

EM

ELETRICIDADE MODERNA

ARANDA EDITORA ANO XXXIII Nº 373 ABRIL 2005

OS AVANÇOS E INOVAÇÕES DA TECNOLOGIA ELETROELETRÔNICA

Energia eólica:
as tecnologias
de geração

Painéis MT: o
que mudou com
a nova norma IEC

Redes subterrâneas
híbridas, com reticulado
e primário seletivo

Qualidade de energia:
padronizando a medição
da tensão eficaz

Painéis fotovoltaicos
no bombeamento
de água

EDIÇÃO ESPECIAL



FIEE 2005

23ª Feira Internacional da
Indústria Elétrica, Energia e Automação

Sistema de monitoração on-line de buchas condensivas

Este artigo mostra o princípio de funcionamento da monitoração on-line de buchas de alta tensão condensivas em equipamentos como transformadores e reatores, com exemplos de aplicações e a topologia típica de um sistema. A vantagem do sistema é evitar os desligamentos periódicos para testes, substituindo a manutenção preventiva pela manutenção baseada no estado, com economia e redução do risco de falhas.

Marcos Eduardo Guerra Alves,
da Treetech Sistemas Digitais

As buchas são acessórios aplicados em equipamentos de alta tensão com o objetivo de prover passagem à corrente elétrica entre o meio externo e o interior do equipamento, provendo também a isolamento necessária em relação à sua carcaça. Alguns dos exemplos de aplicação mais comuns são transformadores de potência, reatores de derivação e disjuntores de alta tensão.

Apesar de se tratar de um acessório nos diversos equipamentos citados, e em geral seu custo individual ser relativamente pequeno quando comparado ao custo global do dispositivo, as buchas desempenham uma função essencial à operação do equipamento. Por outro lado, estão sujeitas a esforços dielétricos consideráveis e uma falha em sua iso-

lação pode refletir-se em danos não somente à bucha, mas também ao equipamento a que está associada. Em casos extremos, uma falha dielétrica em uma bucha pode levar à total destruição do equipamento de alta tensão. No caso de um transformador de potência, por exemplo, os prejuízos com uma ocorrência desse porte podem ser de algu-

mas centenas de vezes o custo da bucha que originou o problema.

Entre os diversos tipos de bucha existentes, destacam-se, para aplicação em equipamentos de alta e extra-alta tensão, as buchas do tipo condensiva, em que seu corpo isolante consiste de diversas camadas isolantes cilíndricas concêntricas, intercaladas a camadas

O objetivo da monitoração on-line de buchas condensivas é a detecção de alterações na isolamento ainda em sua fase inicial, indicando o desenvolvimento de condições que poderão levar à falha dielétrica de equipamentos como transformadores e reatores



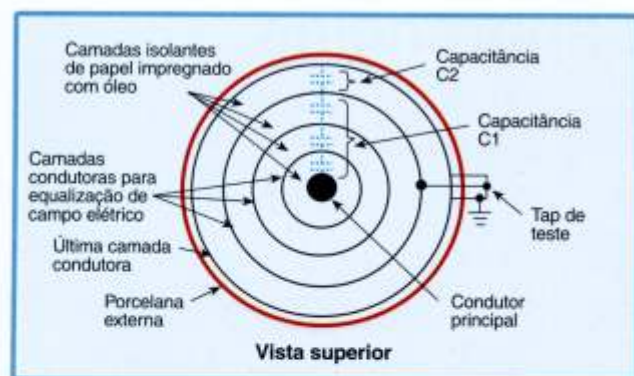


Fig. 1 – Forma construtiva de uma bucha condensiva

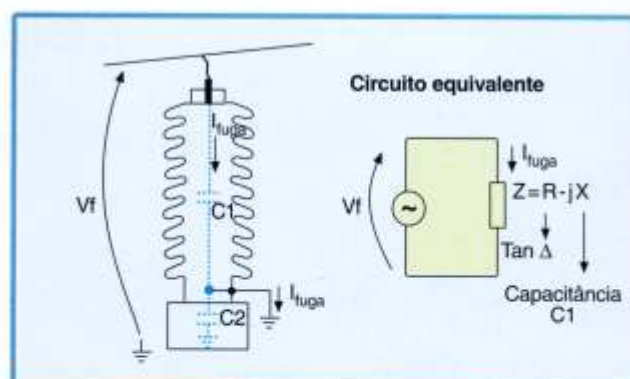


Fig. 2 – Circuito equivalente de uma bucha condensiva energizada

condutoras também cilíndricas, cuja função é uniformizar ao máximo o campo elétrico. A camada condutora mais interna pode estar eletricamente conectada ao condutor principal, de forma a aumentar o raio e diminuir o campo elétrico nessa região (diminuindo também os intensos campos elétricos que podem ser causados por rugosidades no condutor principal). A camada condutora mais externa é conectada à flange da bucha e esta, por sua vez, ao terra. Já as camadas condutoras intermediárias permanecem isoladas, com potencial flutuante.

Para aplicação ao tempo, todo esse conjunto estará contido em um invólucro impermeável, freqüentemente de porcelana. A conexão da última camada condutora (ou de uma das últimas camadas) ao terra é feita geralmente através de uma ligação removível, próxima à base da bucha, denominada *tap* de tensão ou *tap* de teste (ver figura 1).

O conjunto descrito atua eletricamente como diversos capacitores conectados em série, formando um divisor de tensão capacitivo. Dessa forma, a diferença de potencial total do condutor principal em relação ao terra é dividida igualmente entre os diversos capacitores.

Quando a tensão de operação é aplicada a uma bucha condensiva, uma corrente, denominada corrente de fuga, passa a circular através de sua isolamento, devido principalmente à sua capacitância, e em muito menor proporção, devido às suas perdas dielétricas (expressas pelo fator de dissipação ou tangente delta). A figura 2 ilustra essa situação, em que se pode observar o equivalente elétrico obtido com a construção

mostrada na figura 1, já com a bucha energizada.

Esse é o modelo elétrico equivalente “série”. Um modelo elétrico “paralelo” poderia também ser aplicado, atingindo os mesmos resultados. Com o modelo adotado, temos a seguinte corrente de fuga resultante:

$$I_{fuga} = \frac{V_f}{Z} = \frac{V_f}{R - jX}$$

onde:

R = componente resistiva da impedância da isolamento, que gera a parte resistiva da corrente de fuga, associada às perdas dielétricas; e

X = componente reativa devido à capacitância da isolamento.

O objetivo da monitoração *on-line* de buchas condensivas é a detecção de alterações na isolamento da bucha ainda em sua fase inicial, indicando o desenvolvimento de condições que poderão levar à falha dielétrica do equipamento. Para isso, é necessário detectar, com a bucha energizada, mudanças na capacitância e na tangente delta da isolamento, ou seja, mudanças na impedância Z da isolamento da bucha.

Metodologia

Em cada uma das buchas, a corrente de fuga I_{fuga} flui através da capacitância $C1$ para o terra, passando pelo *tap* de teste, sendo esta corrente função da tensão fase-terra e da impedância da isolamento. Dessa forma, qualquer alteração na impedância da isolamento (capacitância ou fator de dissipação) se refletirá em uma alteração correspondente na corrente de fuga que, na teoria, poderia ser utilizada para detectar a alteração ocorrida na impedância.

Entretanto, um dos obstáculos encontrados para a detecção conforme descrito é a ordem de grandeza das alterações que se deseja monitorar. Alterações tão pequenas quanto um incremento algébrico de 0,3% no fator de dissipação 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.

Uma das técnicas que permite superar a limitação prática demonstrada é a utilização da soma vetorial da corrente de fuga das três buchas em um sistema trifásico. Em um arranjo como este, as três correntes de fuga estão defasadas entre si em aproximadamente 120° e normalmente têm a mesma ordem de magnitude, pois as três buchas têm capacitâncias em princípio semelhantes e as tensões das três fases estão próximas do equilíbrio. Com isso, a somatória das três correntes de fuga tende a um valor bastante menor que cada uma das correntes de fuga tomadas individualmente, como ilustrado na figura 3 (a), para uma dada condição inicial de capacitâncias e fatores de dissipação.

Supondo agora que ocorra uma alteração na capacitância e no fator de dissipação da bucha da fase A, como mostrado na figura 3 (b), o vetor alteração ΔI , que expressa o deslocamento da corrente I_a de seu valor inicial até seu valor final, reflete-se também na corrente

Inovação e
Confiabilidade
em SPDA

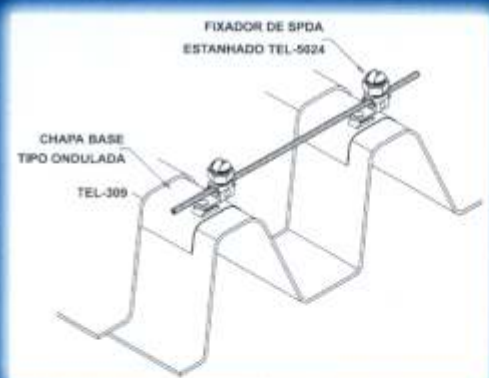
30
anos



www.tel.com.br

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----------|--|-----------|---------|---|---|----------|--|---|---|----------|--|
| <p>Informações Básicas</p> <p>Objetos Fragmentos</p> <p>Objetos Técnicas</p> <p>Foto Conexão</p> <p>Linha e Vídeo</p> <p>Atique Técnicas</p> <p>Para cabos Radicais</p> <p>Download</p> <p>Novo Itens</p> <p>Fotos de Instalação</p> <p>Cursos de Pôrto, curso</p> <p>Cursos</p> <p>Leão</p> <p>Cálculos On Line</p> <p>Instalações Simétricas</p> <p>Detalhes para CAD</p> | <p>Parâmetros de Especificação</p> <p>Comprimento = 30 metros</p> <p>Comprimento = 2 metros</p> <p>Altura = 3 metros</p> <p>Resultado dos Cálculos</p> <p>Índice de Proteção = 3</p> <p>Altura (h) total = 15 metros</p> <p>Quilômetro = 1</p> <p>Afastamento = 2 metros</p> <p>Enviar 2 metros</p> <p>Verifique sempre para ser a perfeição</p> <p>Lista de materiais</p> <table border="1"> <tr> <td>Item</td> <td>Quantidade</td> <td>Descrição</td> <td>Unidade</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>TELO 200</td> <td>Cabo tipo Prato de Lata pontas em aço inox</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>TELO 200</td> <td>Para fabricar o suporte de 18 metros de altura</td> </tr> </table> | Item | Quantidade | Descrição | Unidade | 1 | 1 | TELO 200 | Cabo tipo Prato de Lata pontas em aço inox | 2 | 1 | TELO 200 | Para fabricar o suporte de 18 metros de altura |
| Item | Quantidade | Descrição | Unidade | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | TELO 200 | Cabo tipo Prato de Lata pontas em aço inox | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | TELO 200 | Para fabricar o suporte de 18 metros de altura | | | | | | | | | | |

Exclusivo dimensionamento on-line.
Consultoria, cursos e palestras.



Detalhes em CAD. Acervo técnico
para engenharia de aplicação.
Ensaio de Continuidade de estrut. e malhas.



Ferragens galvanizadas a fogo, fixadores,
caixas de equalização e soldas exotérmicas.
Distrib. em S.P.: Proluz (11) 221-2599

Termotécnica Ind. Com. Ltda
Rua Zito Soares, 46 • Belo Horizonte • MG
Tel. (31) 3333.0499 • termotecnica@tel.com.br

MANUTENÇÃO

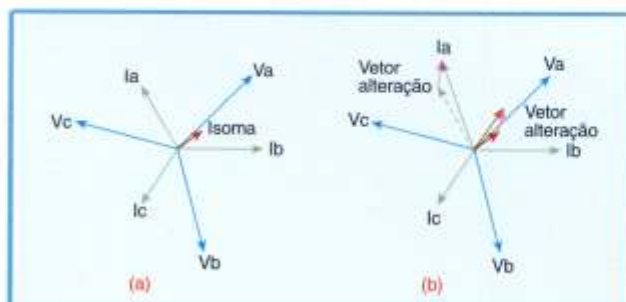


Fig. 3 – Correntes de fuga de três buchas em um sistema trifásico e sua somatória: a) para uma dada condição inicial; b) com alteração na capacitância e fator de dissipação da bucha da fase A

somatória, que é alterada em relação a seu valor inicial segundo o mesmo vetor alteração ΔI :

$$\Delta I = I_{a \text{ ATUAL}} - I_{a \text{ ANTERIOR}} = I_{\text{SOMA ATUAL}} - I_{\text{SOMA ANTERIOR}}$$

Esse vetor alteração tem peso praticamente insignificante quando comparado à magnitude da corrente de fuga da fase A. Porém, o mesmo não ocorre quando esse 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.

Pelo já exposto, observam-se algumas características intrínsecas ao método utilizado:

- é necessária a determinação de uma referência inicial de correntes para o sistema, para em seguida compará-la às novas medições *on-line*, de forma a determinar as alterações ocorridas na capacitância e no fator de dissipação das buchas;
- não é efetuada a medição dos valores absolutos de capacitância e tangente delta das buchas, mas sim a medição das variações ocorridas nesses parâmetros. Porém, uma vez que sejam conhecidos os valores iniciais de capacitância e tangente delta de cada bucha (valores presentes no momento em que é determinada a referência inicial de correntes), a medição das variações ocorridas permite conhecer os valores atuais de capacitância e tangente delta;
- no caso de buchas novas, podem ser utilizados como valores iniciais de capacitância e tangente delta os valores de placa determinados pelo fabricante das buchas. Porém, para buchas já em operação é recomendável que, na ins-

talação do sistema de monitoramento *on-line*, seja efetuada a medição desses parâmetros por meio de métodos convencionais, com as buchas desenergizadas. Assim, garante-se que estão sendo utilizados valores

iniciais corretos no sistema de monitoramento.

Outra questão não abordada até este ponto é que as correntes de fuga e a corrente somatória são influenciadas não apenas pelas mudanças na capacitância e tangente delta das buchas, mas também por alterações nas tensões fase-terra em cada bucha. Essa influência é eliminada por meio de tratamentos matemáticos e estatísticos realizados nas medições, razão pela qual o processo de determinação da referência inicial de correntes é efetuado num período de tempo de dez dias após o início de operação do sistema de monitoramento. Já o processo de medição das alterações ocorridas, pelas mesmas razões, tem uma constante de tempo de resposta de aproximadamente dez dias.

Precauções de segurança

Como exposto na introdução, a construção física da bucha dá origem a um divisor de tensão capacitivo, sendo a porção inferior desse divisor normalmente curto-circuitada aterrando-se o *tap* da bucha, de modo que a tensão deste em relação ao terra é de zero volts. Para que seja possível a medição da corrente de fuga da bucha, esse aterramento direto é removido e substituído pelo circuito de medição da corrente de fuga. Devido à baixa impedância desse circuito, a tensão do *tap* em relação ao terra permanece próxima de zero. Deve ser observado que, em caso de interrupção acidental desse circuito de medição, o divisor de tensão capacitivo gerará uma tensão no *tap* da bucha que normalmente é superior à rigidez dielétrica do *tap* em

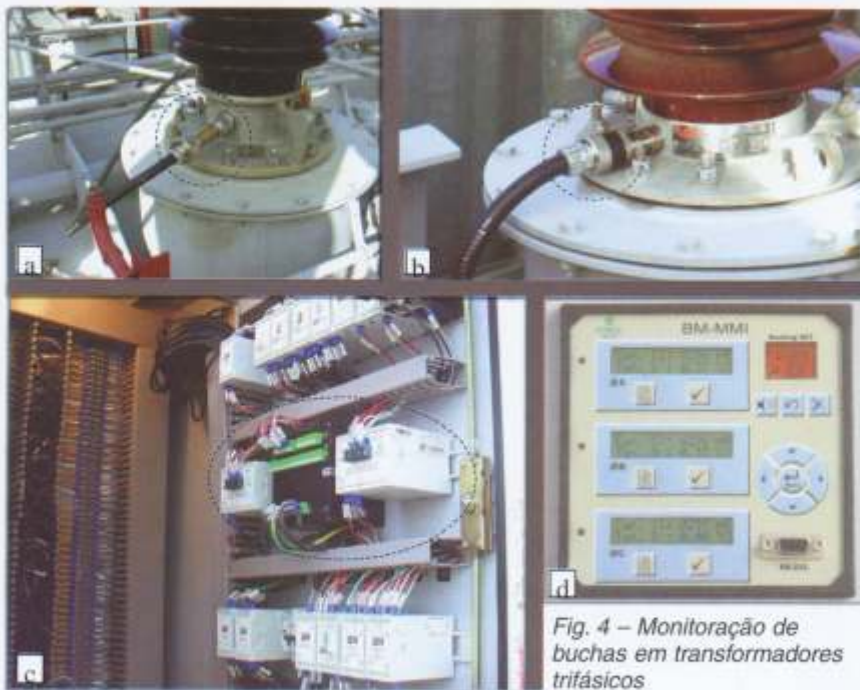


Fig. 4 - Monitoração de buchas em transformadores trifásicos

- módulo de medição – recebe as correntes de fuga de três buchas de um conjunto trifásico, efetua as medições dessas correntes e um primeiro nível de processamento das informações, disponibilizando-as para o módulo de interface através de uma porta de comunicação serial; e
- módulo de interface – recebe as informações do(s) módulo(s) de medição e efetua seu processamento matemático e estatístico, disponibilizando como resultado os valores atuais de capacitância e tangente delta nos *displays* frontais. Esse módulo fornece saídas analógicas (mA), contatos de alarme e portas de comunicação serial.

A figura 4 mostra a monitoração das buchas do primário e do secundário de dois transformadores trifásicos de 230/138 kV, 150 MVA, em operação no Sul do Brasil. Nela se vêem: a) adaptador de *tap* em uma das buchas do primário; b) adaptador de *tap* em uma das buchas do secundário; c) módulos de medição para as buchas do primário e do secundário; e d) módulo de interface.

A figura 5 ilustra a monitoração das buchas do primário e do secundário de dois bancos de transformadores monofásicos de 525/230 kV, 1000 MVA, em operação em San Diego, Califórnia, EUA, mostrando: a) adaptador de *tap* em uma das buchas do primário; b) adaptador de *tap* em uma das buchas do secundário; c) painel

relação ao terra, com riscos de danos à bucha.

Para evitar essa ocorrência, o adaptador de conexão ao *tap* da bucha é provido de um dispositivo limitador de tensão que entra em condução em caso de abertura do circuito de medição, constituindo um caminho de baixa impedância para a corrente de fuga, de forma que a tensão do *tap* em relação ao terra permanece em poucos volts. Esse dispositivo limitador não está suscetível a desgastes de natureza elétrica ou mecânica, permitindo a condução da corrente de fuga por tempo indeterminado.

Exemplos de aplicação

As figuras 4 e 5 ilustram a aplicação da monitoração de buchas em duas instalações. Nessas figuras, pode-se observar a topologia típica de um sistema de monitoração de buchas, constituído de três partes básicas:

- adaptador para *tap* – provê a conexão elétrica ao *tap* da bucha, garantindo também sua vedação contra intempéries. Incorpora a proteção contra abertura acidental do circuito de medição, evitando que o *tap* permaneça em aberto;

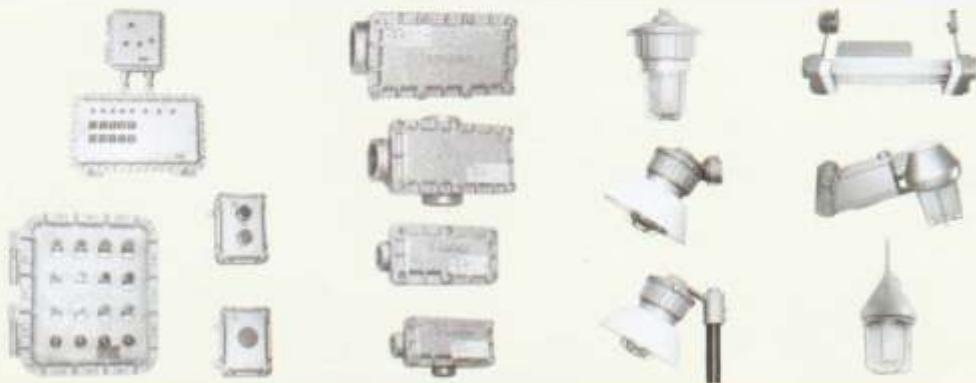


ILUMINANDO COM SEGURANÇA

Ex "d" Ex "de" Ex "n" Ex "e"



- Luminárias
- Caixas
- Painéis
- Botoeiras
- Acessórios
- etc.



Serviço de consulta - 1073

LUMENS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS LTDA.
Vendas: Rua Teresina, 308
Vila Bertolga - São Paulo - 03185-010
lumens@lumens.com.br

Fone: 11 6601-2599
Fax: 11 6601-2739
www.lumens.com.br





Fig. 5 – Monitoração de buchas em transformadores monofásicos

centralizador para um dos bancos de transformadores com os módulos de medição para as buchas do primário e

do secundário; e d) módulo de interface instalado na sala de controle da subestação.

Conclusão

As buchas condensivas são um acessório essencial para a operação segura de diversos equipamentos de alta tensão, tais como transformadores de potência e disjuntores. Este artigo demonstrou o princípio de funcionamento que permite a monitoração *on-line* desse tipo de bucha, assim como alguns exemplos de aplicações e a topologia típica de um sistema de monitoração.

Com isso, podem ser reduzidos ou mesmo eliminados os desligamentos periódicos para testes com a bucha desenergizada, substituindo a manutenção preventiva pela manutenção baseada no estado. Além da economia obtida ao eliminar desligamentos e procedimentos de manutenção que se revelam desnecessários na maioria das vezes, a monitoração *on-line* das buchas reduz o risco de falhas catastróficas que poderiam ocorrer no intervalo das manutenções preventivas, que geralmente têm periodicidade da ordem de anos.

BAUR - THE HIGH VOLTAGE COMPANY

Nossa vasta experiência, nossa paixão por novas tecnologias e nossa criatividade são os pilares de nosso sucesso, agora e no futuro.

Com nosso conhecimento especializado podemos responder às solicitações de nossos clientes na busca por soluções inovadoras para manutenção e extensão da vida útil de equipamentos elétricos em campo.

Nossa participação mundial, oferecendo instrumentos de alta tecnologia, concentra-se nas seguintes áreas:



LOCALIZAÇÃO DE FALHAS EM CABOS

Teste e localização de falhas em cabos de baixa e média tensão



TESTES DE ALTA TENSÃO

Instrumentos para teste e diagnóstico em componentes e equipamentos elétricos



SERVIÇOS TÉCNICOS

Soluções em serviços de manutenção em equipamentos elétricos



TESTES DE RIGIDEZ DIELÉTRICA

Instrumentos para teste de rigidez dielétrica e monitoramento das características de envelhecimento de materiais isolantes.



VISITE-NOS EM NOSSO STAND NA FIEE 2005

BAUR DO BRASIL LTDA. • Av. do Contorno, 6.240 • Sij 03 • Savassi • Belo Horizonte • Minas Gerais
cep: 30110-110 • Tel.: 55 31 3282 8211 • Fax.: 5531 3282 8213 • baurbrasil@baur.at • www.baur.at

