonio Carlos Siqueira de Lima(7); - UNIFEI(1);CEPEL(2);ONS(3);Consultor(4);UNIFEI(5);Furnas(6);UFRJ(7);

Neste trabalho apresenta-se a modelagem de um transformador de potência monofásico de 200 MVA instalado em uma subestação. Esta modelagem foi elaborada a partir de medições de admitância na frequência utilizando cabo coaxial associado a uma técnica para compensação de seu efeito. Faz-se a comparação com os resultados obtidos em trabalhos anteriores (1-2) (5-6) quando a medição foi realizada utilizando fitas de cobre da instrumentação até o terminal da bucha do transformador. Com esta nova medição, obteve-se uma curva que se aproxima mais do comportamento do transformador na frequência e um modelo que representa melhor o equipamento em altas frequências.

Perguntas e respostas:

- A) Descreva o terminal do cabo e qual a solução para conexão to terminal no topo da bucha 500kV e nas partes aterradas (3m a 6m de distância entre eles)?

Utilizou-se um cabo coaxial de 9 metros da instrumentação até o terminal da bucha do transformador. Quanto ao aterramento, levou-se uma cordoalha até o terminal da bucha, uma vez que, para utilização do método de compensação do efeito do cabo, ambos os terminais do cabo devem estar aterrados.

- B) Na figura 3, o que justifica a grande diferença de valores de medição à frequência industrial (<100Hz)?

A diferença deve-se à condição dos terminais. Na medição feita com fita, os demais terminais estavam em aberto (medição de impedância). Já na medição feita com cabo, os demais terminais estavam aterrados (medição de admitância). Para modelagem através do Vector Fitting, os dados de entrada devem estar em admitância.

- C) A figura 6 claramente mostra a inadequação do modelo ajustado aos dados, independente da origem dos dados. Quais seriam os resultados quando o modelo com fita estivesse adequadamente ajustado para a faixa até 4 Mhz (mais relevante - maior energia nos sinais)?

O ajuste é inadequado devido aos dados de entrada. Os polos são alocados de forma a criar uma função que se aproxime da curva medida. Com um maior número de polos, há a tentativa de um ajuste mais próximo da medição, o que causa o ajuste de possíveis interferências contidas na curva medida. A tentativa de ajustar o módulo causa variações no ângulo que destoam da medição. Desta forma, optou-se por fazer a aproximação através do Vector Fitting com um número menor de polos.

3.27 - Investigação dos Métodos Normativos para o Cálculo e Estimação da Temperatura do Topo do Óleo em Transformadores de Potência - Aplicabilidade ao Cenário Brasileiro e Proposta de Novas Abordagens

DANIEL CARRIJO POLONIO ARAUJO(1); Gabriel de Souza Pereira Gomes(2); Mateus Batista de Moraes(3); Rafael Prux Fehlberg(4); - Tretech(1);Tretech(2);Tretech(3);Tretech(4);

Nos dias atuais, com a crescente aplicação de tecnologia embarcada em sistemas de potência, uma boa parte dos transformadores possui monitoramento de temperatura do topo do óleo e do ponto mais quente do enrolamento, seja pelo método de imagem térmica ou medição direta. O monitoramento dessas temperaturas torna possível a aplicação de sobrecargas nos transformadores sem ocasionar defeitos, falhas e suas nefastas consequências. Geralmente, a temperatura do topo do óleo é medida utilizando um sensor de temperatura (composto por um transdutor e um sistema de condicionamento) e então a partir do cálculo de imagem térmica estima-se a temperatura do ponto mais quente do enrolamento. Uma notável aplicação é o cálculo e análise online da eficiência do sistema de resfriamento de um transformador de potência comparando-se a temperatura do topo do óleo medida diretamente com a calculada. Ademais, em alguns casos especiais a temperatura do topo do óleo é calculada e não medida diretamente. O motivo geralmente advém de alguma dificuldade ou mesmo impedimento mecânico para a instalação do transdutor de temperatura. Para que essas análises sejam válidas, o cálculo da temperatura do topo do óleo deve ser preciso e exato. Para realização desses cálculos, existem métodos normativos apresentados tanto pela comunidade nacional como pela comunidade internacional. Os métodos apresentados pela comunidade nacional são, em geral, os mesmos da comunidade internacional, e nem sempre refletem a realidade climática e de perfil de carregamento do Brasil, onde a temperatura ambiente chega a variar mais de 20 °C em apenas um dia e o carregamento pode variar de 20 a 110%. Assim sendo, é de suma importância que a temperatura ambiente utilizada nos cálculos seja sempre medida e não um apenas um parâmetro de entrada fixa, fator esse que reforça ainda mais o critério financeiro do cálculo da temperatura do topo do óleo, evitando assim erros que venham a comprometer este caro e importante ativo.

Perguntas e respostas:

- A) Quais foram os valores de viscosidade em cSt utilizados no cálculo da temperatura do topo do óleo dos transformadores? Como essas informações de viscosidade foram utilizadas no cálculo do modelo?

Foram utilizados valores dinâmicos para a viscosidade, dependentes da temperatura / carga do transformador. Devido a complexidade, este assunto será tratado em um paper específico, em detalhes.

- B) Em uma região onde a temperatura muda bastante em um período de 24h, a velocidade dessa mudança, sendo mais rápida do que a velocidade na alteração da temperatura do óleo, não poderia gerar erros no cálculo da temperatura do topo do óleo?

Sim. Erros poderiam ser gerados, principalmente no caso onde a temperatura ambiente não é medida diretamente, e sim parametrizada como um valor fixo. O modelo previsto pela norma é impreciso, mesmo com as constantes de tempo devidamente compensadas, em uma situação como a exemplificada na pergunta. Isso é abordado no artigo, na figura 05: "Também é possível notar a chave de seleção do diagrama, que indica a possibilidade de realizar o cálculo da temperatura do enrolamento a partir da temperatura do óleo oriunda do cálculo, considerando-se para tal a temperatura ambiente, ou por medição direta, por meio do transdutor de temperatura. Note que, na opção pelo cálculo a partir da temperatura ambiente, se esta não for medida, mas estimada ou fixa, o modelo dificilmente irá refletir as condições reais de óleo e enrolamento, um sério limitante para efeitos de operação em tempo real."

- C) Os autores entendem que a temperatura ambiente seja medida nas proximidades do transformador sob consideração. Essa medição, estando muito próxima ao transformador, não poderia sofrer um aumento indevido devido à própria influência do processo de troca de calor entre o transformador e o ambiente?

Sim, poderia haver este tipo de influência. Contudo, entendemos com a expressão "proximidades do transformador" uma distância suficientemente afastada para não sofrer influências diretas da convecção e irradiação térmica do transformador e próxima o suficiente para que a temperatura medida seja considerada consistente. Em termos numéricos, uma distância de 1 metro seria suficiente com o uso de um abrigo ambiental adequado no RTD.

3.28 - Desafios no diagnóstico de para-raios óxido de zinco de alta tensão aplicados na proteção de transformadores de potência

MARIO AUGUSTO CAETANO DOS SANTOS(1); RODRIGO EDUARDO CHAPARRO MORAES(2); - ITAIPU(1);ITAIPU(2);

Este trabalho apresenta os desafios enfrentados na obtenção de diagnósticos de para-raios óxido de zinco aplicados na proteção de transformadores de potência, com enfoque na prevenção de falhas. A partir de técnicas de medição de corrente resistiva de fuga e de temperatura por termografia, e com apoio de uma ferramenta computacional dedicada, busca-se a emissão de diagnósticos assertivos. Porém, fatores externos e circunvizinhos podem influenciar consideravelmente os dados obtidos mediante as inspeções termográficas, com reflexos nas variações dos diagnósticos. Tais fatores de influência são analisados e discutidos, sendo sugeridas medidas para aprimoramento da metodologia de termografia.

Perguntas e respostas:

A) Qual o histórico de falhas ou de detecção antecipada de falhas de para-raios utilizando-se a técnica resistiva de fuga durante os mais de 20 anos que ela foi aplicada?

Em Itaipu não há histórico de falhas ou detecção antecipada de falhas por meio da técnica de medição de corrente resistiva.

B) Qual o impacto no aumento do tempo de ensaio e análise dos resultados com a adição da nova técnica e quais os ganhos em redução das taxas de falha ou detecção encontrados?

O acréscimo da inspeção termográfica nos para-raios não impactou significativamente a carga de trabalho da equipe responsável, pois a mesma já necessitava deslocar-se para fazer as medições de corrente resistiva. Não houve, até o presente momento, ganhos com redução de taxas de falhas. O principal ganho que temos é a capacidade de acompanhar a condição dos para-raios, muitos dos quais com mais de 30 anos em operação.

C) A adoção da termografia, sem condições controladas de ensaio, insere variações significativas no diagnóstico. Além da padronização do horário de medição, quais as propostas de melhoria os autores podem sugerir para minimizar as variações de diagnóstico e assim, aperfeiçoar o procedimento de medição e diagnóstico?

Para aperfeiçoar as inspeções termográficas e o respectivo diagnóstico, sugere-se, além da adoção de horário entre meia noite e o amanhecer, que os transformadores estejam em baixa carga e que se observem outras condições de contorno, por exemplo, o funcionamento do sistema de ventilação forçada (e a direção do fluxo de ar, neste caso). Acredita-se que tais cuidados podem aprimorar os resultados das inspeções, mesmo em ambiente aberto como é o caso de subestações outdoor.

4.0 TÓPICOS PARA DEBATE

As empresas de energia elétrica deveriam considerar aspectos das características dos materiais em suas especificações de equipamentos visando aumentar a confiabilidade de seus ativos?

As normas nacionais hoje existentes são adequadas para garantir um desempenho confiável dos equipamentos durante sua vida útil operativa?

O setor elétrico já dispõe de técnicas de avaliação e critérios consagrados que poderiam ser adotados pelas empresas para garantir uma vida útil de seus ativos pelo menos até sua vida útil regulatória?

Com todo o avanço da nanotecnologia, o desenvolvimento de novos materiais aplicados nos sistemas isolantes dos equipamentos de alta tensão tem se mostrado muito tímido. Os materiais dielétricos estariam em seu limite de desempenho para o setor elétrico?

5.0 CONSTATAÇÕES FINAIS 1

As condições de confiabilidade dos transformadores e reatores para o sistema continuam despertando o interesse. Os informes técnicos trataram de temas associados as suas especificações, ensaios até a avaliação da expectativa de vida e logo, critérios para substituição para manutenção da confiabilidade.

6.0 CONSTATAÇÕES FINAIS 2

Os métodos e modelos que permitem a avaliação das condições do equipamento ao longo da vida útil e sua estimativa de vida têm sido buscados e ainda existe espaço para melhoria e desenvolvimento.

7.0 CONSTATAÇÕES FINAIS 3

Constatou-se que investigações dos modos de falha e análises de causa raiz são motivadores do debate técnico com destacada participação e interesse.