



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO XIII

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E
TECNOLOGIAS EMERGENTES - GTM**

**AVALIAÇÃO TEÓRICA DA CAPACIDADE DOS TRANSFORMADORES DE RESISTIR AOS EFEITOS
DINÂMICOS DE CURTO-CIRCUITO, VISÃO ATUAL E O ANEXO A DA IEC 60076-5:2006**

**Andre Vita (*)
Paulo Patrocínio
Maria C. Verginio
FURNAS**

**Angélica Rocha
Luis Henrique Duarte
CEMIG**

**João Baldauf
Ito Capinos
AREVA**

RESUMO

O sistema elétrico brasileiro tem crescido nos últimos anos, aumentando a complexidade e a interligação dos circuitos. Isso leva a um aumento dos níveis de curto-circuito e conseqüentemente das correntes de curto-circuito, obrigando as concessionárias a reforçar os cuidados e conhecer melhor a interação do transformador com o sistema.

O objetivo maior deste trabalho é abrir a discussão quanto ao Anexo A da IEC 60076-5 2006, "*Annex A (informative) Theoretical evaluation of the ability to withstand the dynamic effects of short circuit.*" que tem como escopo principal servir como guia para a avaliação teórica da capacidade de resistir aos efeitos dinâmicos de curto-circuito, baseado em cálculos e considerações das características de projeto e práticas de fabricação, utilizando especificamente as orientações dadas no artigo do *Cigre Brochure 209, "The short circuit performance of power transformers", August 2002*, necessárias para verificar as capacidades de curto-circuito.

Na norma brasileira NBR 5356-5 Transformadores de potência – Parte 5: Capacidade de resistir a curto-circuito, publicada em 2007 e válida a partir de 17/01/2008, este anexo não está incluído, devido ao fato de que, na época da revisão desta norma, a Comissão de Estudo de Transformadores de Potência - CE-14.01, ter analisado e deliberado que, para a inclusão deste anexo na Norma NBR, se fazia necessário um tempo maior para o mercado brasileiro assimilar as inovações trazidas por este Anexo A.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador, Curto-circuito, "*design review*"

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema elétrico brasileiro, em sua dimensão, está sujeito a perturbações, alterando assim, o estado normal de sua rede. A sua representação é muito importante, isto é, a topologia da rede deve estar a mais correta possível, para futuras análises. Estas perturbações provocam violações severas em equipamentos, sendo as mais comuns os curtos-circuitos.

Durante a ocorrência de um curto-circuito num sistema de potência, os transformadores devem suportar, sem prejuízo no seu desempenho, todas as solicitações de correntes que, porventura, surgirem até o instante em que os disjuntores atuem para isolar o trecho defeituoso do sistema.

Em uma primeira aproximação, se a tensão no instante da falta for nula, a assimetria será máxima, sendo a componente contínua da corrente de curto-circuito, a responsável por essa assimetria, que decai exponencialmente, sendo a sua constante de tempo função da relação X/R da rede. O valor do pico máximo da corrente de curto-circuito assimétrica define a característica dinâmica dos equipamentos enquanto que, o valor eficaz da corrente simétrica define a característica térmica.

A duração da corrente de curto-circuito também deve ser especificada e corresponde ao tempo máximo que o equipamento pode ser submetido à corrente de curto-circuito. O seu valor, normalmente especificado, é de 1 segundo a 3 segundos.

O roteiro para a especificação das correntes de curto-circuito para transformadores é resumido pelos seguintes passos:

- Determinar as correntes através dos equipamentos para configurações futuras, previstas para um horizonte da ordem de 30 anos, adequando-se aos valores das normas vigentes e adotando, quando possível, a padronização.
- Determinar a relação X/R da rede e a constante de tempo da componente contínua da corrente de curto-circuito.
- Determinar o valor do pico máximo da corrente assimétrica de curto-circuito.
- Determinar o valor da componente contínua, no instante da separação dos contatos do disjuntor.

A magnitude do curto-circuito a ser suportada por um transformador nasce nos estudos de curto-circuito que são realizados pelas concessionárias que definem o valor da corrente de curto-circuito dinâmica e térmica.

O estudo de casos de curto-circuito se baseia em dados retirados dos chamados “casos base”, com a extensão “.ana”, que são preparados e disponibilizados pelo ONS e que são estudados pela maioria das concessionárias usando o programa ANAFAS do CEPEL para cálculo da corrente de curto-circuito, com ano horizonte de estudo de 3 (três) anos, com as obras referidas do PAR – Plano de Ampliações e Reforços.

Os níveis de curtos-circuitos, monofásicos e trifásicos são estudados e simulados, levando-se em consideração, na maioria dos casos, curtos nas barras principais das subestações, verificando-se a sua severidade. Casos específicos como curtos-circuitos em terciário e curtos-circuitos quilométricos em linhas de transmissão são também estudados, dependendo da análise e necessidade do caso em estudo. Para alguns casos de curto-circuito a serem estudados, deve-se ter o sistema elétrico muito bem representado e o mais completo o possível, para outros, representações mais simples podem ser utilizadas sempre levando em consideração o estudo e a área a ser analisada, para verificar o impacto de uma nova obra entrando no sistema

As faltas por solicitações de corrente de curto-circuito diretamente sobre os transformadores não são tão freqüentes, mas na maioria das vezes causam grandes danos para os transformadores e para tanto, torna-se necessário se ter um bom dimensionamento dos mesmos, para se garantir seu desempenho e a sua capacidade de resistir às solicitações dinâmicas e térmicas de curto-circuito.

2.0 - HISTÓRICO

O perfil de faltas que ainda hoje existe na maioria das normas internacionais e literatura associada no mercado continua indicando para o curto-circuito monofásico-terra, uma probabilidade de 79% de ocorrência, quanto que para o curto-circuito trifásico está na ordem de 2%, muito embora, o curto-circuito monofásico-terra tenha a classificação transitória enquanto que o trifásico é classificado como de caráter mais permanente.

Muitas das vezes, os transformadores não são capazes de suportar os esforços de curto-circuito e quando isso acontece, os danos quase sempre comprometem a parte-ativa, o desempenho e a disponibilidade do transformador no sistema elétrico.

Devido a este fato, muito embora os dispositivos de proteção estejam cada vez mais eficientes, ainda sim, os transformadores continuam sendo equipamentos projetados e construídos para suportar as solicitações mecânicas e térmicas produzidas por curtos-circuitos sobre as seguintes condições:

- Duração da corrente de curto-circuito, e
- Magnitude da corrente de curto-circuito.

É reconhecido ainda, que a capacidade de suportar curto-circuito pode ser afetada por efeitos cumulativos causados por carregamentos acima do nominal e sobre esforços mecânicos e térmicos repetitivos.

A literatura hoje existente no mercado indica que sempre que não houver condições de se avaliar continuamente e quantitativamente os efeitos das solicitações de curto-circuito, o ensaio de curto-circuito, quando requerido, deverá ser realizado antes do transformador entrar em serviço.

De certa forma, não é necessário que todos transformadores sejam ensaiados para curto-circuito para demonstrar seu projeto e sua construção adequada. A realização de “*design review*” antes do início da fabricação já é hoje citada pelo novo anexo A da IEC 60076-5 – 2006 e é praticado por várias concessionárias.

A seguir, são apresentados alguns casos reais de curtos-circuitos ocorridos em sistemas de transmissão com seus efeitos e conseqüências nos transformadores:

2.1 Primeiro exemplo

Um exemplo real que pode ilustrar o bom desempenho de uma parte ativa em suportar curto-circuito ocorreu na subestação de Campos de FURNAS onde um autotransformador, foi submetido num período entre os anos de 2003 a 2007, a nada menos que oito (8) curtos-circuitos no lado do terciário 13,8 kV, onde nenhum dano maior se verificou em suas bobinas principais.

A única parte que sofreu danos causados pelos curtos-circuitos foi no reator de terciário do autotransformador, mas que continuava a operar mesmo danificado. A cromatografia preventiva revelou que havia um defeito, mas que na inspeção interna e nos ensaios realizados, mostrou que somente o reator estava danificado.



Figura 1 - Efeito sobre o reator trifásico do terciário do autotransformador

O reator foi substituído por um novo com maior robustez às solicitações de curto-circuito e o autotransformador voltou à operação comercial.

Podemos avaliar desse caso que mesmo antes do novo Anexo A da IEC 60076-5:2006, ao se especificar uma corrente de curto-circuito para um transformador, muito embora não se tenha ensaiado para curto-circuito ou muito menos se tivesse alguma das técnicas atuais para se avaliar a capacidade de suportar curto-circuito, os transformadores já eram projetados pelos fabricantes com critérios capazes de atender às solicitações mecânicas e térmicas de curto-circuito.

2.2 Segundo exemplo

Um exemplo do desempenho satisfatório, relativo à essas solicitações, ocorreu em fevereiro de 2009 quando autotransformadores da CEMIG, contribuíram para 5 (cinco) curtos-circuitos consecutivos ocorridos em linhas de 138kV da SE Juiz de Fora 1 onde estão instalados. Apesar das correntes dos curtos-circuitos passantes nos autotransformadores não terem sido elevadas, da ordem de 2 (duas) vezes a nominal, o último curto-circuito levou 8 (oito) segundos para ser eliminados devido a problemas mecânicos no disjuntor da linha. As figuras abaixo apresentam o diagrama da subestação de Juiz de Fora 1 com o local do curto-circuito e os autotransformadores e também a oscilografia das correntes de contribuição para o curto-circuito com tempo de eliminação de 8 (oito) segundos.

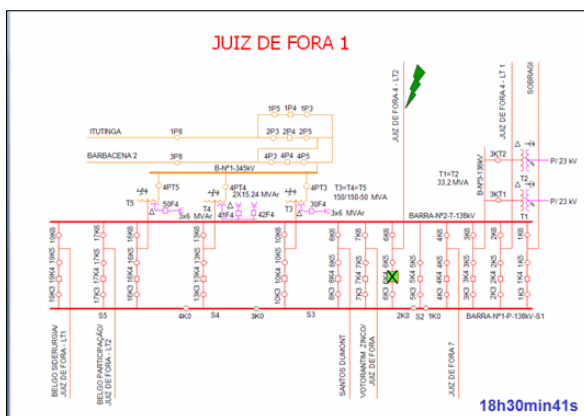


Figura 2: Curto-circuito em uma linha de 138kV

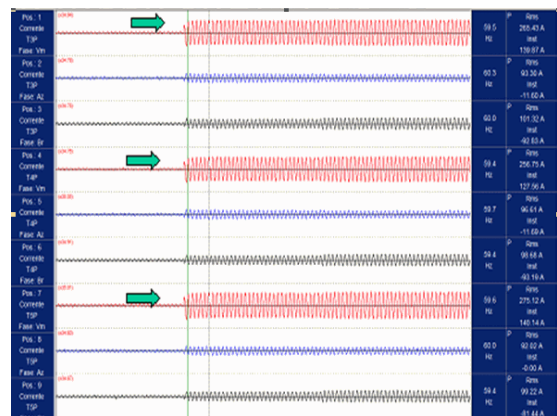


Figura 3: Contribuição dos autotransformadores por 8 (oito) segundos

2.3 Terceiro exemplo

A falta de um transformador, instalado na SE Cidade Industrial da CEMIG, em decorrência da alimentação de um curto-circuito cinco vezes maior que sua corrente nominal no 13,8kV. Devido a problemas no serviço auxiliar da SE, a falta só foi eliminada após 6 (seis) minutos, sendo o transformador solicitado pelos esforços do curto-circuito por todo esse tempo. A SE Cidade Industrial pertence à região metropolitana de Belo Horizonte sendo supridora de cargas residenciais e industriais. A ocorrência teve como consequência a interrupção de mais de 80.000 consumidores por período superior à 1 (uma) hora. As figuras abaixo ilustram esta ocorrência.



Figura 4: Derramamento de óleo e deformação inferior do tanque



Figura 5: Temperatura dos enrolamentos e do óleo superiores a 160°C e 100 °C durante a falta

De uma forma geral, os transformadores de grande porte (potência superior a 100MVA) da Cemig não são submetidos, com frequência a elevados valores de curtos-circuitos, raramente ultrapassando a cinco vezes a corrente nominal desses equipamentos. Alguns fatores contribuem para isso, tais como:

- Presença na maioria dos casos de mais de uma unidade em paralelo e outras fontes nas instalações o que proporciona uma divisão da corrente de curto-circuito.
- Baixa probabilidade de ocorrência de curtos-circuitos francos nas barras, como por exemplo, nos 13,8 kV.
- A maioria dos curtos-circuitos ocorre ao longo das linhas de transmissão o que minimiza a amplitude das correntes de contribuição dos transformadores.

Dentro desse enfoque, pode-se citar, como exemplo, os autotransformadores 345/38/13,8kV, 225MVA da SE Taquaril que contribuem para curtos-circuitos em linhas de transmissão de 138kV em uma região de alta densidade de descargas atmosféricas. No período de 2003 a fevereiro de 2009, ocorreram 32 curtos-circuitos nessas linhas numa faixa de 0 a 10km à partir da subestação. Esses curtos-circuitos correspondem às correntes de contribuição dos autotransformadores variando aproximadamente entre 2 a 4 vezes a nominal.

2.4 Quarto exemplo

Falta no transformador de serviços auxiliares com duplo enrolamento de BT da Usina Nuclear de Angra 2, com curtos-circuitos na BT1 devido a não abertura de um curto-circuito trifásico de uma chave seccionadora a terra em um dos secundários do transformador, consequência de uma operação incorreta, e a re-energização após o primeiro curto-circuito, onde foram evidenciados os efeitos das solicitações eletrodinâmicas de compressão no enrolamento de BT (buckling) e dos efeitos das solicitações axiais.



Figura 6: Deformação no enrolamento de BT



Figura 7: Deformação pela solicitação axial

3.0 - ALGUMAS PRÁTICAS DE CONCESSIONÁRIAS E DE FABRICANTES PARA VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA A CURTO-CIRCUITO

Uma vez que a realização de ensaio de curto-circuito em um transformador tem um alto custo para sua execução, sendo como corpo de prova o próprio transformador de custo elevado e de processo de fabricação que demanda meses, e que pode ser destrutivo, sendo somente realizado em alguns laboratórios no mundo, que na maioria das vezes, mesmo para projetos novos, não é realizado. Daí decorre a extrema necessidade de se ter um perfeito e ajustado dimensionamento e projeto de suportabilidade ao curto-circuito.

Como pode ser visto nos exemplos acima, a maioria dos curtos-circuitos que ocorrem em funcionamento são muito menos severas que as condições impostas pelo ensaio de curto-circuito, que tem um índice de faltas muito maiores, que o registrado em funcionamento nas concessionárias.

A prática de Furnas tem sido a de se verificar a capacidade mecânica e térmica a curto-circuito, através da realização de "design review", com base não só no guia do CIGRÉ Publicação 204, mas principalmente utilizando roteiro da sua própria especificação técnica, onde são verificados os seguintes tópicos:

- Categoria de potencia nominal quanto ao curto-circuito que se classifica o transformador;
- Terminais e posição dos comutadores que são consideradas a aplicação do curto-circuito para cálculo e projeto;
- Correntes máximas de curto-circuito;
- Impedância de curto-circuito do transformador;
- Peso dos condutores por enrolamentos;
- Capacidade e limites mecânicos dos enrolamentos em suportar as solicitações mecânicas (dinâmicas) de curto-circuito;
- Limites radiais e axiais aos esforços de curto-circuito por enrolamento;
- Modelagem e cálculo mecânico de curto-circuito de cada enrolamento;
- Esquemático e arranjo dos enrolamentos e seus vetores de esforços de curto-circuito;
- Tipos de deformidades esperadas para cada enrolamento;
- Capacidade e limite de suportar efeitos cumulativos causados devido a carregamentos acima do nominal e sobre-esforços mecânicos e térmicos repetitivos;
- Degradações causadas por efeitos cumulativos de carregamentos acima do nominal que alteram a suportabilidade ao curto-circuito;
- Capacidade e limite mecânicos de suportar a curtos-circuitos sucessivos;
- Limite em p.u. da corrente base (simétrica) que o transformador é capaz de suportar;
- Reforços mecânicos de projeto para suportar os esforços de curto-circuito;
- Relação X/R do transformador;
- Temperatura final e do ponto mais quente de cada enrolamento quando submetido a curto-circuito;
- Modelagem e cálculo das temperaturas durante um curto-circuito;
- Área da seção transversal da isolamento;
- Área da seção transversal dos condutores;
- Degradação, estresse causada na isolamento/celulose durante um curto-circuito;
- Reforços térmicos de projeto para suportar as temperaturas durante um curto-circuito;
- Atendimento aos requisitos especificados e de norma de curto-circuito;
- Efeitos transitórios que diminuem a capacidade mecânica e térmica de suportar curto-circuito;

- Forma e arranjo recomendado para o ensaio de curto-circuito;
- Plotagem dos esforços mecânicos na parte-ativa e indicação dos pontos de maior solicitação e de maior fragilidade e vulnerabilidade.

Uma prática mais recente que também vem sendo realizada por Furnas é a análise dos resultados dos ensaios de resposta em frequência (FRA) para verificação dos efeitos transitórios na parte ativa do transformador, onde se podem detectar fragilidades e prováveis defeitos decorrentes de curtos-circuitos na rede.

Muito embora não houvesse normatização para definir os parâmetros da capacidade de suportar curtos-circuitos como no novo Anexo A da IEC 60076-5-2006, pode-se observar, na prática, que tanto as concessionárias, como os fabricantes, têm experiências positivas, com bom desempenho dos transformadores.

4.0 - AS DIRETRIZES DAS NORMAS NBR 5356-5:2007 E IEC 60076-5 2006

4.1 A visão da norma NBR 5356 – 5:2007

A habilidade do transformador de resistir aos efeitos dinâmicos de curtos circuitos segundo item 4.2 das NBR 5356-5:2007, se for especificado pelo comprador, deve ser demonstrada ou por ensaio ou por cálculo e considerações de projeto e de fabricação. Ainda de acordo com este item o método usado deve ser objeto de acordo entre fabricante e comprador.

Quando for escolhido o ensaio este é selecionado como especial e deve ser especificado com a colocação da ordem de compra. Isto se deve ao custo envolvido para realização do ensaio e de pendendo do tamanho e tipo do equipamento, que não pode ser ensaiado como definido nesta norma ou por limitações do ensaio, dos laboratórios de ensaios disponíveis e eu devem sempre ser acordados entre comprador e fabricante.

Quando for selecionado, demonstrar com base a cálculo, projeto e fabricação, nesta norma, é necessário uma comprovação através da comparação com ensaios previamente executados em transformadores similares ou ensaios em modelos representativos, quando existirem. (Nesta publicação da NBR 5356-5:2007 não consta que esta comprovação deve ser pelo guia do anexo A da IEC 60076-5.)

4.2 O Anexo A da IEC 60076-5:2006

Este anexo dá as diretrizes para a avaliação teórica da capacidade do transformador de resistir aos efeitos dinâmicos de curto-circuito, em base aos cálculos e considerações das características de projeto e práticas de fabricação.

Na norma brasileira NBR 5356-5 Transformadores de potência – Parte 5: Capacidade de resistir a curto-circuito, publicada em 2007 e válida a partir de 17/01/2008, este anexo não está incluído, devido ao fato de que, na época da revisão desta norma, a Comissão de Estudo de Transformadores de Potência - CE-14.01, ter analisado e deliberado que, para a inclusão deste anexo na Norma NBR, se fazia necessário um tempo maior para o mercado brasileiro assimilar as inovações ali indicadas.

4.2.1 Generalidades

A avaliação teórica da capacidade do transformador de potência de resistir aos efeitos dinâmicos do curto-circuito consiste em um “*design review*” cobrindo os principais aspectos da resistência mecânica do transformador. A documentação necessária para este propósito inclui todos os dados técnicos necessários para tal, como folhas de dados do projeto eletromagnético, cálculo das correntes de curto-circuito, forças eletromagnéticas e solicitações mecânicas, suplementadas por desenhos e especificação de material, práticas de fabricação e instruções de processos, etc. Esta documentação pode ser produzida com o propósito específico para o projeto eletromagnético e mecânico ou como parte da documentação da tecnologia do fabricante.

O “*design review*” deve verificar os mais críticos valores de forças e solicitações mecânicas que aparecem no projeto como consequência das condições de falta especificadas.

Tais valores devem ser ou comparadas com aqueles correspondentes relativos ao transformador de referência ensaiado com sucesso no ensaio de curto-circuito, na condição onde o transformador em consideração é similar ou ser verificado de acordo com as condições de regras de projeto do fabricante para as solicitações de curto-circuito.

A estrutura suporte do enrolamento e o arranjo estrutural mecânico de prensagem bem como a prática do fabricante são também objeto para ser considerado no “*design review*”

O “*design review*” descrito neste anexo é principalmente aplicado a transformadores de categorias II e III.

4.2.2 Guia para conduzir o “*design review*”

4.2.2.1 Generalidades

O “*design review*” deve consistir nos seguintes passos

- Exame do transformador baseado na documentação técnica pertinente.
- Avaliação do transformador quanto a:

- por comparação com transformador de referencia o qual tem passado com sucesso no ensaio de curto-circuito, ou
- por verificação de acordo as regras de projeto do fabricante para as solicitações de curto-circuito
- Resultados do “*design review*” e formal reconhecimento do transformador.

4.2.2.2 Informações relativas ao transformador a ser avaliado

As evidências a serem apresentadas pelo fabricante para o propósito de “*design review*” devem incluir os seguintes itens.

- a) Folhas de dados do projeto eletromagnético conforme necessário para os cálculos.
- b) Desenhos ou esquemas completos dos enrolamentos e arranjo do isolamento entre a janela do núcleo com indicação dos tipos de materiais.
- c) Cálculos dos valores das correntes de curto-circuito (ambos os valores de pico e eficaz simétricos) afetando cada enrolamento como resultado das condições de operação especificadas e dos tipos de falta tomadas em consideração, como também em relação a posição das derivações no enrolamentos com derivações
- d) Cálculos das principais forças de curto-circuito (valores de pico ocorrendo no pico mais elevado da respectiva corrente), com referência aos casos de falta, posição das derivações, geometria e relativa posição dos enrolamentos considerados no propósito de projeto.

Plena informação deve ser dada se qualquer simplificação na configuração geométrica tenha sido adotada para os enrolamentos, núcleo e tanque para o propósito do campo magnético de dispersão e dos cálculos das forças eletromagnéticas

4.2.3 Avaliação do transformador

Na avaliação do transformador, dois métodos alternativos podem ser seguidos, baseado tanto na comparação com transformador de referência que tem passado no ensaio de curto-circuito com sucesso ou por verificação de acordo com a documentação das regras instruções de projeto para as solicitações de curto-circuito adotadas pelo fabricante na produção regular. Estes métodos alternativos são descritos a seguir.

4.2.3.1 Avaliação por comparação com um transformador de referência - reconhecimento de um transformador de referência.

Um transformador de referência é julgado adequado para propósito de comparação se preencher as seguintes condições:

- Suas características são tais que o transformador em avaliação pode ser considerado similar.
- Ter sido projetado por basicamente com os mesmos métodos de cálculo e critérios de solicitações mecânicas como os empregados no transformador sob avaliação.
- Ter sido fabricado basicamente de acordo com as mesmas práticas da garantia da qualidade e instruções de controle de qualidade como os empregados no transformador sob avaliação.
- A faixa de validade das regras para os esforços de curto-circuito adotadas para o projeto cobre as características de ambos os transformadores.
- O transformador de referência deve ter passado nos ensaios de curto-circuito com sucesso.

O reconhecimento dos transformador(es) de referência consiste nos seguintes passos:

- Verificar que a se é adequado para o propósito de comparação com o descrito acima;
- Examinar os relatórios concernentes ao ensaio de curto-circuito.
- Reconhecimento dos principais dados do projeto eletromagnético, cálculos executados e critérios nas solicitações mecânicas adotados para o projeto.
- Reconhecimento das praticas adotadas para a fabricação, garantia da qualidade e das instruções de controle de qualidade.

A avaliação comparativa deve começar com o exame e comparação dos enrolamentos e principal estrutura de isolamento e do arranjo das estruturas de prensagem dos dois transformadores, especialmente a luz da suas respectivas solicitações mecânicas características. Desta avaliação comparativa deve ser possível concluir que transformador é, em principio, tão robusto como o transformador de referência com relação a sua estrutura mecânica básica.

4.2.3.2 Avaliação para verificação contra as regras de projeto do fabricante para os esforços de curto-circuito.-reconhecimento das informações de projeto do fabricante.

As regras dos esforços de curto-circuito nas quais o fabricante tem baseado o seu projeto da unidade a ser avaliada devem possuir uma sólida base experimental. Isto significa que estas regras devem ser suportadas pela análise tanto dos resultados de um número de ensaios de curto-circuito executados em transformadores reais ou advindos de ensaios realizados em modelos representativos combinados evidências baseadas em operação de longa duração sem faltas de um número de transformadores em campo. O fabricante deve apresentar as seguintes informações:

- Lista dos transformadores construídos pelo fabricante os quais tem sido sujeitos ao ensaio de curto-circuito, incluindo os principais dados do transformador, tais como potência nominal, tensão nominal, faixa de derivações, e impedância de curto-circuito.
- Os resultados dos ensaios realizados em modelos, se qualquer, e seus impactos nas regras de projetos.
- Os conteúdos das normas técnicas para os esforços de curto-circuito de transformadores usados pelo fabricante nos seus projetos regulares e atividades de produção.

4.2.4 Resultados do “design review” e o reconhecimento do transformador sob avaliação.

O resultado do “*design review*” é positivo se:

- Os requerimentos da especificação terem verificados de que cobrem as reais condições do sistema;
- O projeto cobre integralmente a especificação;
- O “*design review*” ter sido executado de acordo com o Anexo A identificando o todas as forças e solicitações;
- A avaliação do transformador sob consideração ter sido executado de acordo com o Anexo A e em conformidade aos critérios das forças e solicitações de curto-circuito listados no Anexo A e dos conteúdos da Tabelas A.1 ou Tabela A.2;
- O projeto mecânico, os processos de produção e fabricação ter sido avaliado e considerado adequado para atender a requerida performance de curto-circuito do transformador.

O comprador é solicitado a reconhecer formalmente que o “*design review*” do transformador tenha sido conduzido com resultados positivos pelas diretrizes do Anexo A. Neste sentido uma apropriada declaração conjunta de ser assinada entre fabricante e comprador.

A assinatura do comprador não exime o fabricante de qualquer obrigação com relação à ausência de não conformidades e na capacidade do transformador em objeto de resistir aos efeitos dinâmicos de curto-circuito em conexão com as condições de operação especificadas.

A informação fornecida ao fabricante na ocasião do “*design review*” permanece como propriedade intelectual do fabricante e deve ser mantida confidencial.

5.0 - CONCLUSÃO

Dentro da proposição deste trabalho em provocar o debate sobre a capacidade de transformador em suportar os esforços dinâmicos de curto-circuito, pode-se verificar que mesmo antes do novo anexo A da IEC 60076-5:2006, os fabricantes de transformadores já utilizavam práticas em seu dimensionamento e modelagem capazes de garantir a suportabilidade as solicitações dinâmicas de curto-circuito. Observou-se também que em alguns casos, o ponto vulnerável do transformador passa a ser seus componentes internos conectados ao transformador.

O novo Anexo A da IEC 60076-5 – 2006 confirma a prática de “*design review*” como sendo a melhor maneira de se avaliar um transformador quanto a sua capacidade de suportar curto-circuito, tendo em vista o custo elevado da realização do ensaio em laboratório e o risco de que este ensaio provoque algum dano não identificado na inspeção visual e ensaios posteriores, define ainda como se avaliar o projeto de um transformador por comparação com outro projeto de referência, define parâmetros de compressão, define como se considerar um transformador semelhante a outro, além de fornecer um roteiro e tabelas para coletar as informações de projeto, para melhor permitir sua comparação e avaliação. Este novo anexo A, vem a confirmar e melhorar a prática de “*design review*” já existente em algumas concessionárias no Brasil.

Uma vez que a prática de “*design review*” é recente no Brasil, provavelmente, muitos transformadores não passaram por uma verificação conjunta entre fabricante e comprador, para avaliar a capacidade real de suportar curto-circuito. Frente a retomada do crescimento do Sistema Elétrico e ao fato de se ter no Brasil uma grande quantidade de transformadores com vida útil avançada, isso muito provavelmente indica que pode existir uma quantidade de transformadores que podem estar vulneráveis aos esforços de curto-circuito.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEC 60076-5:2006 , Power Transformers – Part 5: Ability to Withstand Short Circuit.
- (2) NBR 5356-5:2007– Transformadores de Potência. – Capacidade de resistir ao curto-circuito
- (3) CIGRE Working group 12.22 “Guidelines for conducting “design review”s for transformers 100 MVA and 123 kV and above” Publicaton 204- August 2002
- (4) CIGRE Working group 12.19 “The short circuit performance of power transformers” Publicaton 209 - June 2002

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Eng° Andre Vita

Universidade Gama Filho

Empresa: FURNAS Centrais Elétricas S.A. desde 1988

Departamento de Engenharia Elétrica - DEL.E

Divisão de Engenharia de Equipamentos Elétricos - DEQE.E

Membro Individual CIGRE - Brasil