



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GSI/10

**17 a 22 de outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**GRUPO X
SOBRETENSÕES, COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO E INTERFERÊNCIAS (GSI)**

CHAVE SECIONADORA GIS ALTERNATIVA EM COMBINAÇÃO COM DISJUNTOR DE GERADOR PARA CHAVEAMENTO DE TRANSFORMADOR ELEVADOR

Marta Lacorte Alfonso Albornoz
ABB High Voltage Technologies Ltd
Switzerland

RESUMO

Soluções alternativas para arranjos usualmente utilizados para conexão de grandes estações geradoras a subestações de alta tensão são sugeridas.

As vantagens alcançadas são apresentadas.

A solução discutida neste trabalho consiste da implementação de uma chave seccionadora projetada para executar manobras de transformadores em vazio. O desempenho da chave perante os fenômenos associados a manobras de um transformador em vazio são discutidos.

PALAVRAS-CHAVE

Transitórios rápidos, corrente de energização, corte de corrente, seccionadora, transformador, subestação.

1. INTRODUÇÃO

Em grandes usinas geradoras os geradores estão conectados aos transformadores elevadores por meio de no máximo um disjuntor de gerador. A ligação dos transformadores elevadores com o sistema elétrico é realizada na subestação de alta tensão através de um disjuntor e chaves seccionadoras.

Manobras de chaves seccionadoras são frequentemente relacionadas com transitórios de alta frequência. Tais transitórios de alta frequência podem ser perigosos para os enrolamentos dos transformadores. Como consequência extrema de tal fenômeno, em algumas subestações as chaves seccionadoras estão limitadas a operar sem tensão em ambos os terminais /1/. Essa restrição dificulta a operação da estação solicitando um número elevado de manobras dos equipamentos de alta cada um uma câmara de interrupção. As principais características da chave seccionadora alternativa são:

tensão, inclusive o desligamento de linhas e portanto necessidade de nova manobra de sincronismo.

A solução discutida neste trabalho consiste da implementação de uma chave seccionadora projetada para executar manobras de transformadores em vazio. O desempenho da chave perante os fenômenos associados a manobras de um transformador em vazio são discutidos. A solução apresentada neste trabalho tem a vantagem de oferecer uma solução definitiva e independente das características do transformador e da subestação. Juntamente com o disjuntor de gerador a chave seccionadora alternativa proporciona adicionalmente melhor proteção para o transformador e gerador. Como consequência, um aumento da confiabilidade e disponibilidade da estação é obtido.

A chave seccionadora alternativa é para ser implementada tanto em subestações elevadoras em associação com disjuntor de gerador como em subestações seccionadoras.

2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

A chave seccionadora alternativa é um equipamento de manobra projetado para realizar chaveamento otimizado de transformadores. A alta suportabilidade dielétrica entre os contatos evita a ocorrência de múltiplas reignições durante a manobra de abertura de transformadores. A alta precisão do mecanismo de acionamento garante a necessária precisão mecânica para aplicação de chaveamento controlado (“controlled switching”), eliminando assim altas correntes de energização (“inrush”) e efeitos associados, danosos para o transformador.

A chave seccionadora alternativa é composta de três compartimentos separados (um por fase), contendo

- Sistema de contatos independentes para corrente nominal e para extinção da corrente (contatos de arco).

- Ausência de isolamento sólido entre os contatos Utilização de gás SF6 como meio isolante.
- Pontos de observação para controle da posição e condição dos contatos por meio de endoscópio.
- Dimensões reduzidas.
- Mecanismo com alta precisão mecânica e baixa energia de atuação.
- Não sofre influência do meio ambiente.

Sendo a solução ótima para estações geradoras a combinação da chave seccionadora alternativa GIS com disjuntor de gerador, as características deste devem também ser mencionadas. São estas:

- Utilização de gás SF6 como meio extintor.
- Alta capacidade de condução da corrente de carga e corrente de curto-circuito.
- Alta capacidade de interromper as correntes de carga e de curto-circuito, sendo o curto no lado do gerador ou no lado de alta tensão sob condições anormais de operação tais como defasagem, oposição de fase, corrente com zeros atrasados, etc.
- Elevada durabilidade mecânica (10000 operações).
- Longos intervalos entre manutenções: 15 anos.
- Alta confiabilidade (índice de falha < 0.3 /ano).

3. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

A manobra de um transformador em vazio é caracterizada pelos seguintes fenômenos:

- Transitórios rápidos (VFT)
- Correntes de energização com elevadas amplitudes (“inrush”)
- Corte da corrente (“current chopping”)

3.1. Transitórios rápidos (VFT)

Durante a operação de uma seccionadora convencional, sucessivas reignições ocorrem como consequência da baixa velocidade dos contatos. Cada reignição gera um pulso de alta frequência. A sucessiva ocorrência de reignições resulta em um trem de pulsos de alta frequência, chamados transitórios rápidos (Very Fast Transients) /2/. Tais transitórios rápidos podem ocasionar solicitações danosas ao transformador.

A velocidade dos contatos da chave seccionadora alternativa é da ordem de grandeza dos de um disjuntor. Essa característica juntamente com a presença de um sistema de sopro (“puffer”), proporcionam uma rápida recuperação da suportabilidade dielétrica entre os contatos, eliminando assim as sucessivas reignições. Em outras palavras os VFT são eliminados.

3.2. Correntes de energização (“inrush”)

O fenômeno de “inrush” é consequência da característica não linear da curva de magnetização do núcleo do transformador. Tal corrente pode resultar em elevados esforços eletrodinâmicos nas espiras do transformador ou causar operação inadequada de relés de proteção. Um meio muito eficiente para redução da corrente de “inrush” é o chaveamento controlado. A aplicação de chaveamento controlado exige um controlador eletrônico que monitora os sinais de tensão e/ou corrente do circuito primário da subestação. O controlador identifica o instante ideal para realizar a operação de chaveamento. O sinal de fechamento ou abertura é enviado para a chave através do controlador e atrasado por este de forma a atingir o instante ideal para o chaveamento /3/.

A Fig. 1 apresenta um esquema do arranjo necessário para aplicação do controlador eletrônico.

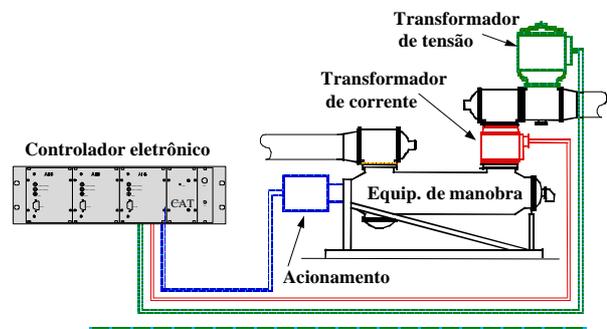


Fig. 1 – Arranjo para utilização do controlador eletrônico.

3.3. Corte da corrente (“current chopping”)

A chave seccionadora alternativa possui um sistema de extinção de arco do tipo “puffer”. Este, porém é projetado de forma a proporcionar uma baixa capacidade de corte de corrente. Utilizando a definição de número de corte (“chopping number”) apresentada em /4/, a capacidade de corte de corrente da chave seccionadora alternativa é comparada com a de diferentes tipos de disjuntor de alta tensão na Tabela I. Como se pode depreender da Tabela I, a capacidade de corte de corrente da chave seccionadora alternativa é muito inferior a de um disjuntor de alta tensão. Isto significa que as solicitações impostas ao transformador durante manobra de abertura de corrente de magnetização são muito reduzidas.

| Tipo de disjuntor | Número de corte $\lambda = ich/\sqrt{C}$ |
|-------------------|---|
| | |

| | (A /√ F) |
|---|------------------------|
| Disjuntor a pequeno volume de óleo ⁽¹⁾ | $7..10 \times 10^4$ |
| Disjuntor a ar comprimido ⁽¹⁾ | $15....25 \times 10^4$ |
| Disjuntor de única pressão a SF6 tipo ABB ELK SP ⁽²⁾ | 16×10^4 |
| Disjuntor de auto sopro a SF6 tipo ABB ELK SD ⁽²⁾ | 10×10^4 |
| Chave seccionadora alternativa tipo ABB ELK LN ⁽²⁾ | 3×10^4 |

Tabela I – Número de corte, λ ⁽¹⁾ IEC 1233⁽²⁾ ABB resultado de ensaios

4. ENSAIOS REALIZADOS

Sendo a principal aplicação para a chave seccionadora alternativa a manobra de transformadores em vazio, os ensaios aqui apresentados tem por objetivo demonstrar o desempenho desta durante manobra de transformadores em vazio.

É necessário, no entanto, ressaltar a dificuldade da realização de ensaios de manobras de transformadores. Essa dificuldade reside basicamente no fato de não existir um modelo que simule no laboratório o comportamento de um transformador. Sendo assim, os ensaios realizados e aqui apresentados são específicos para as características listadas abaixo:

- capacidade de interrupção de pequena corrente indutiva, sem reignições sucessivas
- redução da corrente de energização (“inrush”)
- capacidade de interrupção de pequena corrente indutiva, com reduzido corte de corrente, determinação do número de corte

4.1. Capacidade de interrupção de pequena corrente indutiva, sem reignições sucessivas, eliminação dos VFT.

Essa capacidade é demonstrada pela comparação da suportabilidade dielétrica entre contatos com a tensão de restabelecimento resultante na manobra de transformadores. A suportabilidade dielétrica entre contatos é representada pela característica fria, determinada por meio de ensaios de alta tensão /5/.

A Fig. 2 apresenta a característica fria da chave seccionadora alternativa juntamente com a tensão de restabelecimento típica resultante de uma manobra de transformadores.

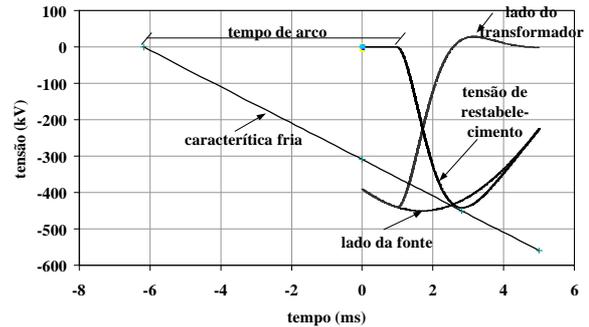


Fig. 2 – Resultado de ensaio dielétrico da chave seccionadora alternativa.

A característica fria foi obtida em ensaios de alta tensão e a tensão de restabelecimento por meio de simulações digitais (EMTP /6/).

É possível, portanto, afirmar de acordo com o apresentado na Fig.2 que a chave seccionadora alternativa é capaz de realizar manobras de transformador em vazio sem reignição (isto é, livre de VFT).

4.2. Redução da corrente de energização (“inrush”)

A redução da corrente de energização é alcançada pela implementação do controlador eletrônico para realização de chaveamento controlado. O controlador pode ser implementado em qualquer equipamento de manobra que possua um acionamento com precisão adequada dos tempos de operação ($\Delta t < +/- 1ms$). Como o desempenho do controlador é independente do equipamento de manobra e, como já mencionado, o comportamento de um transformador é praticamente impossível de ser simulado em laboratório, apresentamos os resultados de ensaio de campo realizado com um disjuntor manobrando um transformador como demonstrativo do desempenho do controlador. O resultado apresentado seria semelhante se no lugar de disjuntor fosse uma chave seccionadora alternativa, uma vez que esta possui acionamento similar àquele.

A Fig. 4 apresenta o resultado para fase A. Os ensaios foram realizados no campo com um disjuntor energizando um transformador em vazio através do controlador eletrônico em um sistema de 380 kV na Suíça em Fevereiro de 1999.

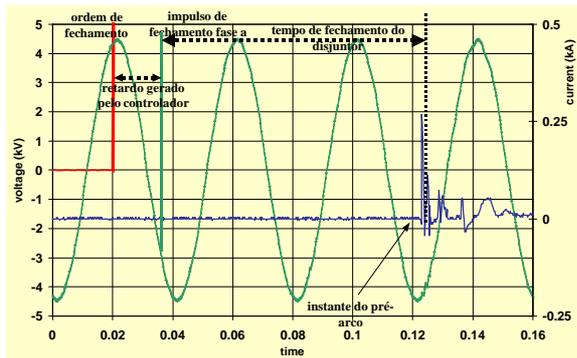


Fig.3 – Resultado de ensaio realizado com controlador, fechamento controlado de transformador em vazio.

Na Fig.3 é possível observar o retardo proporcionado pelo controlador no impulso de fechamento e a baixa corrente de energização resultante.

A Fig.4 apresenta as correntes nas tres fases resultante deste mesmo ensaio em uma escala de tempo ampliada. As correntes apresentam uma amplitude máxima de 500 A. Uma manobra de energização de transformador sem controlador pode resultar em correntes com amplitudes de mais de 10 vezes a corrente nominal do transformador.

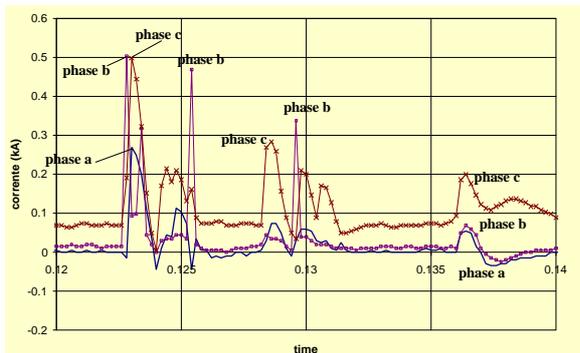


Fig.4 – Correntes de energização resultantes nas tres fases.

4.3. Capacidade de interrupção de pequena corrente indutiva, com reduzido corte de corrente, determinação do número de corte

A Fig. 5 apresenta o resultado do ensaio realizado com uma corrente de indutiva de 10 A para determinação do número de corte. O número de corte da chave seccionadora alternativa é apresentado na Tabela I. O número de corte da chave seccionadora alternativa é bem inferior a de um disjuntor de alta tensão. Isto significa que a chave seccionadora alternativa não produz as solicitações danosas ao transformador provocados pela sobretensão consequente de um elevado corte da corrente.

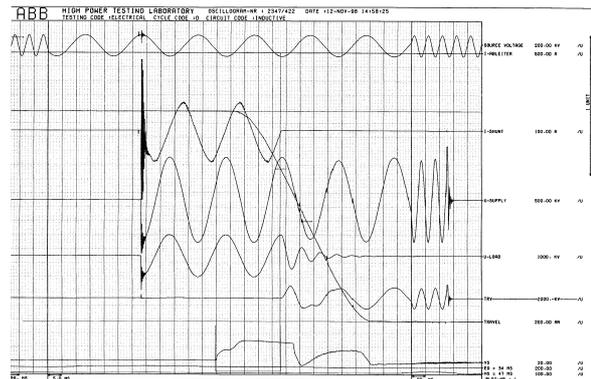


Fig.5 – resultado de ensaio da chave seccionadora alternativa com 10 A.

5. ARRANJOS ALTERNATIVOS

A principal aplicação para a chave seccionadora alternativa é manobra de transformadores em vazio. Transformadores em vazio são manobrados em subestações de alta tensão de chaveamento, considerando que o transformador é primeiramente desconectado do lado de baixa tensão

.Em estações geradoras transformadores são manobrados a vazio quando disjuntores de gerador estão presentes. O arranjo ótimo para estações geradoras conectadas a estações de alta tensão é a combinação da chave seccionadora alternativaes com disjuntores de gerador. Melhor proteção para o transformador e gerador é atingida, aumentando a confiabilidade e consequentemente a disponibilidade da estação como um todo /7/.

Dois arranjos alternativos com as vantagens atingidas para arranjos amplamente utilizados em subestações de alta- tensão são apresentados.

5.1. Estação com transformador diretamente conectado a subestação de alta tensão

A subestação de alta tensão é aqui representada (Fig.6) com um arranjo de um disjuntor e meio. Porém as considerações são aplicáveis a qualquer outro arranjo físico de subestação.

Como a chave seccionadora alternativa é capaz de executar manobras de transformadores a vazio, dois, ou mesmo mais, grupos de transformadores e geradores podem ser conectados em paralelo no mesmo disjuntor de alta tensão. Maior flexibilidade é atingida, pois um transformador pode ser manobrado independentemente da subestação de alta tensão sem envolvimento dos demais grupos de transformadores e geradores. O arranjo geral da subestação é simplificado com a diminuição do número de vãos de transformador.

A eliminação dos esforços no transformador porporcionada pela chave seccionadora alternativa juntamente com o aumento da proteção proporcionado pela implementação do disjuntor de gerador, resulta em

uma maior confiabilidade e conseqüentemente em um aumento da disponibilidade da estação.

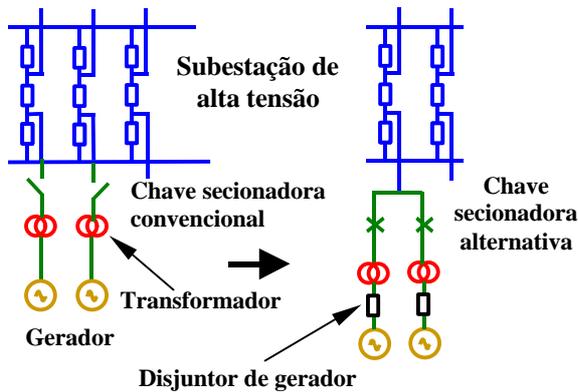


Fig. 6 – Arranjo convencional com chave seccionadora e arranjo alternativo com chave seccionadora alternativa e disjuntor de gerador.

5.2. Estação com conexões longas entre transformador e subestação de alta tensão

O arranjo alternativo com chave seccionadora alternativa e disjuntor de gerador é ideal para estações com conexões longas entre transformador e subestação de alta tensão (Fig. 7).

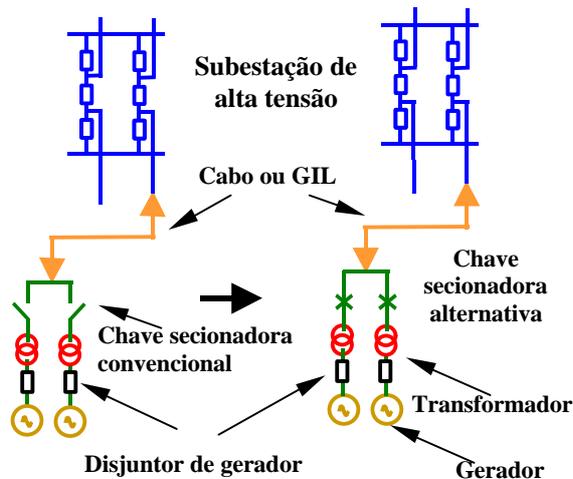


Fig. 7 – Arranjo convencional com chave seccionadora e arranjo alternativo com chave seccionadora alternativa

Até o momento a solução trivial utilizada em tais arranjos é a aplicação de chaves seccionadoras tradicionais no lado de alta do transformador. A função de tal chave seccionadora é isolar o transformador para serviço de manutenção. Porém uma chave seccionadora tradicional não é capaz de realizar manobras de transformador em vazio. Portanto para operar esta chave é necessário realizar manobras envolvendo os equipamentos de alta tensão. Assim outros grupos de transformador e gerador são desconectados resultando na necessidade de uma

procedimento de sincronismo adicional para recomposição das partes que não estão envolvidas na manutenção.

Além disto a operação de uma chave seccionadora tradicional é caracterizada pela presença de transitórios rápidos nocivos ao transformador, os quais não estão presentes na operação da chave seccionadora alternativa (ver item 2).

6. CONCLUSÃO

O arranjo alternativo com chave seccionadora alternativa e disjuntor de gerador apresenta muitas vantagens. A chave é uma solução definitiva independente das características do transformador e do arranjo. A chave seccionadora de transformador reduz as solicitações dielétricas e eletromecânicas impostas ao transformador devido à operação de manobra. O isolamento do transformador é assim poupado e sua vida útil tende a ser prolongada.

A solução de arranjo da chave seccionadora alternativa com o disjuntor de gerador, proporciona melhor proteção para o transformador e gerador. Como conseqüência, um aumento da confiabilidade e disponibilidade da estação é obtido.

Referências

- /1/ J.F. Lima, C. Machado, W.S. Pinto, J.C. Mendes, R.A. Marcondes, *Tucuruí's generator step-up transformer failures due to very fast transients in GIS*, IPST'97, Seattle, June, 1997.
- /2/ Furnas, CIGRÉ-Brasil, *Disjuntores e Chaves – Aplicação em Sistemas de Potência*, Editora da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 1995.
- /3/ ABB-High Voltage Technologies, *Circuit-breaker with artificial intelligent technology*, 1997.
- /4/ IEC 1233, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Inductive load switching*, 1994.
- /5/ A.C. Carvalho, M.Lacorte, M. Vorpe, W. Hofbauer, *A Statistical Method to Evaluate Dielectric Characteristic of CB*, Cigré SC 13 Colloquium, Report n.13-89, (SC) 14, Sarajevo, Maio, 1989.
- /6/ C. Portela, S. Morais, A.C. Carvalho, M. Lacorte, R. Colombo, J. Texeira, M. Maia, R. Almeida, E. Azzari, P. Maldonado, *A Study of Methods and Models for the Simulation of Reactor Switching*, Report n.13-07, Cigré-Paris, Aug., 1988.
- /7/ A. Albornoz, M. Lacorte, D. Braun, *Seccionador Encapsulado en SF6 Alternativo en Combinacion con Interruptor de Generador para el Seccionamiento del Transformador Principal*, VIII ERLAC, Ciudad del Este, June, 1999.
- /8/ Cigré Task Force 13.00.01; *Controlled Switching: a state-of-the-art survey, Part I and II*, Electra nr.163, Dec. 1995 and Electra nr.164, Fev. 1996.

/9/ J.C. Mendes, *Redução de falhas em grandes transformadores de alta tensão*, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Dec., 1995.

/10/ Cigré WG 13.02; *Interruption of Small Inductive Currents, Cap. 5 Part I and II and Cap. 6*, Electra nr.133, Dec. 1990, Electra nr.134, Jan. 1991 and Electra nr.138, Out. 1991.

Biografia

Marta Lacorte – Natural da cidade do Rio de Janeiro, formada em Engenharia Elétrica no ano de 1983, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Obteve o grau de Mestre em Engenharia Elétrica pela COPPE-UFRJ, no ano de 1988. Participou dos grupos de trabalhos 13.05 e 13.06 da CIGRÉ-Brasil, entre os anos de 1989 e 1991. Trabalhou como pesquisadora no CEPEL, no Rio de Janeiro até o ano de 1992, quando se transferiu para ABB-Suíça. Trabalha atualmente na ABB High Voltage Technologies – Suíça, como engenheira senior na área de subestação isolada a gás SF₆ (GIS).

Alfonso Albornoz – Natural de Simijaca, Colômbia, formado e doutorado em Engenharia Elétrica, pela Universidade Técnica de Berlim, Alemanha (Master em 1985, PhD em 1990). Trabalhou no Ministério de Pesquisa da Alemanha entre os anos de 1985 e 1990. Se transferiu, em 1990, para Suíça, para trabalhar na empresa de estudos de compatibilidade eletromagnética, Schaffner AG. Trabalha desde o ano de 1993 na ABB High Voltage Technologies – Suíça, como responsável pela promoção de “marketing” e vendas para a América Latina e sul da Europa, na área de disjuntor de gerador.