



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

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

GRUPO -XIII

GRUPO DE ESTUDIO DE TRANSFORMADORES, REACTORES, MATERIALES Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES - GTM

DEFECTOS DE EVOLUCIÓN RÁPIDA Y MUY RÁPIDA EN BUSHINGS DETECTADOS POR MONITOREO ONLINE

Marcos E. G. Alves*

Miguel C. Medina Pena

Claudio Severino

TREETECH SISTEMAS DIGITAIS

ELETROBRAS CHESF

ELETROBRAS ELETROSUL

RESUMEN

Debido a las muchas fallas en transformadores originadas en los bushings, y para reducir las desconexiones para ensayos, los ensayos offline en los bushings han sido sustituidos por el monitoreo online, que ha proveído datos inéditos sobre la forma y el tiempo de evolución de los defectos. En general, se consideraba que las fallas en bushings tienen evolución lenta, de semanas o meses. Aunque eso sea verdadero en muchos casos, este trabajo presentará las experiencias de Chesf y de Eletrosul, en las cuales los datos de monitoreo online indicaron tiempos de evolución de los defectos de minutos u horas. Será presentada una nueva metodología para detección y alarma de defectos de evolución rápida que, utilizada en conjunto con las técnicas actuales de detección de defectos de evolución lenta en etapa inicial, permitirá un aumento aún mayor en la confiabilidad del suministro de energía eléctrica.

PALABRAS CLAVE: Monitoreo online, Bushings, Fallas, Diagnóstico, Pronóstico.

1.0 - INTRODUCCIÓN

Según estadísticas de Cigre de 1983, obtenidas a partir de una pesquisa internacional sobre fallas en transformadores [1], una gran parte de ellas tiene origen en los bushings condensivos: 33,3% en transformadores de usinas sin conmutador bajo carga (OLTC), 20% en transformadores de subestaciones sin OLTC y 12,3% en transformadores de subestaciones con OLTC, como muestra la figura 1. A pesar de la falta de estadísticas más recientes sobre el tema, el historial de ocurrencias [2] involucrando bushings en los últimos años en Brasil parece confirmar su importante participación en las fallas de transformadores.

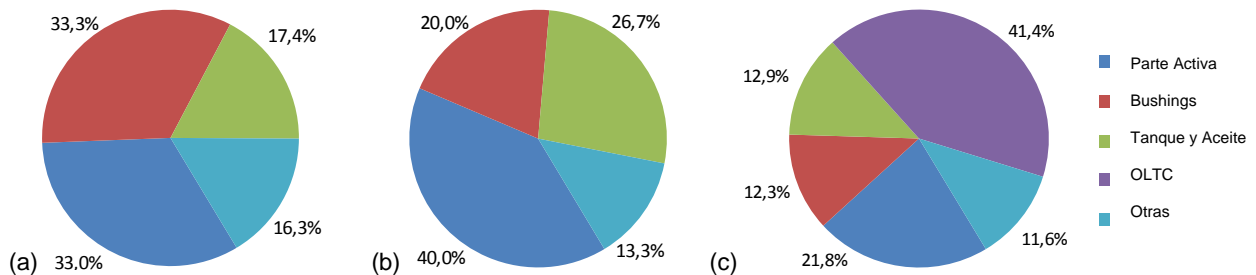


Figura 1 – Estadística de las causas para parada de funcionamiento de transformadores. (a) Transformadores de usinas, sin OLTC; (b) Transformadores de subestaciones, sin OLTC; (c) Transformadores de subestaciones, con OLTC [1].

En función de eso, diversos sistemas de monitoreo online de bushings han sido aplicados por las concesionarias de energía eléctrica en Brasil y en el mundo, con fuerte tendencia de sustitución de los ensayos offline por el monitoreo online, principalmente en las generadoras y transmisoras, pero con aplicaciones también en las distribuidoras.

Esos sistemas, además de reducir la probabilidad de ocurrencias catastróficas, por la detección precoz de defectos, y disminuir los costos de operación y mantenimiento, al reducir o eliminar paradas para ensayos en bushings, también han cumplido el importante papel de proveer datos inéditos sobre la forma de evolución de los defectos en bushings, algo raramente disponible hasta entonces, visto que en la mayoría de los casos la existencia del defecto apenas se volvía conocida después de la falla, cuando gran parte de las informaciones es destruida.

El sentido común y la experiencia del sector eléctrico con la operación y el mantenimiento preventivo de transformadores y reactores de potencia tienden a indicar que, en general, la evolución de defectos en bushings ocurre de forma lenta, con tiempos del orden de semanas o meses. Esa es una premisa que viene siendo empleada de forma general en el mercado por los sistemas de monitoreo online de bushings, que en ella basan su operación. De hecho, esa premisa puede ser verdadera en muchos casos, como confirman experiencias con mediciones offline en bushings y, más recientemente, con monitoreo online, que detectó la evolución del defecto y permitió que se evitara la falla del bushing con parada programada para su sustitución [2].

Aún así, datos antes no disponibles, ahora disponibles con los sistemas de monitoreo online, demuestran que ni siempre eso es verdadero. Este trabajo presentará las experiencias de Chesf y de Eletrosul con el monitoreo online de bushings y los datos de evolución de defectos en ellos, que indican que los tiempos de evolución pueden ser mucho más cortos que lo esperado. La forma y la velocidad de evolución de los defectos serán comparadas con experiencias en las cuales la evolución se dio de forma lenta.

2.0 - MONITOREO ONLINE DE BUSHINGS CONDENSIVOS

Las mediciones de capacitancia y tangente delta del aislamiento de los bushings son indicadores consagrados para el diagnóstico de estado de ese equipo. La norma ANSI/IEEE C57.19.100-1995 [3], publicada anteriormente a la popularización del monitoreo online, sugiere intervalos típicos de 3 a 6 años para que se efectúen esas mediciones de forma offline. Un estudio comparativo [4] entre las mediciones offline de esos parámetros y análisis de gases disueltos en el aceite de bushings con sospecha de defectos en evolución comprueba la eficacia de las mediciones de capacitancia y tangente delta para el diagnóstico de defectos en bushings.

Aún así, la medición de esos parámetros de forma offline y periódica anula en gran parte su eficacia, debido a la posibilidad de que defectos se desarrollen en el intervalo entre dos mediciones, pudiendo culminar en fallas graves, a la necesidad de desconexión del equipo para que se realicen las mediciones, acarreando costos por indisponibilidad y reduciendo la confiabilidad general del sistema eléctrico, y a la ocupación del personal del sector de mantenimiento, generalmente con número reducido de individuos, para la realización de las pruebas.

Con eso, el monitoreo online de la capacitancia y tangente delta de bushings condensivos se ha afirmado como la respuesta a esos inconvenientes, al monitorear de forma continua posibles cambios en esos parámetros, permitiendo la detección de defectos en el aislamiento en fase inicial.

Diversas técnicas han sido empleadas para el monitoreo online de bushings. De entre ellas, el método de suma vectorial de las corrientes de fuga de los bushings de un conjunto trifásico se ha destacado, por las siguientes características:

- Permite el monitoreo online de cambios tanto de la capacitancia cuanto de la tangente delta – otras técnicas no son capaces de monitorear la tangente delta.
- No demanda la medición de las tensiones fase-tierra aplicadas a los bushings, necesaria en otras técnicas de medición – muchas veces no existen transformadores de potencial disponibles en la instalación para proveer esas informaciones de tensión.

En cada uno de los bushings, la corriente de fuga fluye a través de la capacitancia C_1 para tierra, pasando por el tap capacitivo, siendo esa corriente función de la tensión fase-tierra y de la impedancia del aislamiento. De esa forma, cualquier alteración en la impedancia del aislamiento (capacitancia o tangente delta) se reflejará en una alteración correspondiente en la corriente de fuga que, en teoría, se podría utilizar para la detección de la alteración ocurrida en la impedancia.

Entretanto, uno de los obstáculos encontrados para la detección conforme descrito arriba es el orden de grandeza de las alteraciones que se desea monitorear. Alteraciones tan pequeñas cuanto un incremento algebraico de 0,3%

en la tangente delta de un bushing pueden representar la diferencia entre un bushing nuevo, en buenas condiciones, y un bushing en el límite de lo aceptable. Queda evidente que una alteración tan pequeña en el factor de disipación provocará una alteración prácticamente insignificante en la corriente de fuga de bushing, volviendo inviable su detección por medio del monitoreo apenas de la corriente de fuga de cada bushing.

Para superar esa dificultad, la técnica de suma vectorial de las corrientes de fuga se aprovecha del hecho de que las tres corrientes de fuga estén desfasadas entre sí en aproximadamente 120° , y normalmente tienen la misma orden de magnitud. Con eso, la suma vectorial tiende a un valor bastante menor que cada una de las corrientes de fuga tomadas individualmente, como ilustrado en la figura 2(a) para una determinada condición inicial de capacitancias y tangentes deltas.

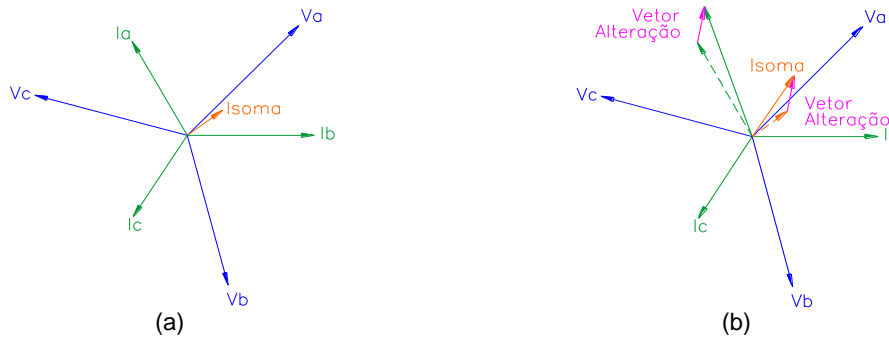


Figura 2 – Corrientes de fuga de tres bushings en un sistema trifásico y su total; (a) Para una determinada condición inicial; (b) Con alteración en la capacitancia y el factor de disipación del bushing de la fase A.

Suponiendo ahora una alteración en la capacitancia y en el factor de disipación del bushing de la fase A, como mostrado en la figura 2(b), el Vector Alteración que expresa el desplazamiento de la corriente I_a de su valor inicial hasta su valor final se refleja también en la corriente total, que es alterada en relación con su valor inicial según el mismo Vector Alteración.

Ese Vector Alteración tiene peso prácticamente insignificante cuando comparado a la magnitud de la corriente de fuga de la fase A. Pero lo mismo no ocurre cuando ese vector es comparado a la suma de la corriente, lo que permite su detección y, por consiguiente, la detección de la alteración ocurrida en la impedancia del bushing en cuestión. De esa forma, la técnica de suma vectorial de las corrientes de fuga proporciona un aumento de sensibilidad que viabiliza el monitoreo de las alteraciones ocurridas tanto en la capacitancia cuanto en la tangente delta del aislamiento.

Aún así, las corrientes de fuga de los bushings son función no apenas de sus capacitancias y tangentes deltas, pero también de las tensiones fase-tierra del sistema. Una vez que estas últimas frecuentemente no están disponibles para medición por el sistema de monitoreo, como explicado anteriormente, la posible influencia de variaciones en las tensiones fase-tierra sobre las mediciones de variaciones en la capacitancia y tangente delta es eliminada por técnicas propietarias avanzadas de procesamiento de señales, que incluyen también tratamientos estadísticos de los datos.

Esos tratamientos estadísticos presuponen el uso de una masa de datos, acumulada a lo largo del tiempo de operación del sistema, la cual es actualizada continuamente con las mediciones de corrientes de fuga y la suma de las corrientes más recientes. Por ese motivo, el sistema de monitoreo online posee un tiempo de respuesta a las variaciones ocurridas en la capacitancia y en la tangente delta que puede variar de varias horas a algunos días, con la finalidad de confirmar que la alteración de capacitancia y/o tangente delta es real, y no causada por oscilaciones en las tensiones del sistema eléctrico.

Especialistas del sector eléctrico han defendido la premisa de que la evolución de defectos en bushings condensivos ocurre de forma lenta, con tiempos del orden de días o semanas, como indica Sokolov et. al. [5], que fue uno de los idealizadores, en la antigua URSS, del método de monitoreo por suma de las corrientes de fuga, y como indica también Lachman [6]. Gill también afirma [7]: “Esas fallas ocurren lentamente a lo largo del tiempo, con una camada fallando lentamente y carbonizando a través del papel kraft” (traducción del autor).

Considerando esa premisa, el tiempo de respuesta del sistema de monitoreo a las variaciones ocurridas en la capacitancia y tangente delta no presentaría cualquier inconveniente para la detección de defectos en evolución en los bushings, permitiendo también tiempo suficiente para la toma de acciones por el usuario en caso de detección de un defecto en evolución.

De hecho, esa premisa se mostró verdadera en varios casos, como ejemplifican la experiencia de Furnas con mediciones offline en bushings [4], en que un intervalo de medición de tres meses fue suficiente para la detección de diversos defectos en evolución lenta en los bushings, y la experiencia con el monitoreo online [2], también en Furnas, expuesta a seguir.

3.0 - EXPERIENCIA COM DETECCIÓN ONLINE DE DEFECTO DE EVOLUCIÓN LENTA

En noviembre de 2005 fue instalado el sistema de monitoreo de bushings BM Treotech para monitoreo online de los bushings de 550 kV y 245 kV de un banco de autotransformadores monofásicos 133,33 MVA y de los bushings de 550 kV de un banco de reactores monofásicos de 55 MVar. El comportamiento típico de las mediciones de capacitancia es mostrado en la figura 3, donde se verifican oscilaciones inferiores a 0,2% de la medición en los bushings de 550 kV de los autotransformadores durante el mes de enero de 2007, más de un año después de la instalación del sistema [2].

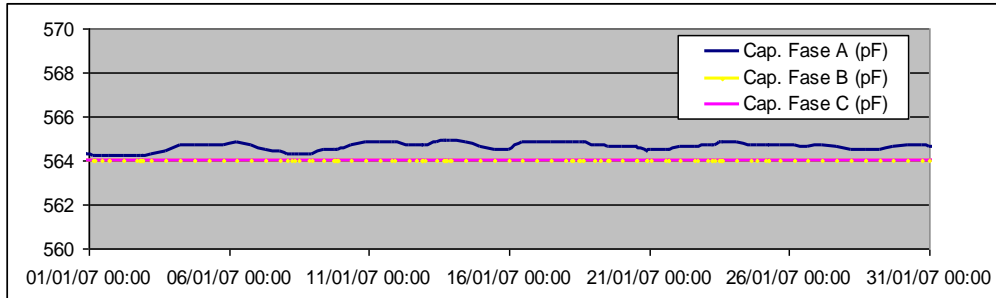


Figura 3 – Comportamiento típico de las mediciones de capacitancia en los bushings de 550 kV de los autotransformadores [2].

La instalación del monitoreo online de bushings fue motivado por las sospechas de que existían en relación con una familia de bushings. Esas sospechas fueron confirmadas durante la operación del sistema de monitoreo, que en el inicio de abril de 2006 emitió alarma debido a una gran elevación de la capacitancia del bushing de 550 kV del autotransformador de la fase A, saliendo de 560 pF para 594 pF, aumento de cerca de 6%, como muestra la figura 4 [2].

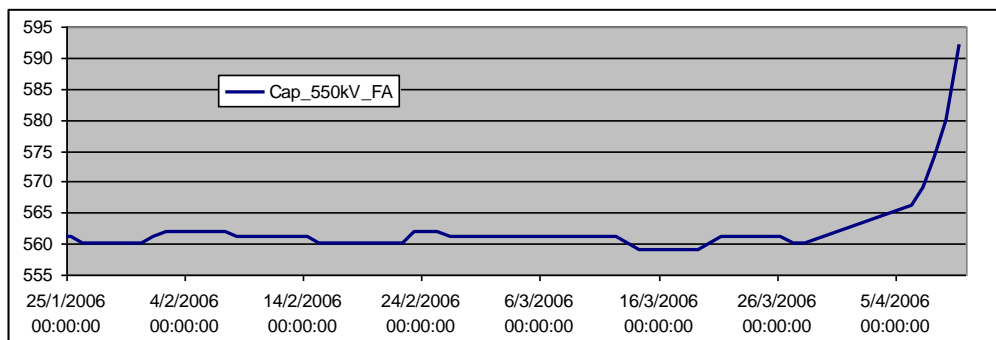


Figura 4 – Aumento de la capacitancia en el bushing de 550 kV del autotransformador de la fase A [2].

La evolución del defecto fue observada a lo largo de aproximadamente 10 días, cuando se tomó la decisión de desconexión del banco de autotransformadores debido al aumento de la tasa de elevación de la capacitancia [2].

Con el banco desenergizado, fueron efectuadas mediciones offline de capacitancia, además de ser retiradas muestras de aceite para análisis de gases disueltos en laboratorio. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de Furnas y también al del fabricante de los autotransformadores, ambos indicando resultados parecidos, mostrados en la tabla 1. Se observan elevadas concentraciones de gases combustibles, principalmente acetileno (C_2H_2), con casi 7.000 ppm, lo que confirma la existencia de un defecto interno en evolución en el bushing [2].

Tabla 1 – Gases disueltos en el aceite del bushing del autotransformador de la fase A [2].

Gas	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	TGC
-----	----------------	----------------	----------------	-----------------	----	-----------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----

Concentración (ppm)	7.401	2.100	47.969	5.477	2.000	10.665	4.597	1.728	6.904	28.107
---------------------	-------	-------	--------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	--------

La experiencia práctica aquí descrita es un ejemplo típico de un defecto en un bushing que evolucionó lentamente, conforme la premisa defendida por Sokolov et. al. [5], Lachman [6] y Gill [7], demostrando que, de hecho, tal comportamiento es posible y ocurre en muchos de los casos de defectos, sino en la mayor parte de ellos, como parece indicar la experiencia de Furnas con mediciones offline en bushings [4], en que intervalos de medición de tres meses fueron suficientemente cortos para permitir la detección de diversos defectos en evoluciones en bushings.

4.0 - EXPERIENCIAS CON DEFECTOS DE EVOLUCIÓN RÁPIDA EN BUSHINGS

4.1 Experiencia de Eletrosul

En octubre de 2008 fue instalado en la SE Santo Ángel de Eletrosul el monitor de bushings BM Treotech en el banco de transformadores TF3, el cual fue interconectado al software de monitoreo online Sigma4Net, que almacena las mediciones en banco de datos a cada 15 minutos.

Como muestra la figura 5(a), al ser energizado el bushing, su arreglo constructivo origina una corriente de fuga predominantemente capacitiva, que circulará en dirección al tap y a la entrada de medición del monitor de bushings, fluyendo entonces a tierra.

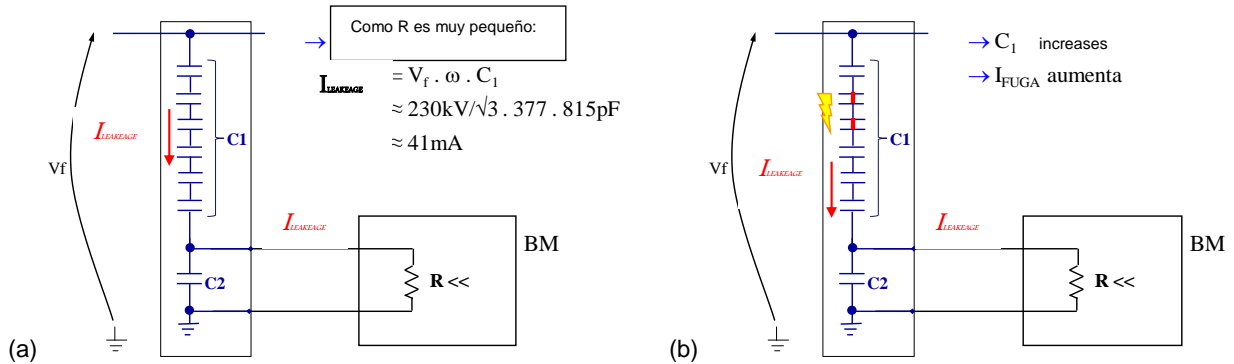


Figura 5 – Corriente de fuga capacitiva con el bushing energizado; (a) Con el bushing en condiciones normales; (b) Con capas del aislamiento en cortocircuito.

El módulo de la corriente de fuga es determinado por la tensión fase-tierra del sistema, por su frecuencia angular y por la capacitancia C_1 del bushing. Como muestra la figura 5(a), para las condiciones particulares de los bushings de 230 kV del TF3, esta corriente de fuga sería del orden de 41 mA. De hecho, durante los dos meses en que el sistema de monitoreo estuvo adquiriendo datos, las corrientes de fuga de los bushings de 230 kV de las fases A, B y C oscilaron siempre al rededor de ese valor (figura 6), con esas tres corrientes siempre en concordancia entre sí (las variaciones observadas se deben a las fluctuaciones de las tensiones fase-tierra del sistema). Eso indica que, durante ese período, las capacitancias C_1 de los bushings estaban próximas de su valor nominal, o sea, no existían porciones del aislamiento principal en cortocircuito.

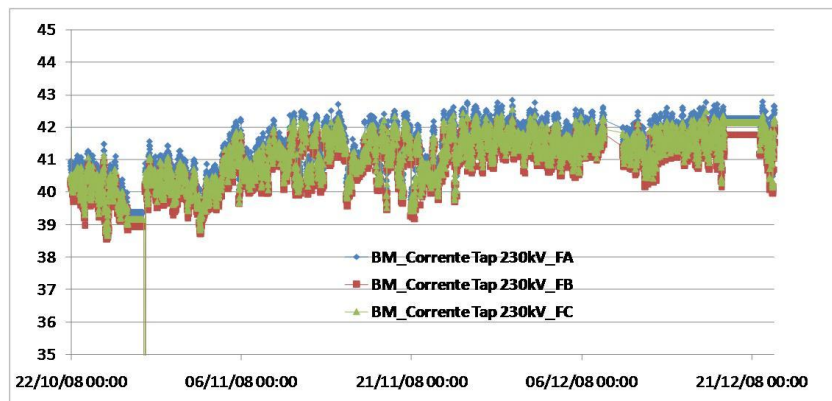


Figura 6 – Historial de dos meses de las corrientes de fuga de los bushings de 230 kV del TF3.

La figura 5(b) ilustra la situación en que el bushing está con el aislamiento principal deteriorado y parcialmente en cortocircuito. En ese caso, el número de capacitores en serie disminuye, aumentando la capacitancia equivalente C_1 y aumentando consecuentemente la corriente de fuga del bushing.

En efecto, la figura 7 muestra que, hasta el instante de la grabación en el banco de datos efectuada a las 22h05 del día 23/12, todas las corrientes de fuga presentaban valores normales, al rededor de los 41 mA teóricos. En la próxima grabación, 15 minutos después (22h20), la corriente de la fase B había aumentado cerca de 40%, ultrapasando 57 mA. Como la corriente de fuga es directamente proporcional a la capacitancia C_1 , eso indica la ocurrencia de un aumento de 40% en esa capacitancia, lo que significa que 40% del aislamiento estarían en cortocircuito.

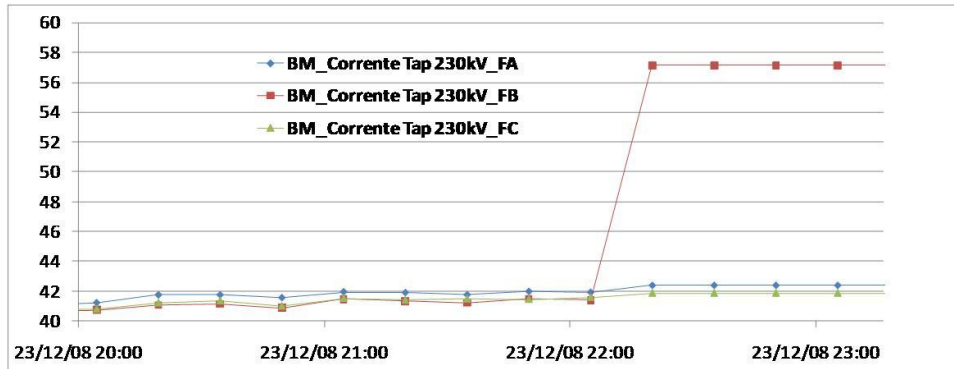


Figura 7 – Corrientes de fuga de los bushings 230 kV en los instantes próximos a la falla de la fase B.

Se sabe, a partir de los datos del sistema de protección, que la falla del bushing y la desconexión forzada del banco TF3 se dio a las 22h12, lo que indica que la evolución del defecto en el bushing, partiendo de la condición normal hasta su falla completa, se dio en un tiempo menor o igual a 7 minutos (entre 22h05 y 22h12).

Posteriormente, el transformador fue inspeccionado internamente, y se constató que hubo explosión de la extremidad inferior del bushing. También fue inspeccionada la conexión del monitor de bushings al tap del bushing, que es efectuada a través de un adaptador de tap, y no se encontraron señales de falla en la conexión.

4.2 Experiencia de Chesf

El monitor de bushings BM Treotech fue instalado el día 14/12/2005 en la Usina de Xingó, de Chesf, para monitoreo online de los bushings de 500 kV del banco de transformadores elevadores 01T3. El día 31/12/2005 se dio la falla del bushing de la fase B [8].

En ese caso se observó un comportamiento similar al ocurrido en la SE Santo Ângelo de Eletrosul, pero con tiempo de evolución del defecto hasta la falla mayor. En esa aplicación el monitor de bushings estaba instalado de forma autónoma, sin conexión al software de monitoreo online, de forma que los datos disponibles son provenientes de la memoria de masa local del monitor de bushings.

Como muestra la figura 8, la evolución de la capacitancia hasta la falla del bushing se dio en un período de aproximadamente 13 horas. La elevación de la capacitancia en relación con el valor inicial, hasta el momento de la falla, fue de 19% (de 549 pF para 654 pF). En el mismo período, la tangente delta presentó variación de 10 veces, de 0,27% para 2,88%.

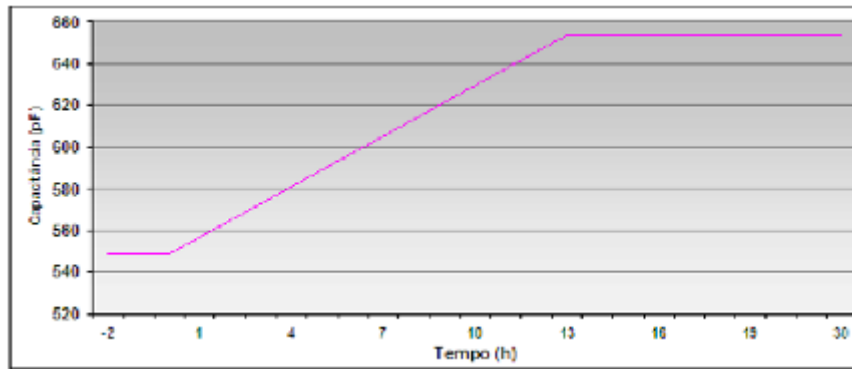


Figura 8 – Detección de aumento de capacitancia en bushing 525 kV de Chesf [8].

Aunque el tiempo de evolución de la falla sea, en ese caso, bastante superior al verificado en la SE Santo Ángel, se trata aún de un tiempo muy inferior al que sería esperado con base en el sentido común del mercado [5] [6] [7], que sería de semanas o meses. Por lo tanto, esa experiencia ayuda a confirmar la posibilidad de ocurrencia de defectos con evolución mucho más rápida que lo inicialmente esperado.

La falla del bushing en la usina de Xingó se dio cuando el Monitor de Bushings BM aún no había sido interconectado a un sistema de supervisión remota, razón por la cual el defecto pasó desapercibido a la operación hasta el momento de la falla.

5.0 - SISTEMA DE MONITOREO ONLINE PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS DE EVOLUCIÓN RÁPIDA

Conforme expuesto, diversos especialistas [5] [6] [7] consideran que la evolución de los defectos en bushings es lenta y gradual, con tiempos del orden de semanas o meses. De hecho, experiencias con la medición periódica offline de capacitancia y tangente delta [4], y también con el monitoreo online [2], corroboran esa noción.

Aún así, se debe tener en cuenta que la mayor parte de los datos acumulados por la experiencia de mantenimiento en bushings se origina en mediciones periódicas offline, con intervalos del orden de varios años [3]. Considerando que, en la gran mayoría de las veces, las mediciones offline solamente serán capaces de detectar defectos en evolución y evitar fallas de bushings en los casos en que el defecto tenga evolución lenta, es natural, por lo tanto, que se transmitiera la impresión de que todas las fallas tienen evolución lenta. En los casos en que el bushing llegaba a fallar en el intervalo entre los ensayos offline era imposible saber cual fue de hecho la velocidad de evolución de la falla, y muchas de ellas pueden haber tenido evolución rápida.

Con la popularización del monitoreo online, iniciada muy recientemente, el seguimiento continuo de la evolución de las alteraciones en la capacitancia y tangente delta ha permitido observar muchos casos en que, de hecho, la evolución fue lenta, pero ha evidenciado también otros en que la evolución se dio de forma rápida o muy rápida, como demostrado en los ejemplos de los ítems 4.1 y 4.2 arriba.

Ese hecho deja clara la necesidad de que existan mecanismos en los sistemas de monitoreo online para detectar y dar alarma al usuario cuando ocurran defectos de ese tipo. Simultáneamente, no se debe perder la capacidad de detección de los defectos con evolución lenta de capacitancia y tangente delta, ya disponible actualmente con la técnica de suma vectorial de las corrientes de fuga.

Para atender a esa necesidad, las experiencias obtenidas por Tretech en las aplicaciones aquí expuestas, en Eletrosul y Chesf, así como otras aplicaciones aún no publicadas, permitieron el desarrollo de un sistema, con patentes requeridas mundialmente, para detección y alarma de evolución rápida de defectos en que el aislamiento del bushing se está cortocircuitando (aumentando su capacitancia) y caminando hacia una falla inminente, como descrito a seguir.

5.1 Detección de defectos con evolución rápida

El efecto inmediato cuando el aislamiento del bushing se está cortocircuitando y caminando hacia la falla completa es el aumento de la corriente de fuga, debido al aumento de la capacitancia equivalente cuando camadas de aislamiento son cortocircuitadas.

Con eso, son programados en el monitor de bushings valores límite para emisión de alarmas por corrientes de fuga alta y muy alta, proporcionando dos niveles de alarma con diferentes niveles de gravedad. Para evitar la emisión de alarmas indebidas causadas por sobretensiones transitorias, las alarmas poseen temporizaciones ajustables por el usuario.

Como mostrado en el ítem 4.2, en la experiencia de Chesf se verificó el tiempo de evolución del defecto de varias horas. Eso permitiría suficiente tiempo para una toma de decisión por el departamento de ingeniería de mantenimiento y/o operación de la concesionaria, una vez emitida la alarma de evolución rápida de defecto por el monitor de bushings.

Entretanto, la experiencia de Eletrosul (ítem 4.1) demostró tiempo de evolución muy pequeño, inferior a 7 minutos, lo que dejaría a los operadores prácticamente sin tiempo para una toma de decisión. Con eso, no se debe excluir la posibilidad, a criterio del usuario, de que el monitor de bushings emita una señal para desconexión automática del transformador, aunque después de una corta temporización luego de un primer aviso.

En ese caso, el sistema de monitoreo pasaría a actuar también como un sistema de protección, demandando elevada confianza de que la medición indicativa de falla inminente está correcta. La misma necesidad existe también en el caso en que la decisión por la desconexión es manual y no automática, pues la decisión de los operadores estará calcada en la información suministrada por el monitor de bushings.

Para garantizar la confiabilidad de la medición y eliminar la posibilidad de alarmas falsas debidas a defectos de hardware, por ejemplo, un estricto chequeo de consistencia es realizado por el monitor de bushings, como descrito a seguir.

5.2 Chequeo de consistencia de la alarma

Como muestra la figura 9, cualesquiera alteraciones ocurridas en las corrientes de fuga de los bushings se reflejan también en la suma vectorial de las corrientes. Con eso, la veracidad de una ocurrencia de corriente de fuga elevada en una de las fases puede ser verificada, antes de la generación de alarmas de corriente de fuga alta o muy alta, comparando las mediciones de las corrientes de fuga individuales con la medición de la suma vectorial, que deben estar siempre consistentes.

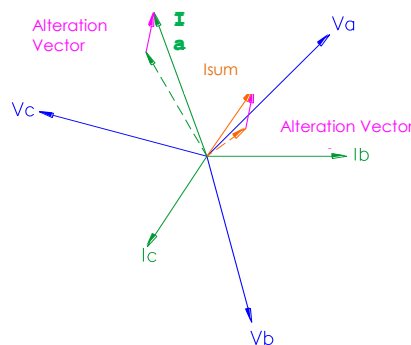


Figura 9 – Reflejo de la alteración en una corriente de fuga individual (en el ejemplo, de la fase A) sobre la suma vectorial de las corrientes.

Si una medición de corriente de fuga alta no encuentra confirmación en la medición de la suma de las corrientes, la emisión de la alarma es bloqueada. En vez de la alarma, el monitor de bushings emite entonces un aviso de autodiagnóstico alertando para la existencia de inconsistencia en las mediciones.

Tal procedimiento, con patentes requeridas, garantiza la confiabilidad de las alarmas de corriente de fuga alta, generando en los usuarios la confianza necesaria para, con base en esas informaciones, tomar acciones que podrán ser drásticas en muchos casos, como la desconexión inmediata del transformador.

6.0 - CONCLUSIONES

Este trabajo presentó las experiencias de Eletrosul, Chesf y Treotech con la aplicación de sistemas de monitoreo online de bushings. En esas aplicaciones, el monitoreo online permitió detectar defectos en los bushings con tiempos de evolución cortos, del orden de horas en un caso y minutos en el otro, exponiendo así la existencia de

modos de falla no considerados anteriormente por los especialistas, que en general suponían que las fallas tenían tiempos de evolución largos [5] [6] [7].

Los datos obtenidos en esos casos demostraron un importante papel cumplido por el monitoreo online, muchas veces no percibido cuando de la implantación de esos sistemas, que es permitir el análisis detallado de la evolución de defectos, lo que sería imposible sin el monitoreo online, pues todas las evidencias serían destruidas después de la falla. De esa forma, el monitoreo contribuye para el aumento del conocimiento de los fenómenos asociados a las fallas y consecuentemente para el aumento de la confiabilidad de los equipos de alta tensión, además de permitir el perfeccionamiento del propio sistema de monitoreo.

Con base en ese nuevo conocimiento adquirido, fue posible desarrollar una técnica para detección y alarma de defectos de evolución rápida, dotada de mecanismos de seguridad que chequean la consistencia de la información antes de la emisión de alarmas. Con eso, la confiabilidad de la medición es aumentada, dando confianza a los usuarios para la toma de decisiones, a veces drásticas, como la desconexión de un transformador, con base en esas alarmas. Eventualmente, a criterio de los usuarios, las alarmas citadas pueden ser utilizadas también para la desconexión automática del transformador considerando que defectos con tiempos de evolución de pocos minutos pueden no permitir tiempo para la toma de decisión por los operadores.

Cabe resaltar que las experiencias del sector eléctrico, tanto con mediciones offline de capacitancia y tangente delta [4] cuanto en las aplicaciones con monitoreo online [2], indican que defectos de evolución rápida, aunque ciertamente existan en número no despreciable, probablemente no son los más frecuentes, siendo los defectos de evolución lenta predominantes. Con eso, la nueva técnica de alarma desarrollada debe coexistir con las técnicas ya existentes, que permiten detectar defectos de evolución lenta en sus fases iniciales, no eliminando, por lo tanto, los monitoreos online de capacitancia y tangente delta por el método tradicional de la suma vectorial de la corriente de fuga, el cual es válido y recomendado para la prevención de la mayoría de las fallas en bushings.

7.0 - REFERENCIAS 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", Marzo/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., "Bushings 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, Enero 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; Setiembre de 2008.

8.0 - DATOS BIOGRÁFICOS



Marcos E. G. Alves (M'2007) - Nascido en Río de Janeiro, RJ, en 15 de julio de 1975, trabaja con Treetech desde 1992. Especializado en sistemas de control y monitoreo de transformadores de potencia, coordina el departamento de PD&I. Se graduó ingeniero eléctrico en 2001 por la Universidad Sao Judas Tadeu, SP, y en 2005 concluyó el maestrazgo en el área de Energía y Automación de la Universidad de Sao Paulo (USP). Está cursando actualmente el doctorado en Energía por la misma universidad.

Miguel C. Medina Pena

Claudio Severino