



Grupo de Estudo de Subestações e Equipamentos de Alta Tensão-GSE

Restabelecimento da condição operativa normal da barra A, realizada com equipe própria, após falha interna na Subestação Isolada a Gás SF6 Salto Caxias 550kV

**JULIO CEZAR OLIVEIRA CASTIONI(1); CARLOS AUGUSTO DO AMARAL FONTANELLA(1); EDEVILSON DE FAVERI(1); ADRIANO LUNA PEREIRA(1);
Copel GET(1);**

RESUMO

Após a ocorrência de uma falha dielétrica na barra A da SIG Salto Caxias 550kV, para a localização do compartimento falhado houve necessidade de, inicialmente, realizar teste de tensão aplicada em degrau com fonte externa, com medição de descargas parciais e emissões acústicas.

Com a localização do compartimento falhado, deu-se início a manutenção corretiva, que consistiu, na desmontagem do trecho da barra, substituição do isolador falhado, retífica e polimento das peças metálicas danificadas.

Antes da energização definitiva da barra foram realizados ensaios de tensão aplicada em degrau, onde se obteve sucesso e conseqüentemente liberação da barra para conexão ao SIN.

PALAVRAS-CHAVE

Subestação Isolada a Gás (SIG), Gás SF6, Manutenção Corretiva, Descarga Disruptiva

1.0 - INTRODUÇÃO

A SIG SF6 Salto Caxias 550kV faz a conexão da usina (4 geradores = 1240 MW) com o Sistema Interligado Nacional (SIN) através de duas linhas de transmissão 550 kV, e, após uma determinada sequência de manobras, foi registrada a ocorrência de uma falha dielétrica em um dos compartimentos. A subestação é composta por 215 compartimentos e, pela análise da oscilografia e das condições da subestação no momento da falha, foi possível identificar um determinado trecho, correspondente a 14 compartimentos, que precisava ser analisado para localização exata do compartimento falhado.

Como inicialmente não foi possível precisar o local da falha pelo método de ensaio do gás SF6, houve necessidade de realizar um teste de tensão aplicada de forma gradual, com fonte externa e medição de descargas parciais e emissões acústicas. Dessa forma, identificou-se a localização exata do compartimento falhado.

Em seguida deu-se início a manutenção corretiva, que consistiu, basicamente, na abertura da SIG, desmontagem do trecho da barra A que falhou, substituição do isolador stop-gas falhado, retífica e polimento das peças metálicas danificadas, limpeza dos compartimentos e montagem da SIG. Antes da energização definitiva da barra A, realizados novos ensaios de tensão aplicada 550kV de forma gradual com fonte externa, onde se obteve sucesso, e conseqüentemente, a liberação da barra A para conexão ao SIN.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

2.1 Descrição da ocorrência e Análise da Proteção

No dia 25/02/2018 ocorreu desligamento geral programado da subestação 550kV para viabilizar manutenções gerais nos centros de distribuições dos serviços auxiliares em CA e CC. Durante as manobras de retorno constatou-se falha interna em um dos compartimentos localizado na barra A (fase A) da SIG, no qual consequentemente indisponibilizou a barra A para operação.

Foi realizada a análise dos registros de oscilografia, onde foram constatados valores elevados de corrente nas fases A e B no lado de baixa do transformador elevador.

O valor de pico da contribuição para curto-circuito pelo gerador 2 foi de 65887,85A, sendo o valor eficaz calculado de 39955,65 A. Isto leva a uma corrente de pico no lado de 550kV de aproximadamente 3000 A o que equivale uma corrente eficaz de 1819 A. Analisando o regime permanente de falta (aproximadamente 285 ms após o momento de inserção de falta), foi calculado um valor eficaz de corrente de falta referido ao lado de 550 kV de 953 A, o que é compatível com o nível de curto-circuito simulado na barra de 550 kV da SIG Salto Caxias que é de 1270 A nas mesmas condições. Estes valores levaram à conclusão de que havia ocorrido um curto-circuito monofásico envolvendo a fase A na área de 550 kV da subestação.

O registro do RDP do lado da usina, mostrando a contribuição de corrente pelo gerador 2 pode ser visualizado na Figura 1.

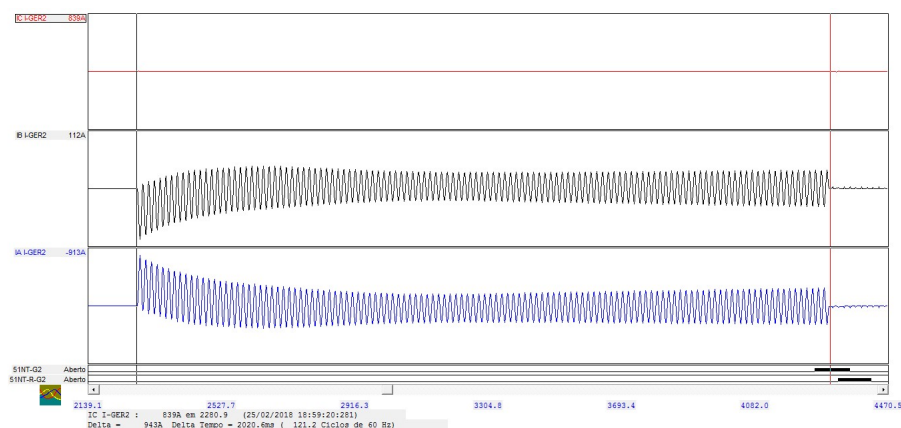


Figura 1 - Oscilograma com o registro de contribuição para falta pelo Gerador 2

2.2 Identificação do compartimento com falha

2.2.1. Ensaio do gás SF6

Nos dias 27 – 28/02/2018, na tentativa de localizar o compartimento falhado, foram realizados ensaios de pureza do gás SF6, contaminação por SO2 e odor de enxofre nos compartimentos da barra A (fases A, B e C) e bay do circuito G2 550. Porém, analisando os resultados obtidos nas medições, não foi possível localizar o compartimento falhado.

2.2.2. Medição de tensão induzida na barra com medições de descargas parciais

No dia 08/03/18 foram realizados ensaios com o objetivo de determinar o nível de tensão induzida na barra A, pela barra B, através do bay "interligador de barras". A tensão induzida está associada à diversas capacitâncias do circuito equivalente da SIG, tais como capacitância do disjuntor (capacitores de equalização) e capacitâncias entre barramento e invólucro da SIG.

As medições foram realizadas com as seccionadoras 89TA e 89TB fechadas e o disjuntor 52T aberto, de forma a tentar detectar a falha na barra A, utilizando o método de descargas parciais, sem o uso de fonte externa.

Primeiramente a medição foi realizada no secundário do TP da Barra A (fase B) entre os bornes T11:9, T11:10 e T11:11, T11:12 obtendo os resultados apontados na Tabela 1:

Tabela 1 - Tensão induzida na barra A (seccionadoras 89TA e 89TB fechadas e Disjuntor 52T aberto)

Medições no secundário do TP da fase B (condição: Seccionadoras 89TA e 89TB fechadas e Disjuntor 52T aberto)				
Fase	Tensão medida	Relação	Tensão F/F	Tensão F/T

VB (Ponto de medição T11-9 e T11-10)	9,47V	4.500	42,615kV	24,6kV
VB (Ponto de medição T11-11 e T11-12)	9,49V	4.500	42,705kV	24,66kV

Após a confirmação da tensão induzida de aproximadamente 43kV foram efetuadas medições de descargas parciais nos isoladores stop gas instalados na barra A (fase A), porém os sinais de descargas parciais medidos eram de baixa amplitude, devido ao baixo nível de tensão induzida na barra, não sendo possível identificar o compartimento com falha.

Com o objetivo de verificar a possibilidade da ocorrência de um curto-circuito franco para terra na barra A, também foram realizadas medições das tensões induzidas na barra A, conectando um divisor capacitivo de 100kV na chave de aterramento 57A (57-37), sendo o ponto de aterramento desta desconectado propositalmente para realização das medições das tensões, conforme Figura 2.



Figura 2 – Medição da tensão induzida na barra A

Neste ensaio as seccionadoras 89TA, 89TB e o disjuntor 52T permaneceram abertos e a chave de aterramento 57A (57-37) permaneceu fechada. A tensão induzida medida (ver Tabela 2) estava associada às diversas capacitâncias do circuito equivalente da SIG, tais como capacitâncias das seccionadoras, do disjuntor e capacitância entre o barramento e invólucro da SIG.

Tabela 2 - Tensão induzida na barra A (seccionadoras 89TA e 89TB abertas e Disjuntor 52T aberto)

Ensaio utilizando divisor capacitivo (condição: Seccionadoras 89TA e 89TB abertas e Disjuntor 52T aberto)		
Fase	Tensão F/T medida (kV)	Frequência (Hz)
VA	3,0737	59,97
VB	2,9689	60,02
VC	3,0636	60,08

As medições comprovaram o surgimento de tensões senoidais induzidas na barra A da SIG, evidenciando que não havia curto-circuito franco para terra, apesar de permanecer as suspeitas de falha na barra A da SIG.

2.2.3. Ensaio de tensão aplicada com fonte ressonante

O propósito do ensaio foi testar o isolamento das partes energizadas contra o invólucro aterrado da SIG no nível de tensão nominal da subestação isolada a gás - SIG 550kV (fase-fase) / 317kV (fase-terra), sendo que a tensão de operação da subestação é 550kV (fase-fase) / 303kV (fase-terra).

A fonte ressonante foi conectada à subestação através da bucha de saída da LT SCX/CVO (fase A), utilizando tubos de alumínio de diâmetro adequado conforme Figura 3.



Figura 3 – Conexão da fonte ressonante (Hypotronics) e do divisor capacitivo na SIG

Como foi utilizada a bucha de saída (fase A) da LT SCX/CVO, houve a necessidade de realizar manobras de fechamento das seccionadoras (29-30 e 29-34) e disjuntor (52-35) do bay CVO, para possibilitar a energização da barra A (fase A). Também foi realizada manobra de fechamento da seccionadora 89TA (29-39), para incluir no ensaio o compartimento do bay interligador de barras antes do disjuntor conforme ilustrado na Figura 4.

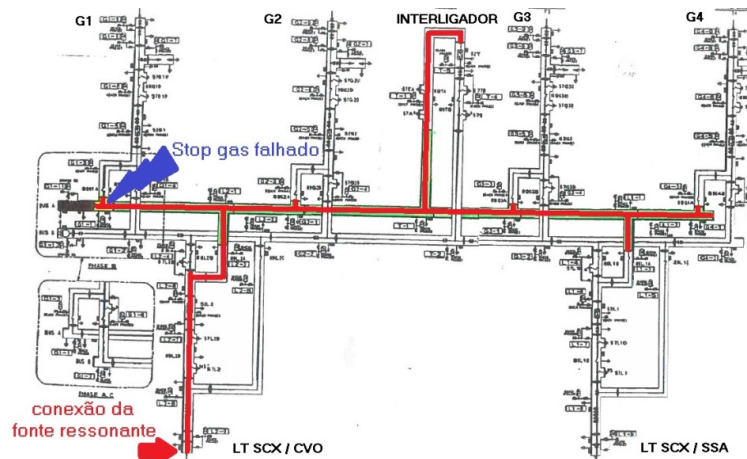


Figura 4 – Arranjo da SIG durante ensaio de tensão aplicada com fonte ressonante

A elevação de tensão gradativa (degrau de 20kV) foi realizada em conjunto com as medições de descargas parciais e emissões acústicas. Durante os ensaios ocorreram descargas disruptivas na tensão de 146kV (fase-terra) / 253kV (fase-fase) e deste modo foi possível confirmar a falha na barra A e identificar o compartimento falhado (fronteira com a seccionadora 89G1A 29-04).

Ressalta-se que os demais bays (G1, G2, G3, G4 e LT SSA) permaneceram em operação pela barra B.

2.2.4. Medições de Descargas Parciais

Foram realizadas medições dos níveis de descargas parciais em diversos pontos onde existem isoladores expostos (stop gas) nos compartimentos da barra A (fase A), pelo método UHF, de acordo com a Figura 5.

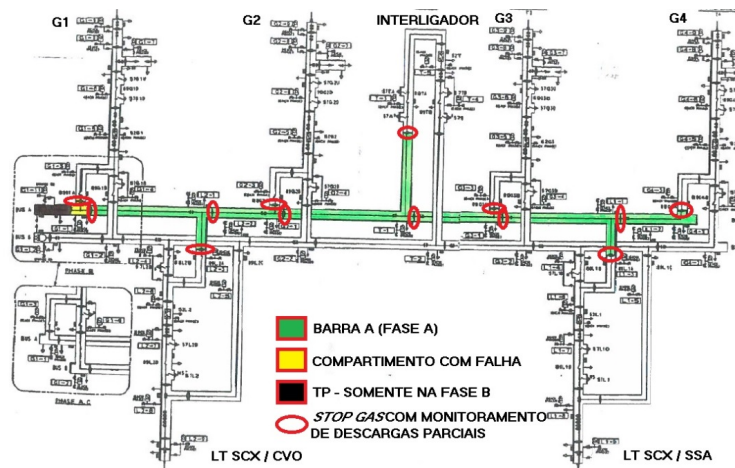


Figura 5 – Isoladores Stop Gas que foram monitorados pelo método UHF

As medições foram realizadas durante a elevação de tensão gradativa e, a partir de 80kV, foram detectadas atividades de descargas parciais no compartimento da barra A (fase A) que faz fronteira com a seccionadora 89G1A (29-04), compartimento identificado em amarelo na Figura 5, que persistiram no decorrer da aplicação da tensão até a ocorrência de descargas disruptiva na tensão de 146kV (fase-terra).

Para uma melhor análise do comportamento da descarga durante o ensaio foram sincronizadas a tensão de alimentação do medidor de descargas parciais e a tensão da fonte de alimentação externa, para verificar a posição exata das descargas em relação a onda senoidal da tensão aplicada. O padrão das descargas medidas a partir de 80kV já indicavam descargas internas no meio dielétrico.

2.2.5. Medições acústicas

Foram realizadas medições dos níveis de emissões acústicas em 43 pontos espalhados em 16 compartimentos da barra A (fase A).

Os sensores foram espalhados de modo a monitorar todos os isoladores tipo poste e stop gas, que eram os prováveis pontos de falha, de acordo com a Figura 6.

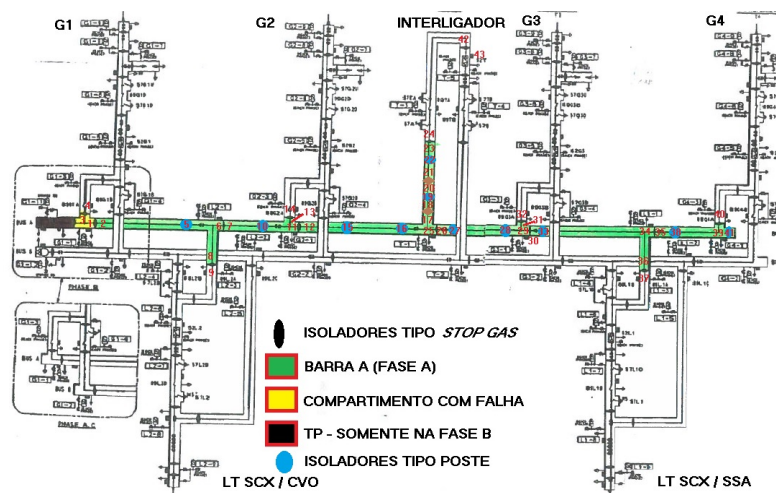


Figura 6 – Localização dos 43 sensores de emissão acústica

As medições foram realizadas durante a elevação de tensão gradativa e, a partir de 60kV, foram detectadas emissões acústicas nos sensores instalados no compartimento da barra A que faz fronteira com a seccionadora 89G1A (29-04). No decorrer do ensaio, com o aumento da tensão, a intensidade do sinal acústico foi aumentando até a ocorrência da descarga disruptiva na tensão de 146kV (fase-terra), evidenciando descargas internas e confirmando o compartimento falhado (compartimento identificado em amarelo na Figura 6).

Observou-se que através deste método os isoladores stop gas atenuam as descargas e conseqüentemente, para detecção de descargas internas é obrigatório a utilização de sensores específicos em todos os compartimentos monitorados.

2.2.6. Confirmação do compartimento falhado

No dia 19/03/18, após a abertura do compartimento, foi confirmada a falha no isolador stop-gas conforme pode ser visualizado na Figura 7.



Figura 7 – Compartimento com o isolador stop-gas falhado

Após a localização do isolador falhado foi elaborado um cronograma e planejadas as atividades necessárias para o restabelecimento operacional da barra A.

2.3 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva da barra A foi realizada no período 20 – 27/03/2018 de forma contínua.

O compartimento adjacente ao isolador falhado (barra A) teve que ser desmontado, para possibilitar a substituição do isolador stop-gas e recuperação do invólucro, conforme pode ser visualizado na Figura 8.



Figura 8 - Desmontagem da barra A

Além do isolador stop-gas falhado, observou-se danos no invólucro metálico e no barramento, devido as descargas elétricas disruptivas que ocorreram no corpo do isolador.

Como não havia este material disponível material na reserva técnica, antes da montagem do novo isolador, houve a necessidade de retificar e polir as peças metálicas, conforme Figura 9.



Figura 9 - Retífica e polimento da barra e do invólucro

Na sequência o novo isolador foi montado na subestação, conforme Figura 10.



Figura 10 - Montagem da barra A

A Figura 11 mostra o compartimento montado com o novo isolador e com o invólucro e barramento recuperado.

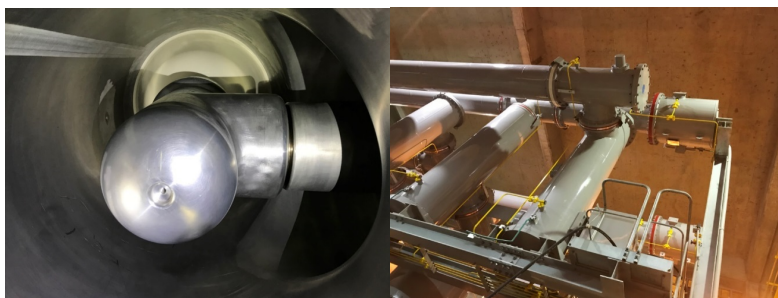


Figura 11 - Compartimento recuperado

2.4 Ensaio finais e energização definitiva da barra A

O propósito do ensaio foi testar a rigidez dielétrica da SIG após a manutenção corretiva, onde seria possível identificar defeitos do tipo: Montagem incorreta, presença de contaminantes dentro dos invólucros e problemas nas peças substituídas / recuperadas durante a manutenção corretiva.

A fonte ressonante foi conectada à subestação através da bucha de saída da LT SCX/CVO (fase A), utilizando tubos de alumínio de diâmetro adequado.

Em relação ao ensaio de elevação gradativa de tensão com monitoramento de descargas parciais e emissões acústicas no trecho correspondente a barra A (fase A), o mesmo suportou a aplicação de tensão gradativa até a tensão nominal da subestação 550kV (fase-fase), durante 2 horas, sem evidências de descarga disruptiva, no entanto foram observadas descargas parciais no compartimento que foi submetido a manutenção. Observou-se que se tratavam de descargas parciais com baixa frequência e baixa amplitude e que foram diminuindo a intensidade no decorrer do ensaio. As descargas podem ser atribuídas a partículas internas, que na sequência foram queimadas, ou as pequenas cavidades na barra, consequência da recuperação da peça danificada pelo arco interno (peça retificada e polida).

3.0 - CONCLUSÃO

A probabilidade da ocorrência de falhas similares neste tipo de subestação é baixa e a alta confiabilidade da SIG Salto Caxias fica evidente quando se analisa o excelente desempenho desta subestação nos 20 anos em que está em operação.

Porém, quando ocorre uma falha em uma SIG, devido à complexidade da sua manutenção, a disponibilidade de sobressalentes e de equipes de manutenção treinadas são fatores críticos para se obter sucesso no restabelecimento operacional da função.

Devido a esta falha, a barra A ficou indisponível para a operação no período de 25/02 – 08/04/2018. Inicialmente houve a necessidade da realização de ensaios especiais, com a contratação de laboratório especializado, para localização exata do compartimento falhado (26/02 – 18/03/18) e na sequência foi realizada manutenção corretiva com equipe própria em um curto espaço de tempo (20 – 27/03/18), no qual a experiência da equipe e existência de peças sobressalentes foram fundamentais para o restabelecimento operacional normal da subestação em curto espaço de tempo.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) TOSHIBA, Installation Manual of 550kV GIS

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Júlio Cezar Oliveira Castioni

Nascimento: Guarapuava – PR 19/09/1982

Formação: Graduado em Engenharia Industrial Elétrica pela UTFPR em Curitiba-PR 2005; Curso de Aperfeiçoamento em Manutenção de Sistemas Elétricos pela Fundação de Pesquisa e Assessoramento da Indústria - FUPAI em Itajubá – MG 2010; Curso de Especialização em Engenharia da Manutenção pela PUC-PR em Curitiba-PR 2012.

Experiência profissional: Engenheiro Eletricista Pleno. Supervisor da área de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Subestações.

Carlos Augusto do Amaral Fontanella

Nascimento: Laranjeiras do Sul – PR 18/04/1961

Formação: Graduado em Engenharia Elétrica pela UFPR em 1984; Curso de Especialização em Materiais para o Setor Elétrico UFPR – 1998; Curso de Especialização em Gerência da Engenharia de Manutenção pelo CEFET em 2001.

Experiência profissional: Engenheiro Eletricista Consultor. Gerente do Departamento de Engenharia de Manutenção da Transmissão.

Edevilson de Faveri

Nascimento: Turvo – SC 11/09/1965

Formação: Graduado em Técnico em Mecânica pela Escola Técnica Federal de Santa Catarina em Florianópolis-1985; Treinamento em Prevenção de Falhas na Manutenção Preditiva e Proativa de Sistemas Hidráulicos – Know Transfer – São Paulo-SP – 2001.

Experiência profissional: Técnico Especializado em Manutenção Mecânica atuando na área de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Subestações.

Adriano Luna Pereira

Nascimento: Toledo – PR 06/12/1984

Formação: Graduado em Técnico de Manutenção em Eletromecânica pelo CEEP – 2003; Graduado em Engenharia Elétrica pela FAG – 2017.

Experiência profissional: Técnico em Manutenção Eletromecânica atuando na área de Manutenção de Equipamentos de Subestações.