



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

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

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

**DEFEITOS DE EVOLUÇÃO RÁPIDA E MUITO RÁPIDA EM BUCHAS DETECTADOS POR MONITORAMENTO
ON-LINE**

Marcos E. G. Alves*

Miguel C. Medina Pena

Claudio Severino

TREETECH SISTEMAS DIGITAIS

ELETROBRAS CHESF

ELETROBRAS ELETROSUL

RESUMO

Devido às muitas falhas em transformadores originadas nas buchas, e para reduzir os desligamentos para ensaios, os ensaios off-line nas buchas têm sido substituídos pela monitoração on-line, que têm fornecido dados inéditos sobre a forma e tempo de evolução dos defeitos. Em geral, considerava-se que as falhas em buchas têm evolução lenta, de semanas ou meses. Embora isso seja verdadeiro em muitos casos, esse trabalho apresentará as experiências da Chesf e da Eletrosul, nas quais os dados de monitoramento on-line indicaram tempos de evolução dos defeitos de minutos ou horas. Será apresentada uma nova metodologia para detecção e alarme de defeitos de evolução rápida, que utilizada em conjunto com as técnicas atuais de detecção de defeitos de evolução lenta em estágio inicial, permitirá aumento ainda maior na confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoração on-line, Buchas, Falhas, Diagnóstico, Prognóstico.

1.0 - INTRODUÇÃO

De acordo com estatísticas do Cigre de 1983, obtidas a partir de uma pesquisa internacional de falhas em transformadores [1], uma grande parcela dessas tem origem nas buchas condensivas: 33,3% em transformadores de usinas sem comutador sob carga (OLTC), 20% em transformadores de subestações sem OLTC e 12,3% em transformadores de subestações com OLTC, como mostra a figura 1. Apesar da falta de estatísticas mais recentes sobre o tema, o histórico de ocorrências [2] envolvendo buchas nos últimos anos no Brasil parece confirmar a importante participação dessas nas falhas de transformadores.

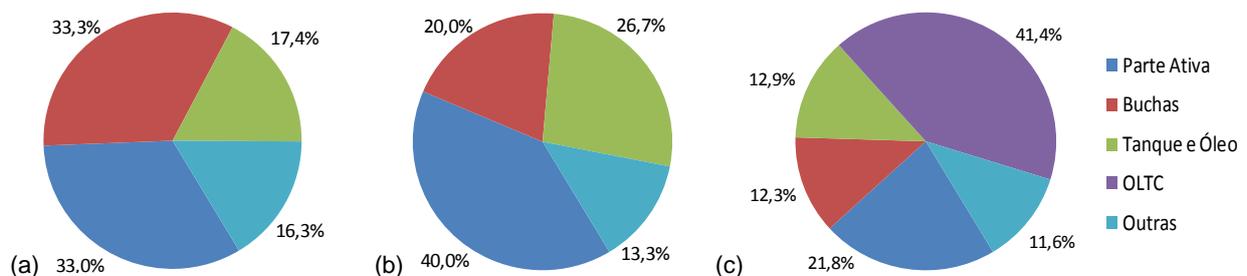


Fig. 1. Estatística das causas para saída de serviço de transformadores. (a) transformadores de usinas, sem OLTC; (b) transformadores de subestações, sem OLTC; (c) transformadores de subestações, com OLTC [1].

Em função disso, diversos sistemas de monitoramento on-line de buchas têm sido aplicados pelas concessionárias de energia elétrica no Brasil e no mundo, com forte tendência de substituição dos ensaios off-line pela monitoração on-line, principalmente nas geradoras e transmissoras, mas com aplicações também nas distribuidoras.

Esses sistemas, além de reduzir a probabilidade de ocorrências catastróficas, pela detecção precoce de defeitos, e diminuir os custos de operação e manutenção, ao reduzir ou eliminar paradas para ensaios em buchas, também têm cumprido o importante papel de fornecer dados inéditos sobre a forma de evolução dos defeitos em buchas, algo raramente disponível até então, visto que na maioria dos casos a existência do defeito só se tornava conhecida após a falha, quando grande parte das informações s é destruída.

O senso comum e a experiência do setor elétrico com a operação e manutenção preventiva de transformadores e reatores de potência tendem a indicar que, em geral, a evolução de defeitos em buchas ocorre de forma lenta, com tempos da ordem de semanas ou meses. Essa é uma premissa que vem sendo empregada de forma geral no mercado pelos sistemas de monitoração on-line de buchas, que nela baseiam sua operação. De fato, essa premissa pode ser verdadeira em muitos casos, como confirmam experiências com medições off-line em buchas e, mais recentemente, com monitoração on-line, que detectou a evolução de defeito e permitiu que se evitasse a falha da bucha com parada programada para sua substituição [2].

No entanto, dados antes não disponíveis, agora disponibilizados pelos sistemas de monitoração on-line, demonstram que nem sempre isso é verdadeiro. Esse trabalho apresentará as experiências da Chesf e da Eletrosul com a monitoração on-line de buchas e os dados de evolução de defeitos nas mesmas, que indicam que os tempos de evolução podem ser muito mais curtos que o esperado. A forma e a velocidade de evolução dos defeitos serão comparadas com experiências em que a evolução se deu de forma lenta.

2.0 - MONITORAÇÃO ON-LINE DE BUCHAS CONDENSIVAS

As medições de Capacitância e Tangente Delta da isolação das buchas são indicadores consagrados para o diagnóstico de estado desse equipamento. A norma ANSI/IEEE C57.19.100-1995 [3], publicada anteriormente à popularização do monitoramento on-line, sugere intervalos típicos de 3 a 6 anos para se efetuarem essas medições de forma off-line. Um estudo comparativo [4] entre as medições off-line desses parâmetros e análises de gases dissolvidos no óleo de buchas com suspeita de defeitos em evolução comprova a eficácia das medições de capacitância e tangente delta para o diagnóstico de defeitos em buchas.

No entanto, a medição desses parâmetros de forma off-line e periódica anula em grande parte sua eficácia, devido à possibilidade de defeitos se desenvolverem no intervalo entre duas medições, podendo culminar em falhas graves, à necessidade de desligamento do equipamento para se realizarem as medições, acarretando custos por indisponibilidade e reduzindo a confiabilidade geral do sistema elétrico, e à ocupação das equipes de manutenção, geralmente com número reduzido de pessoas, para a realização dos testes.

Com isso, a monitoração on-line de Capacitância e Tangente Delta de buchas condensivas tem se afirmado como a resposta a esses inconvenientes, ao monitorar de forma contínua possíveis alterações nesses parâmetros, permitindo a detecção de defeitos na isolação em fase inicial.

Diversas técnicas têm sido empregadas para a monitoração on-line de buchas. Dentre elas, o método de soma vetorial das correntes de fuga das buchas de um conjunto trifásico tem se destacado, pelas seguintes características:

- Permite a monitoração on-line de alterações tanto da Capacitância quanto da Tangente Delta – algumas outras técnicas não são capazes de monitorar a Tangente Delta;
- Não demanda a medição das tensões fase-terra aplicadas às buchas, necessária em algumas das outras técnicas de medição – muitas vezes não existem transformadores de potencial disponíveis na instalação para prover essas informações de tensão.

Em cada uma das buchas a corrente de fuga flui através da capacitância C1 para terra, passando pelo tap capacitivo, sendo esta corrente função da tensão fase-terra e da impedância da isolação. Desta forma, qualquer alteração na impedância da isolação (capacitância ou tangente delta) se refletirá em uma alteração correspondente na corrente de fuga que, em teoria, se poderia utilizar para a detecção da alteração ocorrida na impedância.

Entretanto, um dos obstáculos que se encontra para a detecção conforme descrito acima é a ordem de grandeza das alterações que se deseja monitorar. Alterações tão pequenas quanto um incremento algébrico de 0,3% na tangente delta de uma bucha podem representar a diferença entre uma bucha nova, em boas condições, e uma bucha no limite do aceitável. Fica evidente que uma alteração tão pequena no fator de dissipação provocará uma

alteração praticamente insignificante na corrente de fuga da bucha, tornando inviável sua detecção por meio da monitoração apenas da corrente de fuga de cada bucha.

Para superar essa dificuldade, a técnica da soma vetorial das correntes de fuga tira proveito do fato das três correntes de fuga estarem defasadas entre si em aproximadamente 120° , e normalmente tem a mesma ordem de magnitude. Com isso, a somatória vetorial tende a um valor bastante menor que cada uma das correntes de fuga tomadas individualmente, como ilustrado na Figura 2.(a) para uma dada condição inicial de capacitâncias e tangentes deltas.

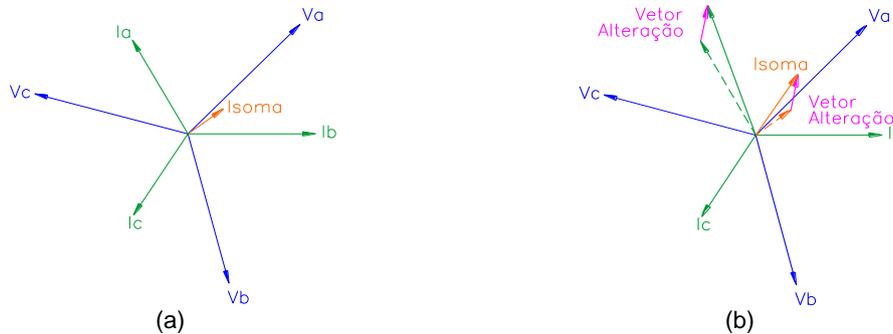


Fig. 2 – Correntes de fuga de três buchas em um sistema trifásico e sua somatória; (a) Para uma dada condição inicial; (b) Com alteração na capacitância e fator de dissipação da bucha da fase A.

Supondo agora uma alteração na capacitância e no fator de dissipação da bucha da fase A, como mostrado na Figura 2.(b), o Vetor Alteração que expressa o deslocamento da corrente I_a de seu valor inicial até seu valor final se reflete também na corrente somatória, que é alterada em relação a seu valor inicial segundo o mesmo Vetor Alteração.

Este Vetor Alteração tem peso praticamente insignificante quando comparado à magnitude da corrente de fuga da fase A. Porém o mesmo não ocorre quando este vetor é comparado à corrente somatória, o que permite sua detecção e, por conseguinte, a detecção da alteração ocorrida na impedância da bucha em questão. Dessa forma, a técnica da soma vetorial das correntes de fuga proporciona um aumento de sensibilidade que viabiliza a monitoração das alterações ocorridas tanto na Capacitância quanto na Tangente Delta da isolação.

No entanto, as correntes de fuga das buchas são função não apenas das suas capacitâncias e tangentes deltas, mas também das tensões fase-terra do sistema. Uma vez que essas últimas freqüentemente não estão disponíveis para medição pelo sistema de monitoramento, como explanado anteriormente, a possível influência de variações nas tensões fase-terra sobre as medições de variações na Capacitância e Tangente Delta é eliminada por técnicas proprietárias avançadas de processamento de sinais, que incluem também tratamentos estatísticos dos dados.

Esses tratamentos estatísticos pressupõem o uso de uma massa de dados, acumulada ao longo do tempo de operação do sistema, a qual é atualizada continuamente com as medições de correntes de fuga e corrente somatória mais recentes. Por esse motivo, o sistema de monitoramento on-line possui um tempo de resposta às variações ocorridas na Capacitância e na Tangente Delta que pode variar de várias horas a alguns dias, a fim de confirmar que a alteração de Capacitância e/ou Tangente Delta é real, e não causada por oscilações nas tensões do sistema elétrico.

Especialistas do setor elétrico têm defendido a premissa de que a evolução de defeitos em buchas condensivas ocorre de forma lenta, com tempos da ordem de dias ou semanas, como indica Sokolov et. al. [5], que foi um dos idealizadores, na antiga URSS, do método de monitoração por somatória das correntes de fuga, e como indica também Lachman [6]. Gill também afirma [7]: “Essas falhas ocorrem lentamente ao longo do tempo, com uma camada falhando lentamente e carbonizando através do papel kraft” (tradução do autor).

Considerando essa premissa, o tempo de resposta do sistema de monitoramento às variações ocorridas na Capacitância e Tangente Delta não apresentaria qualquer inconveniente para a detecção de defeitos em evolução nas buchas, permitindo também tempo suficiente para a tomada de ações pelo usuário em caso de detecção de um defeito em evolução.

De fato, essa premissa mostrou-se verdadeira em vários casos, como exemplificam a experiência de Furnas com medições off-line em buchas [4], em que um intervalo de medição de três meses foi suficiente para a detecção de diversos defeitos em evolução lenta nas buchas, e a experiência com a monitoração on-line [2], também em Furnas, exposta a seguir.

3.0 - EXPERIÊNCIA COM DETECÇÃO ON-LINE DE DEFEITO DE EVOLUÇÃO LENTA

Em Novembro de 2005 foi instalado o sistema de monitoração de buchas BM Treotech para monitoração on-line das buchas de 550 kV e 245 kV de um banco de autotransformadores monofásicos 133,33MVA e das buchas de 550 kV de um banco de reatores monofásicos de 55 MVar. O comportamento típico das medições de capacitância é mostrado na figura 3, onde se verificam oscilações inferiores a 0,2% da medição nas buchas de 550 kV dos autotransformadores durante o mês de Janeiro de 2007, mais de um ano após a instalação do sistema [2].

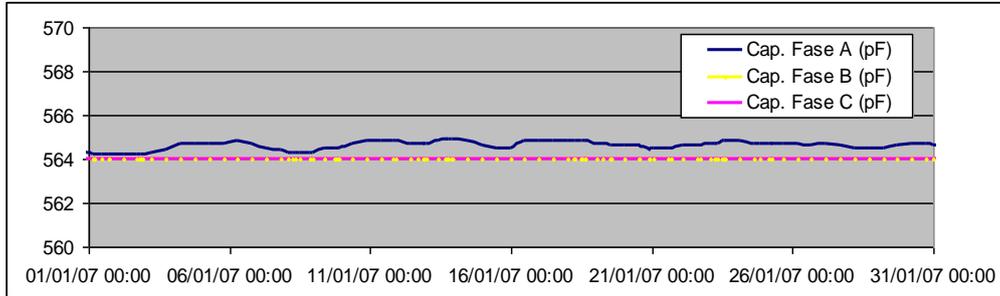


Fig. 3 – Comportamento típico das medições de Capacitância nas buchas de 550 kV dos autotransformadores [2]

A instalação da monitoração on-line de buchas foi motivada pelas suspeitas que existiam em relação a uma família de buchas. Essas suspeitas foram confirmadas durante a operação do sistema de monitoração, que no início de Abril de 2006 emitiu alarme devido a uma grande elevação da capacitância da bucha de 550 kV do autotransformador da fase A, saindo de 560 pF para 594 pF, aumento de cerca de 6%, como mostra a figura 4 [2].

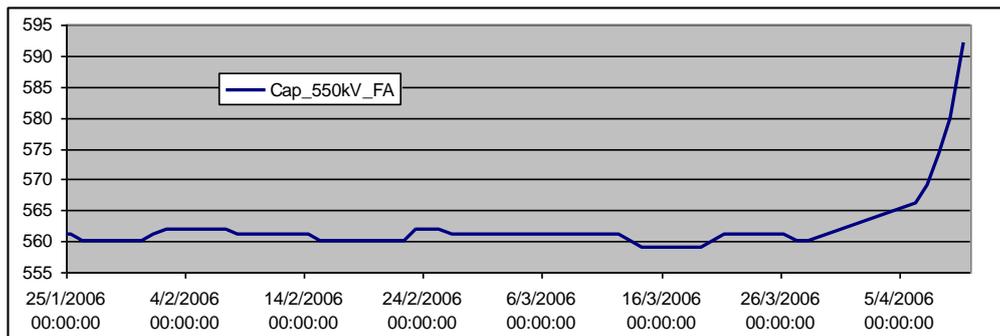


Fig. 4 – Aumento da Capacitância na bucha de 550 kV do autotransformador da fase A [2]

A evolução do defeito foi observada ao longo de aproximadamente 10 dias, quando se tomou a decisão de desligamento do banco de autotransformadores devido ao aumento da taxa de elevação da capacitância [2].

Com o banco desenergizado, foram efetuadas medições off-line de capacitância, além de retirarem-se amostras de óleo para análise de gases dissolvidos em laboratório. As amostras foram enviadas ao laboratório de Furnas e também ao do fabricante dos autotransformadores, ambos indicando resultados semelhantes, mostrados na tabela 1. Observam-se elevadas concentrações de gases combustíveis, principalmente acetileno (C_2H_2), com quase 7000ppm, o que confirma a existência de um defeito interno em evolução na bucha [2].

Tabela 1 - Gases dissolvidos no óleo da bucha do autotransformador da fase A [2]

Gás	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	TGC
Concentração (ppm)	7401	2100	47969	5477	2000	10665	4597	1728	6904	28107

A experiência prática aqui descrita é um exemplo típico de um defeito em uma bucha que evoluiu lentamente, conforme a premissa defendida por Sokolov et. al. [5], Lachman [6] e Gill [7], demonstrando que, de fato, tal comportamento é possível e ocorre em muitos dos casos de defeitos, senão na maior parte deles, como parece indicar a experiência de Furnas com medições off-line em buchas [4], em que intervalos de medição de três meses foram suficientemente curtos para permitir a detecção de diversos defeitos em evolução em buchas.

4.0 - EXPERIÊNCIAS COM DEFEITOS DE EVOLUÇÃO RÁPIDA EM BUCHAS

4.1 Experiência da Eletrosul

Em Outubro de 2008 foi instalado na SE Santo Ângelo da Eletrosul o monitor de buchas BM Treotech no banco de transformadores TF3, o qual foi interligado ao software de monitoração on-line Sigma4Net, que armazena as medições em banco de dados a cada 15 minutos.

Como mostra a figura 5.(a), ao ser energizada a bucha seu arranjo construtivo dá origem a uma corrente de fuga predominantemente capacitiva, que circulará em direção ao tap e à entrada de medição do monitor de buchas, escoando então para terra.

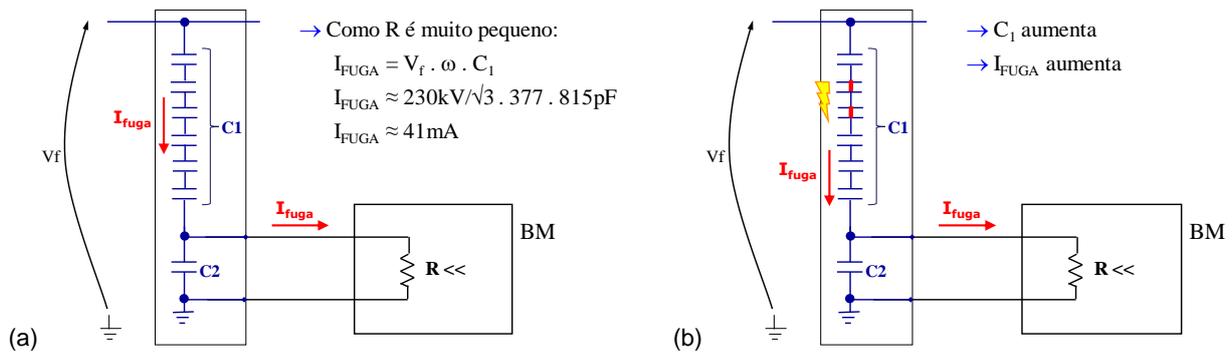


Fig. 5 – Corrente de fuga capacitiva com a bucha energizada. (a) Com a bucha em condições normais; (b) Com camadas da isolamento em curto-circuito.

O módulo da corrente de fuga é determinado pela tensão fase-terra do sistema, por sua freqüência angular e pela capacitância C_1 da bucha. Como demonstra a figura 5.(a), para as condições particulares das buchas de 230 kV do TF3 esta corrente de fuga seria da ordem de 41 mA. De fato, durante os dois meses em que o sistema de monitoramento esteve aquitando dados, as correntes de fuga das buchas de 230 kV das fases A, B e C oscilaram sempre ao redor deste valor (figura 6), com essas três correntes sempre em concordância entre si (as variações observadas são devidas às flutuações das tensões fase-terra do sistema). Isso indica que, durante este período, as capacitâncias C_1 das buchas encontravam-se próximas de seu valor nominal, ou seja, não existiam porções da isolamento principal em curto-circuito.

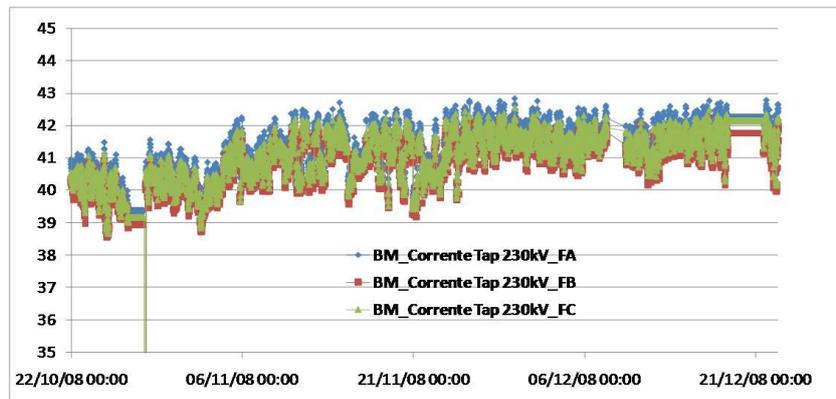


Fig. 6 – Histórico de dois meses das correntes de fuga das buchas de 230 kV do TF3

A figura 5.(b) ilustra a situação em que a bucha está com a isolamento principal deteriorada e parcialmente em curto-circuito. Neste caso, o número de capacitores em série diminui, aumentando a capacitância equivalente C_1 e aumentando conseqüentemente a corrente de fuga da bucha.

Com efeito, a figura 7 mostra que, até o instante da gravação no banco de dados efetuada às 22:05h do dia 23/12, todas as correntes de fuga apresentavam valores normais, ao redor dos 41 mA teóricos. Na próxima gravação, 15 minutos depois (22:20h), a corrente da fase B havia aumentado cerca de 40%, ultrapassando 57 mA. Como a corrente de fuga é diretamente proporcional à capacitância C_1 , isso indica a ocorrência de um aumento de 40% nessa capacitância, o que significa que 40% da isolamento estariam em curto-circuito.

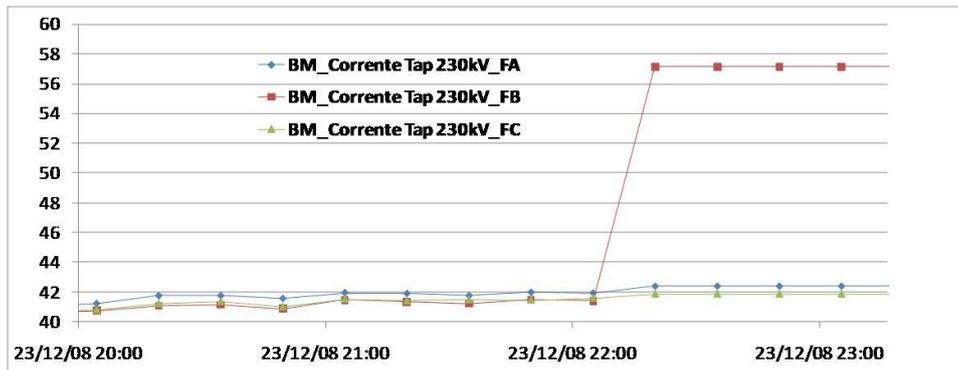


Fig. 7 – Correntes de fuga das buchas 230 kV nos instantes próximos à falha da fase B

Sabe-se, a partir dos dados do sistema de proteção, que a falha da bucha e desligamento forçado do banco TF3 ocorreu às 22:12h, o que indica que a evolução do defeito na bucha, partindo da condição normal até a sua falha completa, ocorreu em um tempo menor ou igual a 7 minutos (entre 22:05h e 22:12h).

Posteriormente o transformador foi inspecionado internamente, constatando-se que houve explosão da extremidade inferior da bucha. Também foi inspecionada a conexão do monitor de buchas ao tap da bucha, que é efetuada através de um adaptador de tap, não se encontrando quaisquer sinais de falha na conexão.

4.2 Experiência da Chesf

O monitor de buchas BM Treetech foi instalado dia 14/12/2005 na Usina de Xingó, da Chesf, para monitoramento on-line das buchas de 500 kV do banco de transformadores elevadores 01T3. Dia 31/12/2005 ocorreu a falha da bucha da fase B [8].

Nesse caso observou-se comportamento similar ao ocorrido na SE Santo Ângelo da Eletrosul, porém com tempo de evolução do defeito até a falha maior. Nessa aplicação o monitor de buchas estava instalado de forma autônoma, sem conexão ao software de monitoramento on-line, de forma que os dados disponíveis são provenientes da memória de massa local do monitor de buchas.

Como mostra a figura 8, a evolução da capacitância até a falha da bucha ocorreu em um período de aproximadamente 13 horas. A elevação da capacitância em relação ao valor inicial, até o momento da falha, foi de 19% (de 549 pF para 654 pF). No mesmo período, a tangente delta apresentou variação de 10 vezes, de 0,27% para 2,88%.

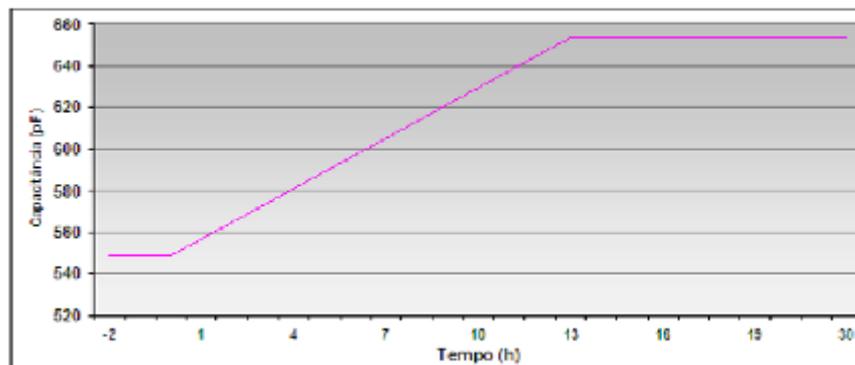


Fig. 8 – Detecção de aumento de capacitância em bucha 525 kV da Chesf [8]

Embora o tempo de evolução da falha seja, nesse caso, bastante superior ao verificado na SE Santo Ângelo, trata-se ainda de um tempo muito inferior ao que seria esperado com base no senso comum do mercado [5] [6] [7], que seria de semanas ou meses. Portanto, esta experiência ajuda a confirmar a possibilidade de ocorrência de defeitos com evolução bem mais rápida que o inicialmente esperado.

A falha da bucha na usina de Xingó ocorreu quando o Monitor de Buchas BM ainda não havia sido interligado a um sistema de supervisão remota, razão pela qual o defeito passou despercebido à operação até o momento da falha.

5.0 - SISTEMA DE MONITORAÇÃO ON-LINE PARA DETECÇÃO DE DEFEITOS DE EVOLUÇÃO RÁPIDA

Conforme exposto, diversos especialistas [5] [6] [7] consideram que a evolução dos defeitos em buchas é lenta e gradual, com tempos da ordem de semanas ou meses. De fato, experiências com a medição periódica off-line de Capacitância e Tangente Delta [4], e também com a monitoração on-line [2], corroboram essa noção.

No entanto, deve-se levar em conta que a maior parte dos dados acumulados pela experiência de manutenção em buchas é originária de medições periódicas off-line, com intervalos da ordem de vários anos [3]. Considerando que, na grande maioria das vezes, as medições off-line somente serão capazes de detectar defeitos em evolução e evitar falhas de buchas nos casos em que o defeito tiver evolução lenta, é natural, portanto, que se transmitisse a impressão de que todas as falhas têm evolução lenta. Nos casos em que a bucha chegava a falhar no intervalo entre os ensaios off-line era impossível saber qual foi de fato a velocidade de evolução da falha, e muitas delas podem ter tido evolução rápida.

Com a popularização da monitoração on-line, iniciada muito recentemente, o acompanhamento contínuo da evolução das alterações na Capacitância e Tangente Delta tem permitido observar muitos casos em que, de fato, a evolução foi lenta, mas tem evidenciado também alguns outros em que a evolução se deu de forma rápida ou muito rápida, como demonstrado nos exemplos dos itens 4.1 e 4.2 acima.

Esse fato traz à tona a necessidade de existência de mecanismos nos sistemas de monitoração on-line para detectar e dar alarme ao usuário quando da ocorrência de defeitos desse tipo. Simultaneamente, não se deve perder a capacidade de detecção dos defeitos com evolução lenta de Capacitância e Tangente Delta, já disponível atualmente com a técnica de soma vetorial das correntes de fuga.

Para atender a essa necessidade, as experiências obtidas pela Treetech nas aplicações aqui expostas, na Eletrosul e Chesf, bem como outras aplicações ainda não publicadas, permitiu o desenvolvimento de um sistema, com patentes requeridas mundialmente, para detecção e alarme de evolução rápida de defeitos em que a isolação da bucha está se curto-circuitando (aumentando sua capacitância) e caminhando para uma falha iminente, como descrito a seguir.

5.1 Detecção de defeitos com evolução rápida

O efeito imediato quando a isolação da bucha está se curto-circuitando e caminhando para a falha completa é o aumento da corrente de fuga, devido ao aumento da capacitância equivalente quando camadas de isolação são curto-circuitadas.

Com isso, são programados no monitor de buchas valores limite para emissão de alarmes por correntes de fuga alta e muito alta, proporcionando dois níveis de alarme com diferentes níveis de gravidade. Para evitar a emissão de alarmes indevidos causados por sobretensões transitórias, os alarmes possuem temporizações ajustáveis pelo usuário.

Como mostrado no item 4.2, na experiência da Chesf verificou-se tempo de evolução do defeito de várias horas. Isso permitiria suficiente tempo para uma tomada de decisão pela engenharia de manutenção e/ou operação da concessionária, uma vez emitido o alarme de evolução rápida de defeito pelo monitor de buchas.

Entretanto, a experiência da Eletrosul (item 4.1) demonstrou tempo de evolução muito pequeno, inferior a 7 minutos, o que deixaria os operadores praticamente sem tempo para uma tomada de decisão. Com isso, não se deve excluir a possibilidade, a critério do usuário, de que o monitor de buchas emita sinal para desligamento automático do transformador, mesmo que após uma curta temporização após um primeiro aviso.

Nesse caso o sistema de monitoração passaria a atuar também como um sistema de proteção, demandando elevada confiança de que a medição indicativa de falha iminente está correta. A mesma necessidade existe também no caso em que a decisão pelo desligamento é manual e não é automática, pois a decisão dos operadores estará calcada na informação provida pelo monitor de buchas.

Para garantir a confiabilidade, da medição e eliminar a possibilidade de alarmes falsos devidos a defeitos de hardware, por exemplo, uma estrita checagem de consistência é realizada pelo monitor de buchas, como descrito a seguir.

5.2 Checagem de consistência do alarme

Como mostra a figura 9, quaisquer alterações ocorridas nas correntes de fuga das buchas são refletidas também na somatória vetorial das correntes. Com isso, a veracidade de uma ocorrência de corrente de fuga elevada em uma das fases pode ser verificada, antes da geração de alarmes de corrente de fuga alta ou muito alta, comparando as medições das correntes de fuga individuais com a medição da soma vetorial, que devem estar sempre consistentes.

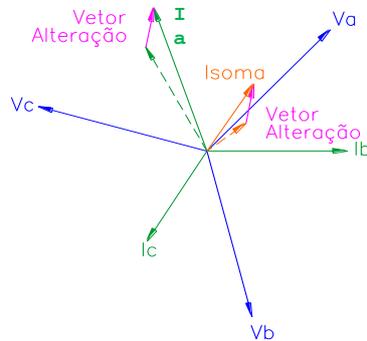


Fig. 9 – Reflexo da alteração em uma corrente de fuga individual (no exemplo, da fase A) sobre a soma vetorial das correntes

Se uma medição de corrente de fuga alta não encontrar confirmação na medição da somatória das correntes, a emissão do alarme é bloqueada. Ao invés do alarme, o monitor de buchas emite então um aviso de autodiagnóstico alertando para a existência de inconsistência nas medições.

Tal procedimento, com patentes requeridas, garante a confiabilidade dos alarmes de corrente de fuga alta, gerando nos usuários a confiança necessária para, com base nessas informações, tomar ações que poderão ser drásticas em muitos casos, como o desligamento imediato do transformador.

6.0 - CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou as experiências da Eletrosul, Chesf e Tretech com a aplicação de sistemas de monitoramento on-line de buchas. Nessas aplicações, o monitoramento on-line permitiu a detecção de defeitos nas buchas com tempos de evolução curtos, da ordem de horas em um caso e minutos em outro, expondo assim a existência de modos de falha não considerados anteriormente pelos especialistas, que em geral supunham que as falhas tinham tempos de evolução longos [5] [6] [7].

Os dados obtidos nesses casos demonstraram um importante papel cumprido pelo monitoramento on-line, muitas vezes não percebido quando da implantação desses sistemas, que é permitir a análise detalhada da evolução de defeitos, o que seria impossível sem o monitoramento on-line, pois todas as evidências seriam destruídas após a falha. Dessa forma, o monitoramento contribui para o aumento do conhecimento dos fenômenos associados às falhas e conseqüentemente para o aumento da confiabilidade dos equipamentos de alta tensão, além de permitir o aperfeiçoamento do próprio sistema de monitoramento.

Com base nesse novo conhecimento adquirido, foi possível desenvolver uma técnica para detecção e alarme de defeitos de evolução rápida, dotada de mecanismos de segurança que checam a consistência da informação antes da emissão dos alarmes. Com isso, a confiabilidade da medição é aumentada, dando confiança aos usuários para a tomada de decisões, às vezes drásticas, como o desligamento de um transformador, com base nesses alarmes. Eventualmente, a critério dos usuários, os alarmes citados podem ser utilizados até mesmo para o desligamento automático do transformador considerando que defeitos com tempos de evolução de poucos minutos podem não permitir tempo para a tomada de decisão pelos operadores.

Cabe ressaltar que as experiências do setor elétrico, tanto com medições off-line de Capacitância e Tangente Delta [4], quanto nas aplicações com monitoração on-line [2], indicam que defeitos de evolução rápida, embora certamente existam em número não desprezível, provavelmente não são os mais freqüentes, sendo os defeitos de evolução lenta predominantes. Com isso, a nova técnica de alarme desenvolvida deve coexistir com as técnicas já existentes, que permitem a detecção de defeitos de evolução lenta nas suas fases iniciais, não se eliminando, portanto, as monitorações on-line de Capacitância e Tangente Delta pelo método tradicional da soma vetorial da corrente de fuga, o qual é válido e recomendado para a prevenção da maioria das falhas em buchas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ELECTRA, "An International Survey on Failures in Large Power Transformers in Service", Paris, CIGRE, Ref. no. 88, 1983.
- [2] Melo, Marcos A. C., Alves, Marcos, "Experiência com Monitoração On-Line de Capacitância e Tangente Delta de Buchas Condensivas", XIX SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, Brasil, 2007.
- [3] The Institute of Electrical and Electronic Engineers, ANSI/IEEE Std C57.19.100-1995, "IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings", Março/1995
- [4] Melo, Marcos A. C., "Investigação de Ocorrências em Buchas de Transformadores e Reatores Utilizando o Doble M-4000", IV Conferência da Doble Brasil – Cemig. Belo Horizonte, Brasil, 2003.
- [5] Sokolov, V., et.al., "Bushing and HV Current Transformer On-line Monitoring Using M4000 Analyser".
- [6] Lachman, M., et. al., "On-Line Diagnostics of High-Voltage Bushings and Current Transformers Using the Sum Current Method", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 15, No. 1, January 2000.
- [7] Gill, P., "Electric Power Equipment Maintenance and Testing", 2a ed., 2009, CRC Press.
- [8] Heredia, Leonardo Alves; "Caracterização, Manutenção e Monitoramento on-line de Buchas Condensivas para Transformadores de Potência"; Dissertação de Mestrado; Universidade Federal de Pernambuco; Setembro de 2008.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Marcos E. G. Alves (M'2007) Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 15 de Julho de 1975, trabalha com a Treetech desde 1992. Especializado em sistemas de controle e monitoramento de transformadores de potência, coordena o departamento de PD&I. Formou-se engenheiro elétrico em 2001 pela Universidade São Judas Tadeu, SP, e em 2005 concluiu o Mestrado na área de Energia e Automação da Universidade de São Paulo (USP). Está cursando atualmente o doutorado em Energia pela mesma universidade.

Miguel C. Medina Pena

Claudio Severino