

GSC/015

21 a 26 de Outubro de 2001
Camminas - São Paulo - Brasil

GRUPO X

GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO (GSC)

SUBESTAÇÃO ELEVADORA 550 kV ISOLADA A GÁS SF6 SIMULAÇÕES DE VFT COMO SUPORTE NO PROJETO DE TRANSFORMADOR

P. Rohrbach

paula.rohrbach@ch.abb.com

ABB-High Voltage Technology
Suiça

M. Lacorte*

marta.lacorte@ch.abb.com

Suiça

J.C. Mendes

jose.mendes@br.abb.com

ABB Div de Transformadores
Brasil

C.M. Junior

camilo@eln.gov.br

Eletronorte
Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de modelagem de subestação isolamento a gás SF6 (GIS) e de transformador de potência de alta tensão para simulações integradas de tensões transitórias em EMTP.

São apresentados também os critérios de validação dos modelos da GIS, os resultados das simulações e as comparações com resultados de ensaios. Na sequência é apresentado o modelo do transformador para altas frequências. A modelagem integrada do conjunto GIS e transformador é aplicada nas simulações das sobretensões transitórias rápidas estabelecidas por manobras de desconectores em uma GIS de 550kV e os resultados principais são também apresentados.

PALAVRAS-CHAVES: Transitórios, Transitórios Rápidos, Análise de Transitórios, Modelamento, EMTP, Transformador.

1.0 INTRODUÇÃO

Um desconector padrão, de subestação blindada e isolada a SF6 (GIS), é projetado para manobrar uma pequena corrente capacitiva. Como a velocidade de contato é baixa, um grande número de reignições de arcos ocorre durante a operação de manobra. Cada reignição resulta, em consequência, sobretensões de altas frequências. Estas sobretensões de alta frequência são denominadas de tensões transitórias rápidas (VFT).

Por sua vez, estas tensões transitórias rápidas podem estabelecer solicitações dielétricas elevadas no enrolamento de um transformador, conectado à subestação blindada e isolada em SF6. Portanto o transformador deve ser projetado adequadamente para suportar estas solicitações dielétricas.

Simulações com o programa EMTP foram realizadas, considerando uma modelagem diferenciada e integrada do sistema de interesse. Para a validação do modelo, os resultados das simulações foram comparados com resultados de ensaios em laboratório de operações de manobras de desconector.

Este modelamento, combinado com um modelo interno de transformador, para altas frequências, foi utilizado para estimar as solicitações resultantes, estabelecidas pelas tensões transitórias rápidas atuantes no transformador.

É destacado também que a tensão transitória rápida é uma função da configuração atual da subestação blindada e isolada a SF6. Desta forma, para um transformador específico, a aplicação de análises e simulações envolvendo tensões transitórias rápidas pode contribuir de forma importante para o projeto adequado do enrolamento e isolamento interna do transformador.

No passado muita experiência foi obtida com VFTs (1), (2). Todavia, até o presente as simulações com associadas a VFTs foram focadas na Subestação

*Marta Lacorte, ABB High Voltage Technologies, marta.lacorte@ch.abb.com
Brown Boveri Strasse 5, 8050 Zurich, Switzerland

Blindada e Isolada à SF6 (GIS). Portanto, em relação à GIS o fenômeno é bem entendido e é considerado como um parâmetro no projeto destas subestações para o seu projeto.

O objetivo deste trabalho é mostrar os possíveis efeitos deste tipo de transitórios, em um transformador ligado à uma GIS, através da simulação integrada de VFT com um modelo de transformador para alta frequência. Desta forma o impulso transferido é simulado e determinado o impulso que solicita os enrolamentos do transformador.

O trabalho consiste de duas etapas:

1. Validação do modelo da GIS para simulações envolvendo VFT. O modelo da GIS foi ajustado através da comparação entre resultados das simulações e ensaios.
2. Simulações com o modelo da GIS ligado com o modelo de alta frequência do transformador.

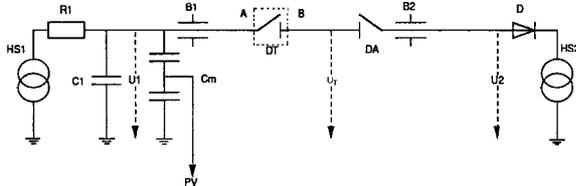
A contribuição importante deste trabalho é a obtenção de uma ferramenta importante que pode ser aplicada no projeto da isolação interna do transformador.

2.0 AJUSTE DO MODELO DE VFT DE ACORDO COM OS ENSAIOS DE LABORATÓRIO DO DESCONECTOR

De maneira a esclarecer este fenômeno é necessário caracterizar mais precisamente a sobretensão transitória rápida na GIS. Com este propósito e fundamentado em resultados de ensaios de laboratório, foi ajustado um modelo para simulações com EMTP. Este procedimento é apresentado e discutido neste artigo.

2.1 Descrição do ensaio

Um Ciclo de Ensaio de Manobras (Ciclo de Ensaio 1) de um segmento curto de barramento blindado foi realizado em laboratório de Alta Tensão utilizando-se o circuito de ensaio indicado na Figura 1 (3).



- HS1,HS2 Transformadores
 C1, R1,D Conjunto de Ensaio
 Cm Divisor de Tensão 130pF
 B1, B2 Buchas
 DT Desconector sob ensaio
 DA Desconector auxiliar

FIGURA 1 - Circuito para o Ciclo de Ensaio 1 (3)

A tensão do lado da fonte é $U1=U/\sqrt{3}=350\text{kV}$ e no lado da carga é $U2=-494\text{kV DC}$.

Com o desconector (DT) sob ensaio na posição aberta, o lado da carga foi carregado com tensão DC durante 1 minuto através do desconector auxiliar (DA). Antes do início da operação de fechamento, a fonte de tensão DC foi aberta através de DA.

Um registro da VFT característica é mostrada na Figura 2. O valor de pico da tensão transitória foi 1.5pu e o tempo até a crista foi menor que 200ns.

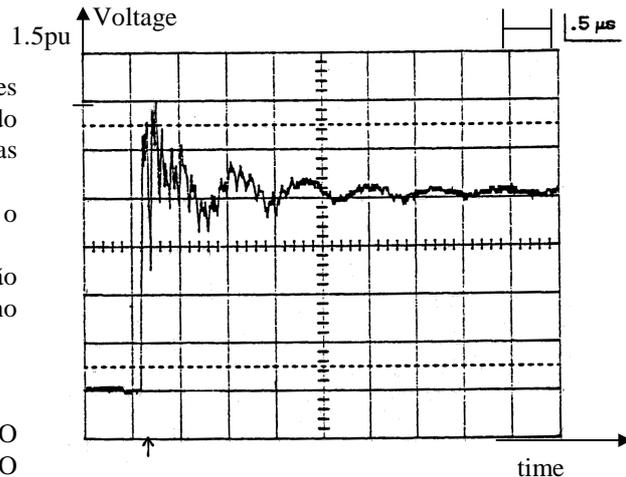


FIGURA 2 - Medição de VFT para Ciclo Ensaio 1

2.2 Modelagem em EMTP

O melhor modelo com resultados comparados aos resultados dos procedimentos de ensaios foram obtidos com o seguinte modelo:

- **Barramento da GIS** – é modelado como uma impedância de surto de 60Ω com o seu comprimento correspondente.
- **Bucha** – no ensaio foi utilizado bucha com isolador de porcelana. Portanto as blindagens internas foram modeladas através de um capacitor em série com um resistor. Este componente é um ponto de reflexão dentro da GIS, cujo efeito é considerado através da aplicação de duas impedâncias de surto para a bucha.
- **Capacitor e Divisor de Tensão** – eles são modelados em conjunto, conforme descrito em (4), como um circuito série de um indutor L_i e um capacitor C com uma parte resistiva R . Este circuito é em paralelo com a capacitância C_p .
- **Conexão entre Capacitor e a Bucha** – esta conexão é representada como uma impedância de surto de 500Ω com um comprimento correspondente de 7m. O circuito de simulação, equivalente ao circuito de ensaio da Figura 1, é mostrado na Figura 3.

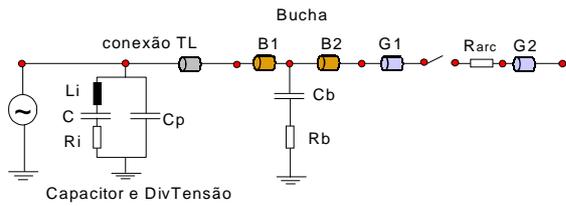


FIGURA 3 - Equivalent circuit for simulation

2.3 Comparação: simulação x medição

A curva obtida por meio da simulação em EMTP é mostrada na Figura 4. A avaliação seguinte mostra a similaridade com os resultados do ensaio (ver Figura 2):

- **Valor de Pico** – o valor de pico de 1.42pu foi obtido nas simulações. Na medição o valor de pico foi de até 1.5pu.
- **Valor Final** – o valor final das oscilações foi de aproximadamente de 1pu para o ensaio bem como para as simulações.
- **Tempo até o Pico** – o tempo até o pico foi de 230ns para a simulação e 200ns para o ensaio.

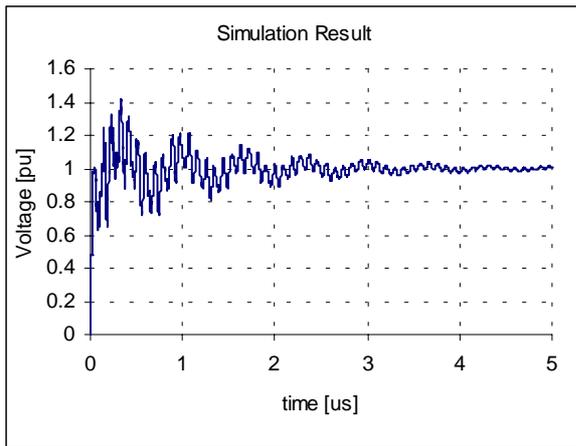


FIGURA 4 - Simulações de VFT com o EMTP

3.0 PROCEDIMENTO PARA A ESTIMAÇÃO DE SOLICITAÇÕES NO TRANSFORMADOR

3.1 Modelo de transformador para altas frequências

O transformador é modelado em detalhe. Os enrolamentos são representados através de capacitâncias (séries e paralelas), indutâncias (próprias e mútuas) e resistências (ôhmicas e adicionais equivalentes). A Figura 5 mostra, de forma esquemática, um modelo de alta frequência de um transformador (5).

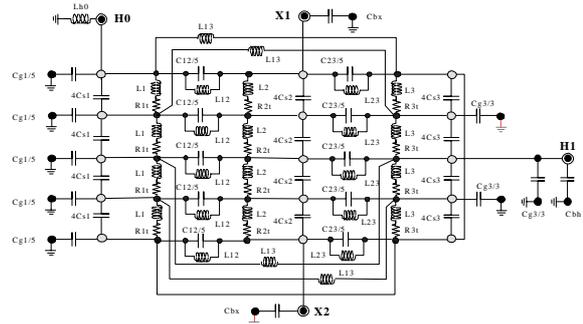


FIGURA 5 – Modelo de Transformador para Altas Frequências

3.2 Procedimento de análise integrada

O procedimento consiste em realizar simulações com EMTP integrando o modelo da GIS (seção 2.0) com o modelo do transformador para altas frequências (seção 3.0) (1).

As sobretensões nos terminais do lado de alta tensão (AT) do transformador, resultantes destas simulações, são então utilizadas para uma análise detalhada da isolamento interna dos enrolamentos do transformador através de simulações aplicando os programas adequados de projeto do fabricante do transformador. Assim, as solicitações locais na isolamento entre espiras e bobinas adjacentes dos enrolamentos podem ser determinadas e comparadas com os limites de suportabilidade da siolgação local correspondente. Efeitos de ressonâncias são também verificados diretamente considerando que a análise em frequência é incluída neste procedimento. Fundamentado nesta metodologia integrada, o projeto da isolamento dos enrolamentos do transformador pode ser verificado e correlacionado com valores mais específicos quando comparados àqueles associados aos transitórios reais do sistema elétrico.

4. APLICAÇÃO EM UM GIS EXISTENTE: UHE TUCURUÍ, ELETRONORTE - BRASIL

O procedimento foi aplicado a um dos transformadores elevadores da subestação elevadora da UHE TUCURUÍ ELETRONORTE, Brasil (5). Um diagrama unificar simplificado da subestação é apresentado na Figura 6.

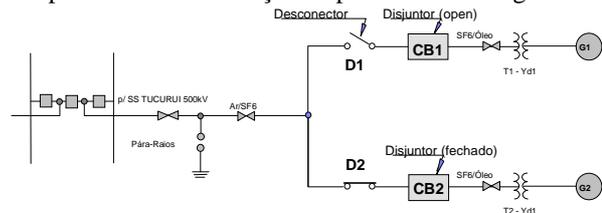


FIGURA 6 – Diagrama Unifilar Simplificado da UHE Tucuruí

O desconector D1 na Figura 6 é manobrado. O disjuntor CB1 está aberto e é, portanto, representado por seu capacitor de equalização. A tensão sob investigação é a tensão no transformador T2. Desta forma, o transformador T1 é modelado através de um capacitor equivalente, enquanto para o transformador T2 foi utilizado o seu modelo para altas frequências (Figura 5).

As tensões resultantes nos lados de alta e baixa tensões do transformador são apresentadas nas Figuras 7 e 8 respectivamente.

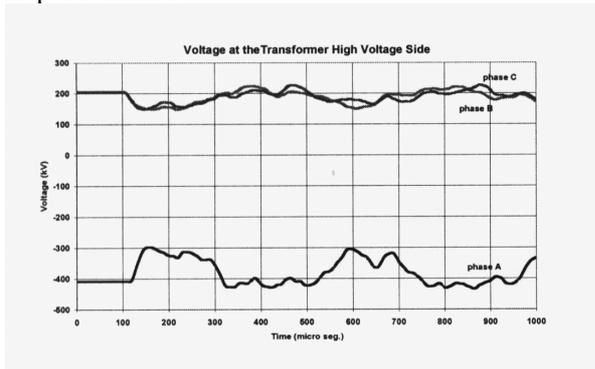


FIGURA 7 - Sobretensão VFT no Lado de Alta Tensão (AT) do Transformador T2

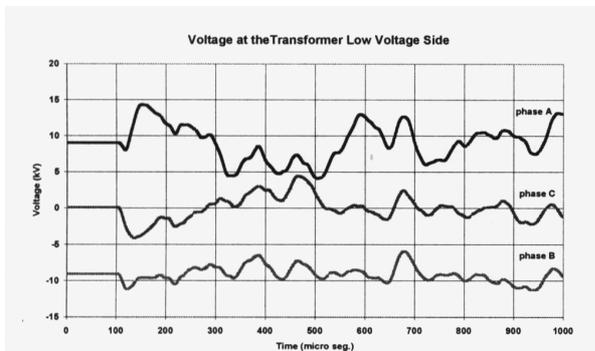


Figura 8 - Sobretensão VFT no Lado de Baixa Tensão (BT) do Transformador T2

A verificação do projeto da isolação interna dos enrolamentos do transformador elevador é então realizada, através da aplicação dos programas de projeto do fabricante, e utilizando as sobretensões VFTs resultantes das simulações com EMTP.

Para o presente caso e modelagens utilizadas, as análises das solicitações resultantes indicaram margens de segurança adequadas quando comparadas com as suportabilidades correspondentes da isolação dos enrolamentos do transformador de interesse.

5.0 CONCLUSÕES

O procedimento proposto é uma ferramenta efetiva e de utilidade na avaliação de solicitações estabelecidas por sobretensões tipo VFTs nos terminais de alta tensão (AT) e nos enrolamentos de um transformador ligado diretamente a uma GIS.

A análise destas solicitações de tensões transitórias, utilizando esta metodologia integrada de simulação do conjunto GIS e transformador, é recomendada para a verificação de coordenação de isolamento, melhorando e/ou ajustando a especificação do nível de isolamento e também para a verificação do projeto da isolação interna dos enrolamentos do transformador.

6.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) J.Meppelink, K. Diederich, "Very Fast Transients in GIS", *IEEE PES, New York, 1988*.
- (2) Cigré SC 15, "Recent research activity on the dielectric performance of SF6, with special reference to VFT's", *Cigré Paris-Session, 1988*.
- (3) IEC 1259, "Requirements for switching of bus-charging currents by disconnectors", *First edition, 1994-04*.
- (4) Zwicky, Zaengl, Knoth, "Transiente Vorgänge in Hochspannungskondensatoren", *Sonderdruck, SEV/VSE, Bd. 74, 1983, Nr. 3, pp.442-447, September 3-7, Lisbon*.
- (5) Mendes, Lacorte "ELETRONORTE - UHE Tucuruí PA Transformador Elevador Unid Reserva - Análise e Verificação da Coordenação de Isolamento", *ABB Brasil-Report, R IZBR99-0210, 1999-12-15*