



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

GSE 20
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS – GSE

INTERAÇÃO TRANSITÓRIA ENTRE TRANSFORMADORES E O SISTEMA ELÉTRICO: NOVOS REQUISITOS PARA A ESPECIFICAÇÃO

Antonio Roseval F. Freire *
Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF

Representando o Grupo de Trabalho JWG A2/C4-03 do Cigré Brasil
“Interação Transitória entre Transformadores e o Sistema de Potência”

RESUMO

Um aumento generalizado das falhas dielétricas de transformadores no sistema de transmissão brasileiro motivou a formação de um grupo de estudos conjunto JWG A2/C4-03 do Cigré Brasil. Este grupo foi encarregado de analisar e discutir os diferentes tipos de interação transitória entre os transformadores e outros componentes dos sistemas de transmissão. A finalidade é contribuir para uma melhoria da confiabilidade através de propostas de revisão das especificações técnicas e dos critérios de planejamento e de operação do sistema elétrico, tendo como base os resultados de estudos detalhados de transitórios eletromagnéticos.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores, Transitórios de Manobra, Confiabilidade, Interação Transitória, Especificação.

1.0 - INTRODUÇÃO

Durante anos foram utilizados programas para simulação de transitórios eletromagnéticos para calcular sobretensões nos sistemas e para gerar os dados necessários para uma coordenação de isolamento otimizada, com base nos valores máximos dessas sobretensões. Estes estudos definem os níveis de isolamento necessários, que são então incluídos nas especificações técnicas. Os transformadores são submetidos aos ensaios dielétricos em laboratório, com formas de onda padronizadas, para comprovar o atendimento às especificações.

Nos últimos anos algumas falhas de transformadores devidas à interação com o sistema de potência têm sido relatadas pelos membros dos comitês de estudos A2 e C4 (1), (2), (3). Esses relatos motivaram a formação de um grupo de estudos conjunto para estudar e analisar o problema, denominado JWG A2/C4-03 “Interação Elétrica Transitória entre Transformadores e o Sistema de Potência”. O grupo iniciou suas atividades em maio de 2005 e é composto de cerca de 30 membros representantes de empresas de geração, transmissão e distribuição, fabricantes de transformadores, operador nacional do sistema, universidades e centro de pesquisas. O principal objetivo do grupo é aumentar a compreensão do fenômeno oscilatório resultante da interação entre os transformadores e o seu ambiente elétrico, iniciado após algum evento transitório no sistema de potência, e desenvolver recomendações para a melhoria da confiabilidade através de uma revisão das normas técnicas, especificações de transformadores e dos critérios de planejamento e operação dos sistemas elétricos.

As análises já realizadas pelo grupo permitem concluir que os valores máximos das sobretensões, embora muito importantes, não são apenas os únicos fatores de risco para o transformador. Também devem ser levados em conta os efeitos do espectro de frequências da onda de tensão transitória resultante da excitação oscilatória envolvendo a interação de cada equipamento com o sistema. Algumas excitações oscilatórias, mesmo de baixa amplitude, podem ocorrer em frequências que interajam com uma parte dos enrolamentos dos transformadores,

com uma amplificação local devido a ressonância, causando solicitações mais elevadas que as aplicadas nos ensaios dielétricos em laboratório. Como os transformadores são constantemente expostos aos eventos transitórios tais como descargas atmosféricas, operações de manobra, curtos-circuitos, etc., as ressonâncias em pontos singulares do enrolamento podem solicitar continuamente o seu isolamento levando a uma falha, algumas vezes horas após a ocorrência dos eventos.

Os relatos das experiências dos membros do grupo e as simulações realizadas para vários arranjos de subestações em diferentes níveis de tensão, frequentemente utilizados no Brasil, forneceram a base para as discussões. As normas técnicas e especificações de transformadores precisam ser reavaliadas para estabelecer um compromisso entre a confiabilidade operacional do equipamento e a necessária clareza e imparcialidade para permitir uma melhor avaliação dos projetos de diferentes fabricantes.

O objetivo deste informe técnico é apresentar o trabalho desenvolvido pelo grupo até o presente momento, incluindo as principais discussões e conclusões já obtidas, um breve relato da experiência das empresas brasileiras sobre as falhas de transformadores relacionadas com transitórios no sistema, os estudos de transitórios eletromagnéticos realizados para avaliar as faixas de frequências que aparecem durante manobras nas subestações de diferentes níveis de tensão e arranjos físicos, uma apresentação dos resultados preliminares das simulações de manobras de disjuntores em subestações de diferentes empresas, até o nível de tensão de 500kV, e uma discussão sobre os novos requisitos para as especificações de transformadores.

2.0 - EXPERIÊNCIA DAS EMPRESAS

Algumas falhas de transformadores importantes ocorreram no sistema de transmissão brasileiro nos últimos dez anos. Em alguns casos, não foi obtido um diagnóstico claro, mas as evidências apontam para as operações de manobra como a causa mais provável. A análise dessas ocorrências motivou o desenvolvimento de simulações de transitórios eletromagnéticos em larga escala com o objetivo de quantificar não apenas a amplitude, mas principalmente as faixas de frequências típicas das tensões transitórias de alta frequência nos terminais dos transformadores. Essas tensões são geradas, por exemplo, nas manobras de energização de transformadores em vazio, em subestações de diferentes configurações e níveis de tensão.

Caso 1 : Falhas dielétricas não explicadas de dois autotransformadores de 500/345/13,8kV – 400MVA, com intervalo de poucos dias, em fevereiro de 1995, levou a empresa a revisar sua visão tradicional quanto à confiabilidade dos transformadores. Após exaustivas análises, chegou-se a um consenso que a causa mais provável das falhas, embora não comprovada, foi a ocorrência de sobretensão interna devido aos chaveamentos frequentes na subestação. Este fato mostrou a necessidade de iniciar discussões com o fabricante sobre o ambiente elétrico e projeto do equipamento, com base num melhor conhecimento da interação dos transformadores com o sistema. Algumas ações foram tomadas com esta visão, incluindo estudos e simulações de transitórios eletromagnéticos com modelos mais adequados para os transformadores e medições de campo para subsidiar novas especificações e para reproduzir os distúrbios no sistema (1).

Caso 2 : Durante manobras de energização em vazio de um transformador de 230/138/13,8kV – 55MVA, através do disjuntor de transferência da subestação de 230kV, ocorreram descargas para o tanque nas buchas de 13,8kV provocando curtos-circuitos para a terra. Os terminais de 13,8kV dos transformadores estavam operando abertos e sem pára-raios. A análise das ocorrências mostrou que a frequência dominante das tensões transitórias calculadas nos terminais de 230kV do transformador é muito próxima de uma das frequências de ressonância do enrolamento, que corresponde ao maior fator de amplificação nos terminais de 13,8kV. As frequências de ressonância foram determinadas através de ensaios de resposta em frequência no campo (2).

Caso 3 : Foram registradas falhas dielétricas em unidades monofásicas de diferentes fabricantes desde a entrada em operação dos bancos de transformadores elevadores de 16/16/500kV – 555MVA, em 1988. Foram constatados curtos-circuitos entre espiras no enrolamento de AT, entre os enrolamentos de AT e MT, e dos enrolamentos de MT para a terra. Simulações digitais para calcular as tensões transitórias nos terminais de 500kV resultantes de manobras de disjuntores e chaves seccionadoras, e medições de resposta em frequência no campo, mostraram que as frequências dominantes das tensões transitórias são muito próximas das frequências de ressonância dos enrolamentos de algumas unidades, que levam a um elevado fator de amplificação nos terminais de 16kV. Simulações e medições de campo das tensões transitórias apresentaram faixas de frequências muito próximas (3).

Caso 4 : Num grupo de doze autotransformadores monofásicos de 765/345/20kV – 500MVA, de diferentes fabricantes e tempos em operação, quatro unidades falharam num período de seis meses no ano de 2005, levando a empresa a conduzir uma detalhada investigação para identificar as possíveis causas. Durante a investigação uma nova falha ocorreu em abril de 2006. Esta subestação tem nove bancos de capacitores de 200Mvar cada que foram gradualmente incluídos no setor de 345kV devido à necessidade de controle de tensão na área do sistema. O elevado número de manobras dos bancos de capacitores foi considerado como uma

possível causa para tais falhas. Entretanto, medições em campo e simulações digitais não mostraram qualquer relação com as falhas (3).

Caso 5 : Em 1994 ocorreu uma falha num transformador elevador de 13,8/550kV – 375MVA devido aos transitórios muito rápidos associados com operações de chaves seccionadoras numa subestação isolada a gás de 550kV. A análise realizada por uma equipe composta de engenheiros da empresa, fabricante e centro de pesquisas, com o suporte de simulações digitais, medições em campo e análise da suportabilidade interna da isolação do transformador, confirmou que os transitórios muito rápidos foram a causa fundamental para a falha. A falha envolveu principalmente o isolamento entre espiras, entre discos próximo do terminal de AT e o isolamento do duto principal entre os enrolamentos de AT e MT (3).

Caso 6 : Em 1988 alguns minutos após um curto-circuito fase-terra no sistema de transmissão em 460kV, seguido de religamento automático, ocorreu uma falha dielétrica em uma fase de um banco de transformadores de 550/460/13,8kV – 300MVA. A inspeção interna concluiu que houve uma descarga elétrica entre contatos do comutador em carga. A medição de resposta em frequência no enrolamento de regulação mostrou uma ressonância significativa na faixa de 4 a 6kHz, que é típica de surtos de manobra. Então a falha do transformador foi considerada como uma consequência direta do distúrbio mencionado (3).

3.0 - SIMULAÇÕES DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS

Neste item são apresentados os resultados de algumas investigações realizadas pelos representantes das empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e do centro de pesquisas, envolvendo a energização de transformadores em diferentes níveis de tensão e arranjos de subestações, com o objetivo de determinar a magnitude das tensões transitórias de alta frequência e as faixas de frequências associadas.

3.1 Modelos utilizados nas simulações

Uma simulação de transitórios eletromagnéticos requer uma representação válida dos componentes do sistema para uma faixa de frequências específica, que usualmente corresponde ao fenômeno transitório em análise. Uma representação aceitável de cada componente para uma faixa de frequências muito ampla é muito difícil ou até impraticável para alguns componentes (4). Neste trabalho, o objetivo dos estudos de transitórios eletromagnéticos é quantificar a magnitude e a faixa de frequências típica das tensões transitórias de alta frequência nos terminais dos transformadores geradas pelas operações de energização em vazio. De acordo com a referência (5) esses estudos podem ser classificados como transitórios rápidos e as frequências envolvidas podem variar de 10kHz até 3MHz. Para tal, as recomendações de modelagem da referência (4) são em geral aplicáveis, porém no caso específico desse estudo, foram considerados diferentes modelos para os transformadores buscando conhecer a sua influência nos resultados. Em todos os estudos de transitórios, as simulações digitais foram desenvolvidas utilizando o “Alternative Transient Program” (ATP) (6), considerando os seguintes modelos para os transformadores :

- I) Capacitância concentrada para a terra : Este modelo é tradicionalmente aplicado em estudos de coordenação de isolamento;
- II) Rede de capacitâncias concentradas : Um modelo mais preciso fornecido pelo fabricante, considerando as capacitâncias entre enrolamentos, dos enrolamentos para o núcleo e dos enrolamentos para a terra, bem como capacitâncias das buchas;
- III) Modelo equivalente com dependência da frequência (“black box”) : Uma rede equivalente RLC obtida de medições de resposta em frequência no campo (curva de admitância no domínio da frequência). Este modelo é factível quando as respostas em frequência estão disponíveis. O modelo “black box” foi obtido utilizando uma implementação recente da rotina “Vector Fitting” (7), (8), chamada “Matrix Fitting”, ou com o software SINTNET (9).

3.2 Estudo de Casos – Descrição e Resultados

3.2.1 Descrição

Estudo 1 – CEMIG : A subestação Ouro Preto II tem um arranjo em disjuntor e meio com três entradas de linhas de transmissão de 345kV. Os autotransformadores de 500/345/13,8kV – 400MVA são conectados diretamente ao barramento e são manobrados por qualquer um dos disjuntores de linha. A distância entre os disjuntores e os autotransformadores varia de 60 a 120m. Neste estudo, os autotransformadores foram energizados por diferentes disjuntores, considerando ou não a presença de um banco de reatores de 345kV instalado em uma das entradas de linha, para controle de tensão. Este reator está a cerca de 200m do autotransformador mais próximo. Nenhum dos disjuntores tem resistor de pré-inserção.

Estudo 2 – CHESF : A subestação Campina Grande II 230kV tem um arranjo em barra principal e auxiliar, com dez entradas de linhas de transmissão e seis conexões de transformadores. As simulações foram realizadas para a energização em vazio de um transformador de 230/138/13,8kV – 55MVA, através do disjuntor próprio do transformador (20m de distância) e do disjuntor de transferência (128m de distância).

Estudo 3 – CHESF : A subestação Luiz Gonzaga 500kV tem um arranjo em disjuntor e meio com barramentos de 202m, seis entradas de linhas de transmissão e três “links” de cerca de 400m para a interligação com a UHE Luiz Gonzaga. A usina tem três bancos de transformadores elevadores de 16/16/500kV – 555MVA. As simulações foram realizadas para a energização simultânea dos transformadores elevadores com os respectivos “links”.

Estudo 4 – FURNAS : O setor de 345kV da subestação Tijuco Preto tem um arranjo em disjuntor e meio com barramentos de 700m, dez entradas de linhas de transmissão, quatro bancos de autotransformadores e quatro ilhas de bancos de capacitores em derivação. Cada autotransformador de 765/345/20kV – 500MVA está localizado a cerca de 190m dos dois disjuntores que podem ser utilizados para a sua manobra. As simulações foram realizadas para a energização em vazio dos bancos de autotransformadores de dois diferentes fabricantes, com e sem a representação do resistor de pré-inserção de 400Ω (R). Os bancos de autotransformadores de cada fabricante foram representados por dois modelos diferentes.

Estudo 5 – CEPEL : A subestação de 230kV analisada tem um arranjo típico em barra dupla com disjuntor simples, com seis linhas de transmissão e um banco de autotransformadores de 345/230/13,8kV – 225MVA. O autotransformador foi energizado, pelo lado de 230kV, considerando duas configurações básicas da subestação : Primeiro, manobrando o disjuntor que conecta o autotransformador diretamente aos dois barramentos principais, localizado a cerca de 60m do autotransformador; segundo, manobrando o disjuntor de interligação de barras, que está localizado a cerca de 180m do autotransformador. Os dois disjuntores não são equipados com resistores de pré-inserção.

Estudo 6 – ELETROSUL : A subestação Campos Novos 525kV tem um arranjo em disjuntor e meio com quatro entradas de linhas de transmissão e duas conexões de bancos de autotransformadores de 525/230/13,8kV, de 672MVA e 336MVA. As simulações foram realizadas para a energização em vazio dos autotransformadores pelo disjuntor de barra (BCB), pelo disjuntor de interligação (CCB), com e sem resistor de pré-inserção de 800Ω (R). Os bancos de autotransformadores foram modelados por uma capacitância de 3nF que representa a impedância do banco de 672MVA numa frequência de 150kHz.

Estudo 7 – CTEEP : A subestação Aparecida 230kV tem arranjo em anel, duas entradas de linhas de transmissão e três bancos de transformadores de 230/88kV – 60MVA. Foi analisada a energização do terceiro banco pelo lado de 230kV, que está a uma distância de 72m do disjuntor manobrado. Foram realizadas medições de campo e simulações com o ATP, com os transformadores representados por capacitâncias concentradas para a terra de 2nF, 3nF e 4nF.

Estudo 8 – ELETRONORTE : A subestação Tucuruí I 500kV tem um arranjo em disjuntor e meio com três linhas de transmissão e seis “links” de cerca de 1000m para interligação com doze geradores da UHE Tucuruí I. Foram realizadas simulações para a energização em vazio de um banco de autotransformadores de 550/230/13,8kV – 450MVA que está a uma distância de 170m do disjuntor manobrado.

3.2.2 Resultados

As Figuras 1 a 10 apresentam resultados típicos dos estudos realizados e a Tabela 1 apresenta um resumo dos principais parâmetros e valores obtidos nas simulações.

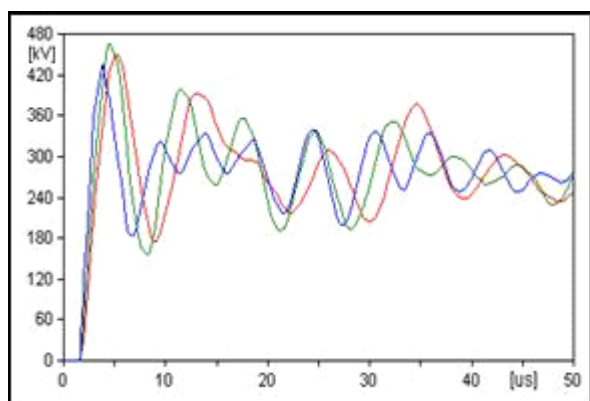


FIGURA 1 – Estudo 1 com Modelo I (verde), Modelo II (vermelho), Modelo III (azul)

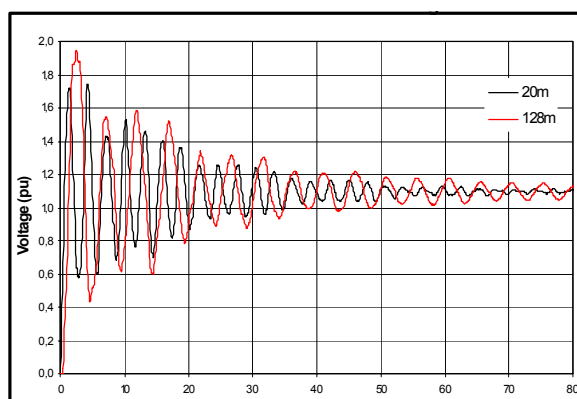


FIGURA 2 – Estudo 2 com distâncias do disjuntor de 20m (preto) e 128m (vermelho)

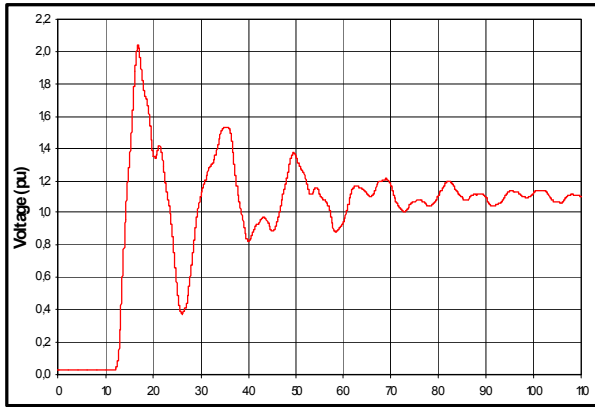


FIGURA 3 – Estudo 3, distância do disjuntor 540m

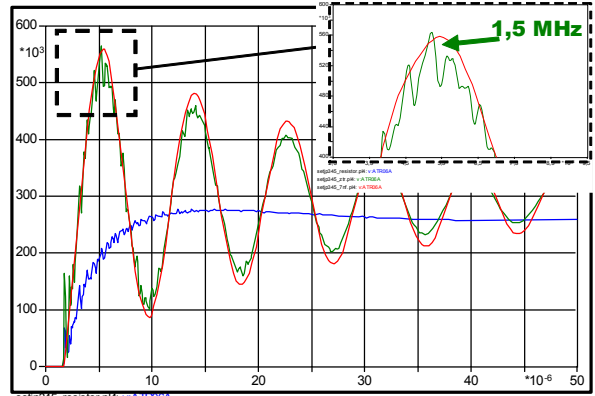


FIGURA 4 – Estudo 4 com modelos : I sem R (vermelho), III sem R (verde), III com R (azul)

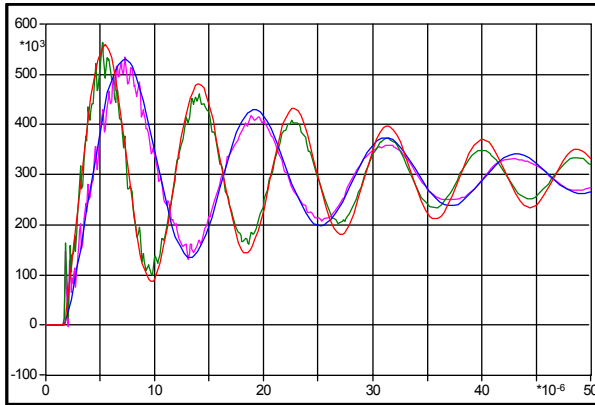


FIGURA 5 – Estudo 4, Fabricante A mod I (vermelho) e mod III (verde), Fabricante B modelo I (azul) e mod III (violeta)

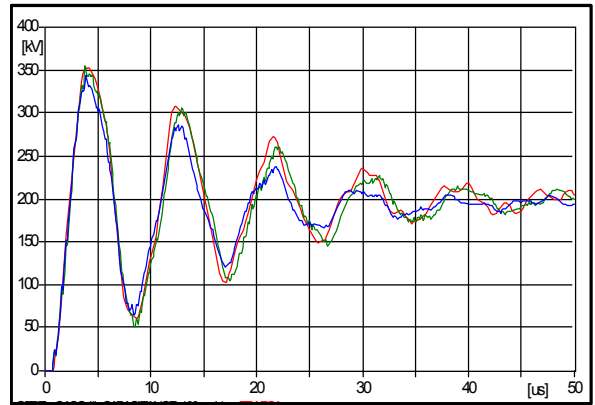


FIGURA 6 – Estudo 5, modelo I (azul), modelo II (verde) e modelo III (vermelho)

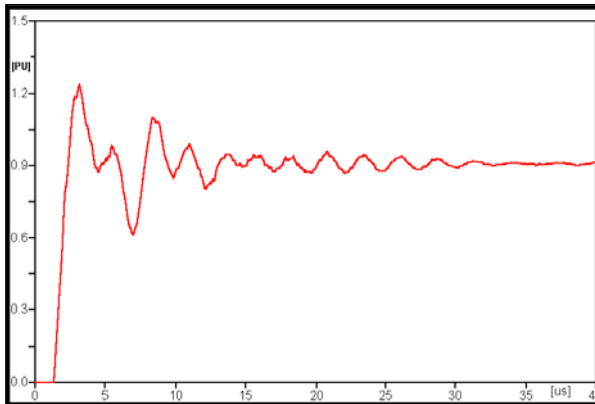


FIGURA 7 – Estudo 7, Simulação com distância de 72m

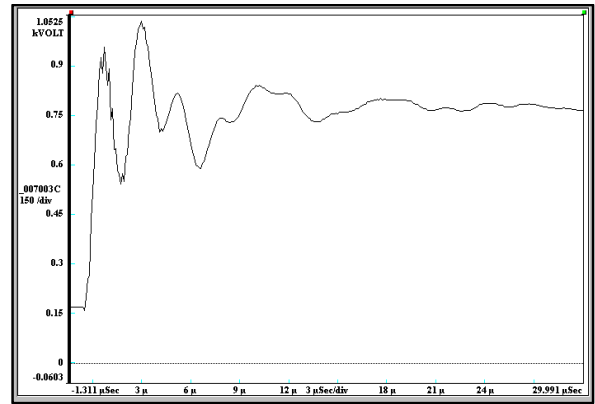


FIGURA 8 – Estudo 7, Medição com distância de 72m

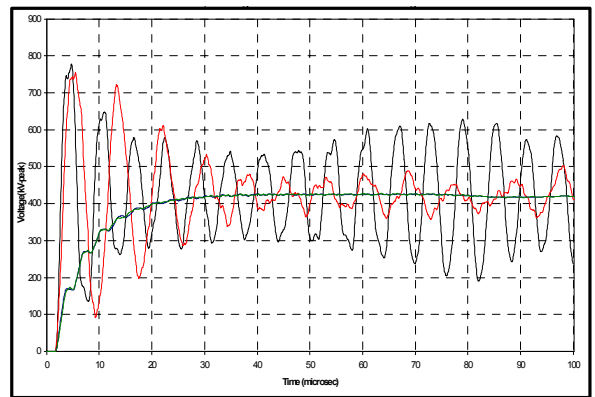


FIGURA 9 – Estudo 6, BCB sem R (preto) e com R (azul), CCB sem R (vermelho) e com R (verde)

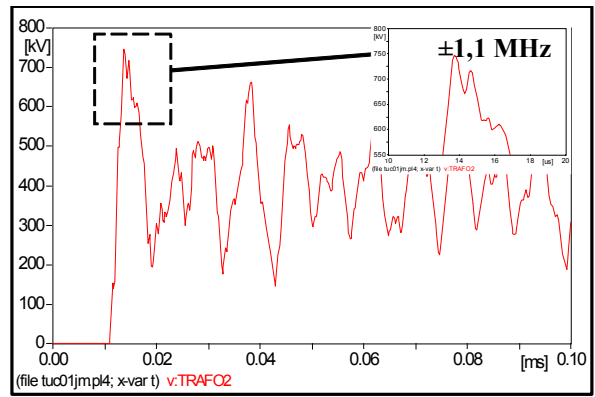


FIGURA 10 – Estudo 8, com distância de 170m

Tabela 1 – Resumo dos resultados das simulações

Estudo	Nível de Tensão (kV)	Arranjo da subestação	Equipamento manobrado	Distância do disjuntor (m)	Tensão máxima (pu)	Freqüência Dominante (kHz)	Modelo (item 3.1)
1	345	Disjuntor e meio	Autotransformador 500/345/13,8 kV – 400 MVA	123	1,60	100	I
					1,65	140	II
					1,54	180	III ⁽¹⁾
2	230	Barra principal e auxiliar	Transformador 230/138/13,8 kV – 55 MVA	20	1,75	340	I
				128	1,95	210	I
3	500	Disjuntor e meio	Banco de Transformadores 500/16/16 kV – 555 MVA	540	2,04	60 -70 140 -170	I
4	345	Disjuntor e meio	Autotransformador 765/345/20 kV – 500 MVA Fabricante A	190	1,98	117	I ⁽³⁾
				190	2,00	117	III ⁽²⁾
			Autotransformador 765/345/20 kV – 500 MVA Fabricante B	190	1,89	85	I ⁽³⁾
				190	1,90	85	III ⁽²⁾
5	230	Barra dupla com disjuntor simples	Autotransformador 345/230/13,8 kV – 225 MVA	60	1,94	194	I ⁽³⁾
				60	1,93	194	II
				60	1,93	193	III ⁽²⁾
				180	1,88	117	I ⁽³⁾
				180	1,88	117	II
				180	1,87	118	III ⁽²⁾
6	500	Disjuntor e meio	Autotransformador 525/230/13,8 kV – 672 MVA	186	1,81	157	I
				186	1,76	122	I
7	230	Anel	Banco de Transformadores 230/88 kV – 60 MVA	72	1,24	180 380	I
8	500	Disjuntor e meio	Banco de Transformadores 525/230/13,8 kV – 450 MVA	170	1,84	100	I

⁽¹⁾ Utilizando “Vector Fitting”

⁽²⁾ Utilizando “SINTNET”

⁽³⁾ Capacitância equivalente obtida do ensaio de resposta em freqüência para a freqüência dominante

3.3 Discussão dos Resultados das Simulações

Os resultados obtidos nas simulações realizadas para a energização de transformadores, considerando diferentes níveis de tensão e arranjos de subestações, mostram que a sobretensão máxima está abaixo do nível de proteção dos pára-raios e da suportabilidade dielétrica da isolamento dos transformadores, atingindo um valor máximo de 2,04pu. As freqüências dominantes das tensões transitórias estão contidas na faixa de 40kHz a 200kHz, independentemente do nível de tensão e do porte ou do arranjo físico da subestação. Apenas nos casos pouco frequentes de arranjo da subestação em anel ou com pequenas distâncias entre o disjuntor e o transformador, foram obtidas freqüências dominantes acima de 200kHz. As simulações também indicaram que alguns fatores apresentam uma influência importante nas tensões transitórias calculadas, tais como a presença de resistor de pré-inserção do disjuntor, a distância elétrica entre o disjuntor e o transformador e a capacitância equivalente do transformador. Para distâncias maiores, as tensões oscilatórias apresentam um espectro de freqüências mais baixas, considerando o mesmo modelo de transformador. A aplicação de disjuntores com resistor de pré-inserção é uma alternativa para reduzir a magnitude das sobretensões nos terminais dos transformadores e para aumentar o amortecimento da tensão.

A aplicação das rotinas SINTNET e “Vector Fitting” para a modelagem do transformador levou a resultados mais

precisos com os transitórios de tensão apresentando uma atenuação relativamente mais acentuada e menores amplitudes proporcionados pelas resistências do circuito equivalente RLC. Também foi observado que o modelo com capacitância concentrada para a terra pode apresentar resultados semelhantes se o valor da capacitância equivalente for obtido do ensaio de resposta em frequência, para uma frequência igual à dominante, uma vez que neste caso a componente dominante será bem reproduzida. As outras componentes, por consequência da simplificação do modelo, poderão não ser bem reproduzidas.

4.0 - REQUISITOS PARA AS ESPECIFICAÇÕES

No que concerne à especificação dos transformadores, os resultados das simulações de transitórios eletromagnéticos e as análises das falhas em serviço, evidenciam a importância de um melhor conhecimento do comportamento do transformador na faixa de frequências de 40kHz a 200kHz. Solicitações de tensão importantes nesta faixa de frequências podem não ser bem representadas pelos ensaios dielétricos com as formas de onda padronizadas, ou mesmo levadas em conta durante o projeto do equipamento, o que pode contribuir para as falhas e para a perda de confiabilidade. Diante desta constatação, o grupo vem discutindo e analisando alternativas para formular uma proposta de inserção nos processos de planejamento, projeto e especificação, dos requisitos relacionados com as tensões transitórias de alta frequência. A Figura 11 apresenta um fluxograma contendo um resumo dos principais aspectos envolvidos e que estão em discussão no grupo.

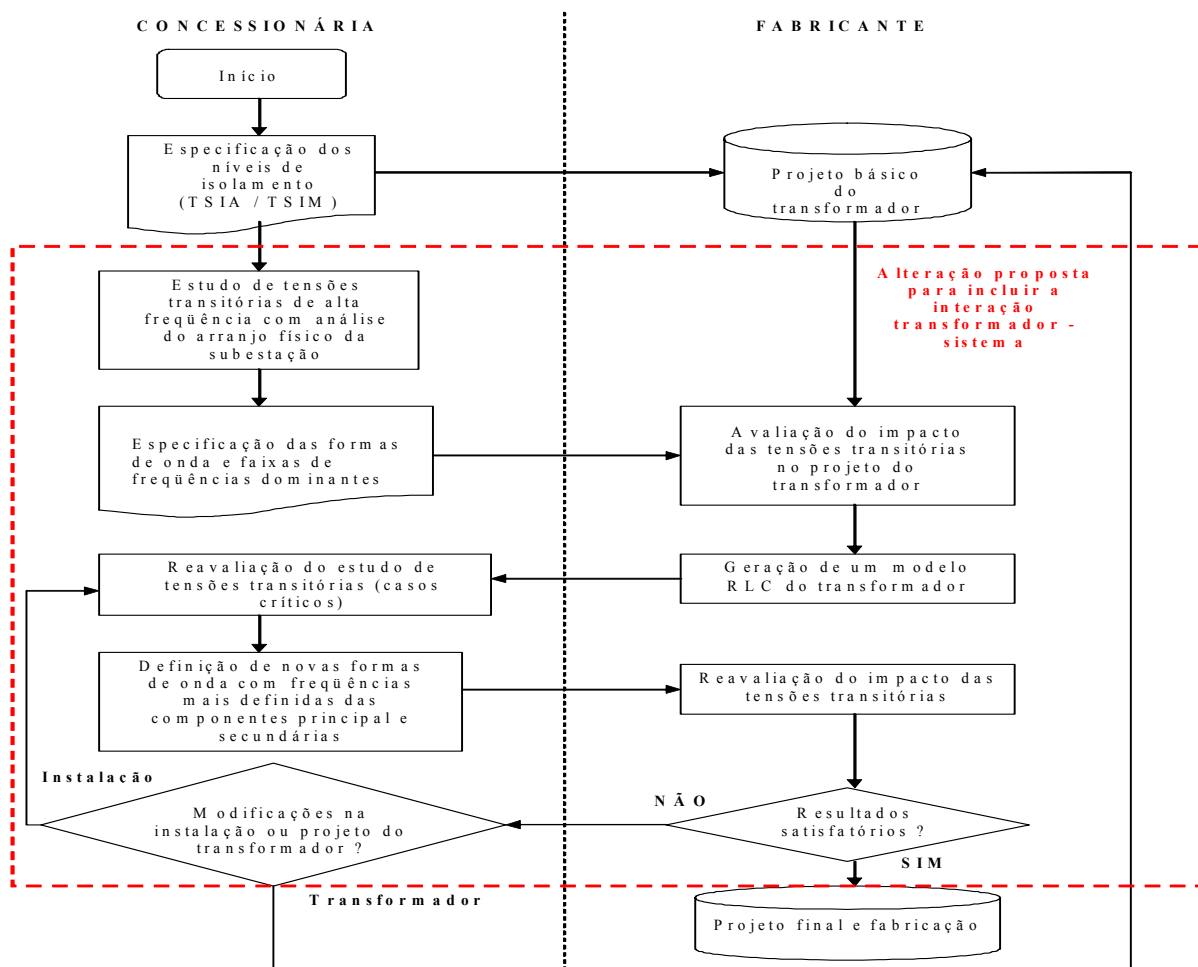


FIGURA 11 – Fluxograma proposto para o processo

Além das informações convencionais, nas especificações técnicas seriam inseridas as formas de onda calculadas em estudos de tensões transitórias de alta frequência, mais representativas das solicitações aplicadas aos transformadores, e as respectivas faixas de frequências dominantes, calculadas a partir de capacitâncias típicas e distâncias projetadas da subestação. Seria também solicitado ao fabricante um modelo do transformador, do tipo RLC equivalente com dependência da frequência. Este modelo deve representar o transformador na faixa de frequências de interesse, permitindo por parte da concessionária um cálculo mais preciso das tensões transitórias nos seus terminais. Estas tensões mais precisas permitiriam ao fabricante, com base no conhecimento detalhado do projeto, reavaliar as solicitações impostas pelas tensões transitórias nos pontos mais críticos da estrutura da isolamento interna do transformador e a suportabilidade da isolamento nestes pontos. Esta reavaliação pode levar a um processo de decisão entre soluções que implicam na modificação da instalação ou na alteração do projeto do

transformador. Vários aspectos podem influir nesta decisão tais como custos, cronograma e prazo de entrega, formatação dos contratos, etc., considerando que a modificação efetiva do comportamento do transformador em função da frequência pode requerer alterações no seu projeto básico.

Para a validação ou reavaliação do modelo RLC equivalente, poderiam ser utilizados os resultados dos ensaios de resposta em frequência e repartição impulsiva, que normalmente são realizados durante os testes de tipo em laboratório.

5.0 - CONCLUSÃO

O informe apresentou a investigação desenvolvida até o momento pelo grupo de estudo JWG A2/C4-03, do Cigré Brasil, para estudar a interação elétrica transitória entre transformadores e o sistema de potência. Foram realizadas várias simulações de transitórios eletromagnéticos em ATP para a energização de transformadores, considerando diferentes níveis de tensão e arranjos de subestações, e os resultados obtidos evidenciaram que as normas técnicas e especificações de transformadores precisam ser reavaliadas no sentido de melhor caracterizar as solicitações na faixa de frequências dominantes de 40kHz a 200kHz, para que sejam levadas em conta durante o projeto do equipamento. Nesta faixa de frequências os riscos de falhas pela ocorrência de interação transitória do transformador com o sistema depende das características intrínsecas do projeto do transformador e das características, do arranjo físico e da configuração de operação da subestação.

Uma das principais tarefas do grupo será encontrar uma forma razoável de utilizar os resultados dos estudos de transitórios para propor uma revisão das especificações técnicas de transformadores e das práticas de “design review” e uma melhoria dos ensaios dielétricos padronizados para torná-los mais representativos das condições de serviço.

É relevante destacar os benefícios das análises conjuntas envolvendo diferentes experiências de empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, fabricantes, universidades, centros de pesquisa e operador do sistema, como o trabalho que vem sendo desenvolvido pelo grupo, especialmente quando as soluções dependem não só do sistema de potência, mas também das características dos equipamentos.

Membros do JWG A2/C4-03 : Angélica da Costa O. Rocha (CEMIG) – Coordenadora; Alécio Barreto Fernandes (ONS); Álvaro Portillo (TRAFO-Consultor); Antonio Carlos S. de Lima (UFRJ); Antonio Roseval F. Freire (CHESF); Camilo Machado Jr. (ELETRONORTE); Carlos Ossamu Kajikawa (ELETROPAULO); Davi Sixel Arentz (FURNAS); Fernando Rodrigues Alves (CHESF); Francisco Salgado Carvalho (CEPEL); Gilson Machado Bastos (FURNAS); Guilherme Sarcinelli Luz (FURNAS); João Maria Fontoura Júnior (COPEL); José Carlos Mendes (ABB); José Francisco Lofrano de Oliveira (TRAFO); José Renato Torrens (WEG); José Toshiyuki Honda (ELETRONORTE); Luiz Henrique S. Duarte (CEMIG); Methodio Varejão de Godoy (CHESF); Roberto Asano Jr. (SIEMENS); Roberto Vaisman (CEPEL); Rogério Lima Tompson (CTEEP); Rogério Magalhães de Azevedo (CEPEL); Sebastião Otávio Moreira (CEMIG); Ulisses R. R. Massaro (ELETROSUL); Walter Carvalho Pereira (VONCKEL/DOBLE).

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ROCHA, A. C. O., et ali, “Análise das falhas dos autotransformadores da SE São Gotardo 2 – Enfoque na ressonância parcial de enrolamento”, GSI, XV SNPTEE, Foz do Iguaçu – PR, outubro de 1999.
- (2) FREIRE, A. R. F., PENA, M. C. M., “Estudo de Tensões Transitórias de Alta Frequência e Requisitos para a Especificação de Transformadores”, GSC, XVIII SNPTEE, Curitiba – PR, outubro de 2005.
- (3) LUZ, G. S., JWG A2/C4-03, “Discussion on Interaction between Transformers and the Power Systems”, Cigré International Symposium on Transient Phenomena in Large Electric Power Systems, Zagreb – Croatia, April 2007.
- (4) IEEE WORKING GROUP 15.08.09, “Modeling and Analysis of System Transients Using Digital Programs”, Piscataway, IEEE PES Special Publication, 1998.
- (5) CIGRE Working Group SC 33-02, “Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients”, Technical Brochure CE/SC GT/WG 02, 1990.
- (6) LEUVEN EMTF CENTER, “ATP – Alternative Transient Program – Rule Book”, Herverlee, Belgium, July 1987.
- (7) GUSTAVSEN, B., SEMLYEN, A., “Rational Approximation of Frequency Domain Responses by Vector Fitting”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, Iss. 3, pp. 1052-1061, July 1999.
- (8) GUSTAVSEN, B., “Application of Vector Fitting to High Frequency Transformer Modeling”, IPST 2003, New Orleans, USA.
- (9) AZEVEDO, R. M., JUNQUEIRA, A. J. S., “Programa Sintnet – Síntese de Redes para Modelagem de Equivalentes em Frequência – Método Cauet”, Relatório CEPEL 851/95 – DPP/TEC, 1995.