

EM

ISSN 0100-2104

ELETRICIDADE MODERNA

ARANDA EDITORA ANO XXXIV Nº 385 ABRIL 2006

OS AVANÇOS E AS TENDÊNCIAS DA TECNOLOGIA ELETROELETRÔNICA

Dimensionamento de
baterias de fontes
de segurança

Instalações seguras
de iluminação de
emergência

Novos cabos
supercondutores
de alta temperatura

Célula a combustível
de membrana
polimérica

Monitoração
on-line de
transformadores

ELETRON 2006

GUIAS

Produtos para instalações
elétricas prediais

Transformadores elétricos,
componentes e serviços

EQUIPAMENTOS

**Seccionadores MT:
vácuo substitui SF₆**

**Conjuntos MT
inteligentes**

Monitoração on-line de transformador de potência com dois comutadores sob carga

Marcos E. G. Alves (Treetech Sistemas Digitais) e
Gilson S. Silva (Alumar - Consórcio de Alumínio do Maranhão)

Aqui, o relato da experiência com a operação, desde 2001, do sistema de monitoração instalado na Alumar (Maranhão), que já possibilitou a detecção de defeito em um dos comutadores sob carga ainda em estágio inicial, evitando que a falha evoluísse. O artigo descreve primeiro a arquitetura do sistema, com aquisição descentralizada e dispositivos inteligentes, e as funções de monitoração e diagnóstico a ele associadas.

A Alumar, consórcio formado pelas empresas Alcoa, Bhpbilliton, Alcan e Abalco, é considerada um dos maiores complexos industriais de alumina e alumínio do mundo. Atualmente, tem uma produção anual aproximada de 1,5 milhão de toneladas de alu-

mina e 380 mil toneladas de alumínio. A fábrica está subdividida basicamente em duas áreas, a Redução e a Refinaria.

A Redução recebeu esse nome devido ao processo de redução eletrolítica da alumina para a produção de alumínio que ocorre no local. Para que essa redução

ocorra, é necessária uma considerável quantidade de energia elétrica. Somente essa área da Alumar tem uma demanda média de 765 MW e consumo médio mensal de 570 GWh. A Alumar está conectada à rede básica recebendo energia da Eletronorte em tensão de 230 kV.

O processo de redução de alumínio exige que o fornecimento de energia elétrica seja bastante confiável e sem interrupções por mais de duas horas, pois, caso contrário, haverá o congelamento de toda uma linha de produção, acarretando

prejuízos de milhões de dólares. Com isso, o sistema elétrico da empresa, bem como os transformadores de potência, são um ativo essencial nesse ramo de negócio, fato que levou a Alumar a adquirir um novo bay reserva de 343 MVA que, em 2001, juntou-se aos outros quatro já existentes. Cada bay já existente anteriormente possui um transformador de 230-34,5 kV, com potência em torno de 300 MVA, com um

Divulgação



Divulgação



Gilson Silva



Divulgação



A Redução, a subestação, o transformador monitorado on-line e a sala de controle —
Arquitetura descentralizada, modularidade e economia

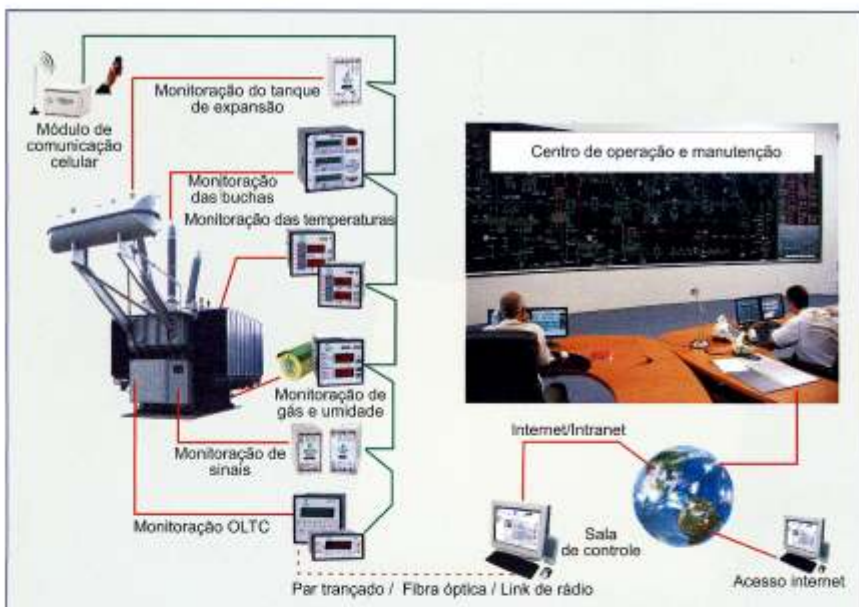


Fig. 1 – Arquitetura do sistema de monitoração

comutador sob carga no lado de alta tensão e um transformador regulador de tensão de 34,5 kV, também equipado com um comutador sob carga. No entanto, para o bay instalado em 2001, op-

tou-se por construir ambos os transformadores em um mesmo tanque, resultando em um equipamento com dois comutadores sob carga, um convencional, com extinção de arco em óleo no lado

de 230 kV, e um comutador com extinção em ampola de vácuo no lado de 34,5 kV.

Já no processo de aquisição, este transformador foi especificado para que fosse preparado para instalação futura de um sistema de monitoração *on-line*. Esse sistema foi adquirido, instalado em campo e posto em operação pela Treetech ainda em 2001, logo após a entrega e comissionamento do transformador. Com isso, esse sistema de monitoração foi o primeiro de caráter comercial a ser instalado e entrar em operação normal no Brasil.

Arquitetura do sistema de monitoração *on-line*

O sistema de monitoração *on-line* instalado utiliza uma arquitetura modular e descentralizada [1, 2], baseada em dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) instalados no painel de controle no corpo do transformador, de onde enviam dados via comunicação serial para um computador na sala de controle da planta, onde é executado o software en-

Técnicos qualificados para serviço em campo .

- **Serviços de Engenharia de Campo**
- **Comissionamento em Sistemas Elétricos**
- **Inspecção Termográfica**
- **Estudo de Seletividade**
- **Aferição em Relés**



UNIDADE I

SÃO PAULO (11) 3992-5192
www.sos-service.com.br
vendassp@sos-service.com.br

UNIDADE II

RIBEIRÃO PRETO (16) 3917-0094
vendasp@sos-service.com.br

Serviço de consulta 3876

ISOLA E IMPERMEABILIZA CONEXÕES



FITA ISOLANTE LÍQUIDA

- Impede corrosão e impermeabiliza conexões.
- 1 mm de espessura isola acima de 6.500 Volts.
- Em 5 cores - usável como lacre de garantia.
- Substitui a fita de alta fusão.
- Seca rápido. Seguro e fácil de usar.

QUIMATIC DISPONÍVEL EM LOJAS DE TINTAS, FERRAGENS E MAT. DE CONSTRUÇÃO

Tel.: (0xx11) 3326-9979 - Fax: (0xx11) 3326-1288
Cx. Postal 1913 - Cep: 01059-970 - S. Paulo - SP
e-mail: quimatic@quimatic.com.br site: www.quimatic.com.br

Serviço de consulta 3877

carregado de armazenar, disponibilizar e tratar as informações, como ilustra de forma genérica a figura 1. Essas três partes principais que definem a arquitetura do sistema de monitoração são descritas a seguir.

Dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs)

Alguns desses IEDs efetuam funções primárias de proteção e controle do transformador, portanto são utilizados no transformador independentemente de existir ou não um sistema de monitoração. Estes dispositivos já existentes no transformador são integrados ao sistema de monitoração através de uma de suas portas de comunicação serial, de forma a trabalhar simultaneamente como sensores fornecendo dados para o sistema, porém sem agregar custo adicional a este.

Outros sensores foram instalados especificamente para uso no sistema de monitoração, porém utilizando também a filosofia de IEDs descentralizados e integrados ao sistema através de suas

portas seriais. Em alguns poucos casos em que os sensores não puderam ser integrados ao sistema por comunicação serial, seja pelo fato de não serem dispositivos inteligentes, seja porque seu fabricante não disponibiliza um protocolo aberto nas portas seriais (utilizando somente protocolo proprietário), foram utilizados módulos de aquisição de dados universais, capazes de receber múltiplos sinais digitais e/ou analógicos, digitalizá-los e disponibilizá-los em portas seriais com protocolo aberto.

Dessa forma, todos os sensores, tanto os inteligentes quanto os convencionais, puderam ser integrados ao sistema de monitoração através de comunicação serial. Com isso evitou-se o uso de qualquer equipamento centralizador no corpo do transformador, o que simplificou o projeto e a instalação, reduziu o custo inicial e, mais importante, reduziu também o TCO (*Total Cost of Ownership*) do sistema na mesma proporção em que aumentou sua confiabilidade e disponibilidade.

Uma outra característica obtida com

a arquitetura descentralizada e o uso de IEDs é a modularidade do sistema, permitindo que se escolham livremente quais as variáveis a monitorar, além de facilitar futuras expansões simplesmente agregando novos IEDs. Diversos fatores podem ser levados em conta nesta escolha, incluindo o valor do transformador, sua importância na cadeia produtiva (ou em um sistema de geração, transmissão ou distribuição de energia), dentre outros.

Meio físico de comunicação

O meio utilizado foi, neste caso, um cabo de cobre do tipo par-trançado blindado. Embora soluções utilizando fibras ópticas também fossem possíveis, a custo mais elevado, havia a convicção, baseada nas características do padrão de comunicação RS-485, de que este poderia ser utilizado com resultados satisfatórios. Entre essas características está o fato de o RS-485 operar em modo diferencial, o que, associado ao cancelamento mútuo de interferências em trechos adjacentes do par-trançado, torna

Serviço de consulta 3878



A MAIS VENDIDA do BRASIL



*Segundo auditoria ACNielsen em dois anos consecutivos.

Lâmpadas



A MARCA DA QUALIDADE

Soluções Compactas

Para cada aplicação:
Módulos à relé,
Fontes e Conversores.



SÉRIE CK

SÉRIE CWRE



SÉRIE RF

SÉRIE CR / CRE



SÉRIE XCSF

SÉRIE CWNA

ISO 9000
ISO 14000

Conheça a nossa linha de produtos
com a mais alta tecnologia.



Cabur Latin America Ltda.
Rua Enxovia, 472 - Galpão 1 - Chicara Sto. Antonio
CEP: 04711-030 - São Paulo - SP
Fone: 55 11 5182-6434 - Fax: 55 11 5183-2566
DDG: 0800 771 3707
cabur@terra.com.br
www.cabur.it

Serviço de consulta 3879

CONFIABILIDADE

esse padrão menos suscetível às interferências já esperadas em subestações deste nível de tensão.

Conforme esperado, a solução com par-trançado tem se mostrado plenamente satisfatória a despeito de um agravante existente nesta instalação, que são os elevados campos magnéticos gerados pelas altas correntes empregadas na produção de alumínio.

Cabe ressaltar que, como alertam Lavieri e outros [3], é essencial para o sucesso dessa estratégia o fato de os IEDs utilizados serem equipamentos desenvolvidos especificamente para o ambiente de subestação onde estão sendo aplicados. Equipamentos originalmente desenvolvidos para uso industrial, se utilizados neste tipo de aplicação, geralmente apresentam problemas relacionados à fragilidade e falta de confiabilidade e disponibilidade das portas de comunicação serial, quando submetidas a surtos eletromagnéticos e impulsos de tensão, além das temperaturas ambientes extremas.

Armazenamento, disponibilização e tratamento das informações

Os dados fornecidos pelos IEDs localizados no transformador, tanto as medições brutas quanto as informações resultantes de pré-tratamento dos dados, são recebidos por um computador onde é executado o software de monitoração, nesta aplicação localizado na sala de controle da planta.

As principais funções deste software podem ser agrupadas em duas categorias: funções de digitalização de dados, associadas à simples disponibilização e armazenamento dos dados, e funções de monitoração, com o objetivo de transformar simples dados em informações úteis para a manutenção. No sistema de monitoração na Alumar as seguintes funções foram aplicadas:

- Funções de digitalização de dados:
 - apresentação *on-line* de medições, alarmes e estados;
 - armazenamento das medições, alarmes e estados em bancos de dados históricos;
 - consulta das medições, alarmes e estados armazenados em bancos históricos em forma de gráficos ou tabelas; e
 - acesso ao sistema de forma local e remota.

Funções de monitoração:

- tratamento dos dados por meio de algoritmos;
- tratamento dos dados por meio de modelos matemáticos;
- obtenção de diagnóstico do estado atual do transformador;
- obtenção de prognóstico do estado futuro do transformador; e
- detecção de defeitos ainda em fase incipiente.

Funções de monitoração

Em um sistema cujo objetivo final é obter informações úteis para a manutenção do transformador, como diagnósticos e prognósticos de estado, o bloco de funções de monitoração adquire especial importância, o que se confirmou na prática nesta instalação, ao ser detectado um defeito em um computador sob carga ainda em fase incipiente (ver “Diagnóstico de defeito em um computador sob carga”, mais adiante).

Assim como ocorre com os IEDs utilizados para a aquisição das medições, também as funções de monitoração do sistema estão organizadas de forma modular, permitindo que se escolham livremente quais funções de monitoração se deseja instalar, além de facilitar futuras expansões simplesmente agregando novos módulos de software e seus correspondentes IEDs. Como já explanado acima, diversos fatores podem ser levados em conta nessa escolha, tais como o valor do transformador ou sua importância no sistema elétrico, dentre outros.

Seguindo esta filosofia modular, o sistema de monitoração em operação na Alumar foi equipado com os itens descritos a seguir, considerados à época os mais importantes para a aplicação, embora quaisquer outros itens dentre os vários atualmente disponíveis possam ser adicionados ao sistema a qualquer momento.

Vida útil da isolação

Esta função de monitoração efetua o cálculo da perda estimada de vida útil da isolação devido ao envelhecimento térmico da celulose, de acordo com as condições de carga e temperatura a que foi submetido o transformador. Calcula também a taxa média de perda de vida e a extrapolação do tem-

po restante até o fim de vida teórico da isolação, conforme descrito a seguir.

Mecanismos de degradação da celulose – O principal constituinte dos diversos materiais isolantes sólidos utilizados em equipamentos de alta tensão imersos em líquido, dentre os quais se destacam os transformadores e reatores de potência, buchas, TPS, TCs, etc., é a celulose. Dentre os materiais isolantes sólidos, o mais utilizado atualmente é o papel.

A celulose é um composto orgânico cuja molécula é composta por uma longa cadeia de anéis de glicose, ou monômeros. Cada molécula de celulose, quando nova, possui de 1000 a 1400 anéis de glicose, interligados conforme mostra a figura 2. Cada fibra de celulose possui muitas cadeias de monômeros como esta.

A quantidade média de anéis de glicose interligados nessa cadeia é denominada "grau de polimerização molecular". Como o comprimento dessas moléculas é o que garante a resistência

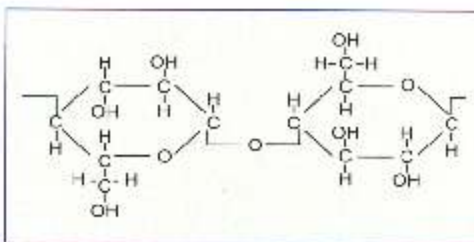


Fig. 2 – Molécula de celulose

mecânica de um material à base de celulose, o grau de polimerização do material dá uma medida indireta de suas características mecânicas, como, por exemplo, resistência à tração, o que pode ser associado à funcionalidade ou à vida útil do material.

A degradação da celulose é, portanto, causada pela diminuição do comprimento das cadeias de monômeros, assim como pelo estado de cada cadeia. Três mecanismos podem contribuir para a degradação dessas cadeias na celulose empregada em sistemas isolantes de transformadores de potência e equipamentos similares: a hidrólise, a oxidação e a pirólise [4]. Embora o último

deles esteja relacionado diretamente à degradação térmica, todos os três interferem no processo de envelhecimento, de forma que estão inter-relacionados.

• **Hidrólise:** A água causa a ruptura da cadeia de monômeros, ao afetar o átomo de oxigênio que faz a ponte entre os anéis. São formados dois grupos -OH, cada qual anexado a um monômero. Como resultado, ocorre a redução do grau de polimerização e o enfraquecimento da fibra de celulose. Fabre e Pichon [5] formularam uma regra simples para a degradação da celulose em função da quantidade de água presente. Propuseram que a taxa de envelhecimento térmico da celulose é diretamente proporcional à quantidade de água. Assim, se os resultados de ensaios de envelhecimento térmico indicam uma dada taxa de degradação com um certo conteúdo de água, um equipamento em operação com o dobro de água terá taxa de degradação térmica da isolação igual ao dobro da taxa medida no referido ensaio. Dados obtidos por

ISO 9001 **ALGE**® Empresa Certificada
TRANSFORMADORES **INMETRO** **UC**
 ISO 9001 / 2000

Indústria de Transformadores de:

- Distribuição aérea e subterrânea
- Potência até 20 MVA
- Fornos, conexão scott, pad mounted
- A seco, a óleo e encapsulado
- Auto transformadores e especiais

35 Anos

Divisão de Serviços:

- Reforma e manutenção de transformadores até 20 MVA
- Instalação de ventilação forçada (repotenciação)
- Serviços de campo, análise de óleo, ensaios elétricos e empréstimos.

Tel: (16) 3361.1062 www.alge.com.br

ISO 9001
ISO 14001

Provedendo soluções em isoladores para fins elétricos

www.isantana.com.br • e-mail: vendas@isantana.com.br
Tel.: (19) 3893.9200 • Fax: (19) 3893.2122

Shroff e Stannet [6] confirmam esta relação, ilustrada pela equação a seguir:

$$P_V \propto Q_P,$$

onde:

P_V é a taxa de perda de vida da isolação; e

Q_P é o teor de água no papel da isolação.

• **Oxidação:** Os átomos de carbono na molécula de celulose são atacados pelo oxigênio, formando aldeídos e ácidos. Conseqüentemente, a união entre os anéis fica enfraquecida, levando a baixos níveis de grau de polimerização. São liberados água, monóxido de carbono e dióxido de carbono. A água liberada por este processo contribuirá também para o processo de hidrólise mencionado acima.

Não apenas a celulose é atacada diretamente pelo oxigênio, mas também o óleo sofre oxidação, produzindo ácidos, ésteres e outras substâncias que voltam a atacar o próprio óleo, gerando mais produtos de oxidação. Estas substâncias ata-

cam também a celulose, degradando-a.

O efeito do oxigênio na taxa de degradação da celulose foi investigado por vários pesquisadores, e o procedimento mais comum é comparar os resultados de taxas de envelhecimento em amostras de isolação seladas, sem a presença de oxigênio, com as taxas de amostras expostas à atmosfera, como num transformador sem sistema de preservação de óleo. Alguns dos investigadores deste fenômeno foram Fabre [5] e Lampe [7], que encontraram fatores de aceleração da degradação das amostras expostas ao oxigênio em relação às seladas de 2,5 e 10 vezes, respectivamente.

Fica claro que a presença de oxigênio tem uma influência extremamente negativa no envelhecimento da celulose, e deve ser definitivamente evitada. Se o sistema de preservação de óleo falha, permitindo seu contato com a atmosfera, uma aceleração considerável no processo de envelhecimento da celulose pode ser esperada. Para evitar esse risco, o sistema de monitoração inclui

um sensor para monitoramento da membrana de borracha que impede o contato do óleo com a atmosfera. Em caso de ruptura nessa membrana, um alarme é emitido pelo sistema de monitoração.

• **Pirólise:** O calor em extremo leva à carbonização das fibras de celulose. Já o calor em níveis moderados, como normalmente ocorre em transformadores, causa a quebra dos monômeros individuais na cadeia de celulose, formando um resíduo sólido e liberando monóxido de carbono, dióxido de carbono e água. Como não poderia deixar de ser, o grau de polimerização é reduzido, diminuindo as características de resistência mecânica da celulose. Em um transformador, a temperatura não se distribui de forma uniforme, portanto em geral a análise dos efeitos do calor na deterioração da celulose é feita considerando-se a temperatura do ponto mais quente (*hottest spot*), pois esse é o local em que ocorrerá a maior degradação.

Monitoração on-line do envelheci-

Serviço de consulta 3883

Conexel

Seu Parceiro em Soluções

A Mais Nova e Completa Linha de Fontes de Alimentação Chaveadas para a Indústria

Linha ConexelPower

A Conexel apresenta a nova linha de fontes de alimentação chaveadas para a Indústria

ConexelPower, atendendo às mais variadas aplicações com as seguintes características:

- Tensões de saída de 5V a 48V
- Tensões de entrada de 85Vca a 500Vca e 120Vcc a 780Vcc
- Correntes de 2A a 40A monofásicas/trifásicas
- Dependendo do modelo, possuem proteção para sobrecorrente e sobretensão
- Características de regulação e estabilização
- Alguns modelos com correção de fator de potência
- Possibilidade de paralelismo com módulo de diodo adicional
- Relé de Status (exclusivo ConnectPower)
- Fixação em trilhos normalizados TS 35



Conheça melhor a nossa linha de produtos. www.conexel.com.br

Conexel

Seu Parceiro em Soluções

Fábrica e Escritório Central
Rua Garcia Lorca, 176
V. Paulicéia - 09695-900
S.B.Campo - SP - Brasil

Tel.: (11) 4366-9600
Fax: (11) 4362-1677
e-mail: vendas@conexel.com.br
www.conexel.com.br

Conexel ISO 9001
Versão 2000

Avant, essencial para os profissionais. Perfeita para os ambientes.



AVANT®

www.avantlux.com.br

CONFIABILIDADE

mento da isolação – De acordo com a norma brasileira de carregamento de transformadores de potência, a expectativa de vida da isolação de um transformador cujo óleo isolante tenha características de óleo novo (índice de neutralização, teor de oxigênio dissolvido no óleo e teor de água na isolação sob controle) é dada exclusivamente pela lei de Arrhenius, em que o logaritmo da expectativa de vida é uma função do inverso da temperatura absoluta:

$$\log(\text{vida}) = A + B/T,$$

onde:

A e B são constantes; e

T é a temperatura do ponto mais quente.

O gráfico da figura 3 permite a visualização da lei de Arrhenius sob a forma do consumo anual de vida da isolação para diversos valores de temperatura do ponto mais quente, supondo-se que a temperatura permaneça constante durante todo o período.

Como, na prática, a temperatura do ponto mais quente varia de acordo com as mudanças na carga e na temperatura ambiente, a perda de vida da isolação é calculada em pequenos intervalos de tempo durante os quais a temperatura permanece praticamente constante. As pequenas perdas de vida ocorridas nestes intervalos de tempo são acumuladas ao longo de todo o tempo de operação do sistema, resultando na perda de vida total da isolação.

$$P_{\text{total}} = \sum P_i,$$

onde:

P_{total} é a perda de vida total acumulada da isolação; e

P_i são as perdas de vida calculadas a cada pequeno intervalo de tempo.

Conforme descrito acima em “Mecanismos de degradação da celulose”, também o teor de água na isolação tem influência na sua taxa de perda de vida, acelerando a degradação da isolação de forma proporcional ao teor de água presente. Dessa forma, a perda de vida térmica calculada pelo sistema de monitoração é corrigida de acordo com o teor de água na isolação, que pode ser calculado pelo sistema ou adotado um valor fixo estimado.

Com base nos dados acumulados de

perda de vida percentual da isolação, é possível extrapolar o tempo de vida restante esperado, observando-se a taxa de evolução da perda de vida em um período de tempo passado que seja representativo das condições operativas médias do equipamento.

Previsão de gradiente final de temperatura

Esta função de monitoração efetua o cálculo do valor futuro do gradiente de temperatura óleo/enrolamento, emitindo alarme caso se detecte que existe uma tendência que levará a temperatura do enrolamento a atingir os níveis de alarme e desligamento por temperatura, além de indicar o tempo restante antes que ocorra o alarme e/ou desligamento.

Elevação de temperatura enrolamento-óleo – A aplicação de carga em um transformador de potência causa uma elevação de temperatura do ponto mais quente do enrolamento em relação à temperatura do topo do óleo, que é função da própria carga aplicada e das características próprias de perdas e de troca de calor do transformador. Este princípio é utilizado também para a determinação da temperatura do enrolamento pelo processo denominado “imagem térmica”:

$$\Delta\theta_{EO} = f(l, c),$$

onde:

$\Delta\theta_{EO}$ é a elevação de temperatura do enrolamento sobre o topo do óleo;

l é a carga; e

c são as características próprias do transformador.

A cada valor de carregamento aplicado corresponde um valor de elevação de temperatura do enrolamento sobre o topo do óleo, como mostrado no exemplo da figura 4. Nessa figura pode-se observar que ao carregamento nominal (100%) corresponde uma elevação de temperatura nominal de 30°C, valor que é obtido nos ensaios de aquecimento do transformador. No entanto, devido à inércia térmica da massa de cobre/material isolante, a aplicação de uma dada carga ao transformador não traz como resultado instantâneo a elevação de temperatura correspondente mostrada acima. Essa inércia tem como resultado que a elevação de temperatura do enrola-

mento evoluirá gradualmente de seu valor atual para o novo valor (correspondente à nova carga) segundo uma curva exponencial com uma dada constante de tempo.

Monitoração do gradiente final de temperatura enrolamento-óleo – Ao se aplicar uma determinada carga ao transformador já é possível saber, como demonstrado na figura 4, qual será a elevação final de temperatura do enrolamento sobre o óleo após a estabilização térmica. Com isso

é possível prever, num cenário futuro de curto prazo, se a elevação de temperatura do enrolamento sobre o óleo alcançará níveis que levarão a proteção de temperatura do transformador a emitir sinais de alarme ou mesmo de desligamento. Se a previsão da temperatura do enrolamento indicar que esta ultrapassará o valor de alarme ajustado, o sistema de monitoração emite o aviso desta condição, informando também o tem-

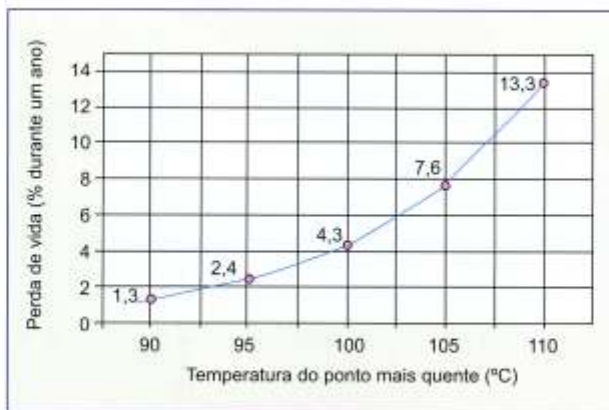


Fig. 3 – Perda de vida anual de isolamento submetida a temperatura

po restante para que se atinja o valor de alarme calculado com base na constante de tempo térmica do enrolamento.

A figura 5 mostra um exemplo de evolução esperada para a temperatura do enrolamento, o tempo para se atingir o valor de alarme e o valor final da temperatura do enrolamento após a estabilização. Neste exemplo, ao ser aplicada uma sobrecarga ao transformador, o sistema de monitoração calcularia inicial-

mente o tempo restante de 13 minutos para se atingir a temperatura de alarme (ou desligamento), sendo este cálculo reajustado continuamente.

De forma similar, o mesmo processo para extrapolação da futura elevação de temperatura do enrolamento sobre o óleo pode ser aplicado também à elevação de temperatura do óleo sobre o ambiente, permitindo a monitoração da tendência de elevação futura de temperatura com antecedência da ordem de horas.

Gases no óleo

Esta função de monitoração efetua a supervisão *on-line* da concentração de hidrogênio dissolvido no óleo. Como o hidrogênio é um gás gerado em quase todos os defeitos internos passíveis de ocorrência em um transformador, ele é considerado um gás chave para detecção de defeitos.

Dessa forma, baseado no acompa-

CRIMPER
 AS MELHORES SOLUÇÕES EM TERMINAIS ELÉTRICOS E FERRAMENTAS DE COMPRESSÃO.

www.crimper.com.br

São Paulo
 Vendas
 Fone: (11) 3834-0422
 Fax: (11) 3834-4998

Campinas
 Vendas, Administração e Fábrica
 Fone/Fax: (19) 3246-1722

Atendimento ao cliente: 0800 772 1777
 crimper@crimper.com.br

SAMEL

As Melhores Marcas,
 com o Preço e o Prazo,
 que você precisa!

Samel Montagens Industriais Ltda.
 Avenida Elísio Teixeira Leite, 464 - CEP 02801-000 - São Paulo - SP
 Tel./Fax: (11) 3977-9066 - E-mail: samel@brsamel.com.br

nhamento contínuo do teor de hidrogênio no óleo, o sistema de monitoração pode emitir alarmes tanto no caso de serem atingidas concentrações de hidrogênio elevadas como em caso de detecção de uma tendência de crescimento da concentração do gás que futuramente culminará nesses níveis elevados.

Umidade no óleo

Conforme já explanado acima em "Mecanismos de degradação da celulose", a presença de umidade no papel isolante potencializa os efeitos de degradação térmica da isolação de forma proporcional à quantidade de água presente. Com isso, torna-se essencial manter em níveis reduzidos o teor de água na isolação. Durante o processo de fabricação, a parte ativa do transformador é submetida a rigorosos processos de secagem, o mesmo ocorrendo com o óleo empregado para o primeiro enchimento do equipamento. Desta forma, quando novo, o equipamento tem assegurado um baixo teor de água no papel isolante.

A partir desse ponto, diversos processos podem levar ao aumento do teor de água na isolação. Inclui-se aí a própria degradação da celulose, que gera água, porém o principal fator para essa elevação pode ser o ingresso de água do ambiente através de falhas na vedação. Nesse caso, a água presente no ambiente é absorvida primeiramente pelo óleo, de onde migra para o papel isolante.

Assim sendo, o sistema de monitoração verifica primeiramente a integridade da selagem no tanque de expansão de óleo, através da supervisão de ruptura da membrana de borracha que impede o contato do óleo com o ambiente, e além disso monitora também o teor de água dissolvido no óleo.

Esta função de monitoração efetua a supervisão *on-line* dos níveis de água dissolvida no óleo, emitindo alarme tanto se forem atingidos níveis elevados como em caso de detecção de tendência de crescimento que futuramente culminará em níveis altos de água no óleo.

Assistente de manutenção da ventilação forçada

O resfriamento adequado de um transformador é fundamental para sua operação segura e sem perda acelerada de vida útil da isolação na presença de cargas elevadas. No caso deste transformador, isso é obtido com o uso de diversos ventiladores para forçar a circulação de ar através dos radiadores (resfriamento tipo ONAF). É essencial, portanto, que os ventiladores estejam em perfeito funcionamento. A falha de um ou de vários ventiladores pode causar a atuação das proteções de temperatura ou limitar o carregamento do transformador, tornando-o parcialmente indisponível.

Por esse motivo, o desgaste normal dos ventiladores deve ser monitorado, o que tradicionalmente é feito de forma *off-line* em manutenções preventivas recomendadas pelos fabricantes. Estas intervenções estão geralmente baseadas no tempo de serviço dos equipamentos, e incluem trocas de componentes (por exemplo, rolamentos).

O assistente de manutenção da venti-

Serviço de consulta 3888

Nambeí.
Qualidade anos a fio.



NAMBEI®

FIOS E CABOS

Av. Ibirapuera, 2.033 - 14º Andar - Moema - 04029-100 - São Paulo - SP - Brasil - Tel.: (11) 5051-4733 - Fax: (11) 5051-0067
Vendas: 0800 0161819 - e-mail: vendas@nambeirasquini.com.br - www.nambeirasquini.com.br

WALMONOF

20 anos a serviço da segurança

Iluminação de Emergência

LUMINÁRIAS AUTÔNOMAS



LUMINÁRIAS



CENTRAIS



Alarmes de Incêndio

CENTRAIS DE ALARME e CONJUGADAS



CC-12

DETECTORES



DFO
DFI
DT

BOTONEIRAS



CHB

GC

BSW

SIRENES



SEA

SM

www.walmonof.com.br

(11) 6421-0230

Serviço de consulta 3889

CONFIABILIDADE

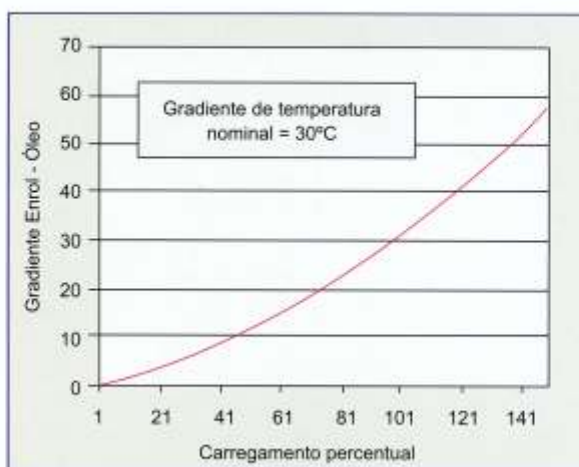


Fig. 4 – Elevação de temperatura enrolamento-óleo em função da carga

lação forçada permite conhecer com exatidão o tempo de operação dos ventiladores, evitando que essas intervenções de manutenção se realizem muito antes ou muito depois do recomendado pelo fabricante. Esta função de monitoração fornece ainda várias outras informações úteis para auxiliar a manutenção dos ventiladores:

- tempo total de serviço dos ventiladores e bombas, desde o início da operação, e tempo desde a última manutenção, com registro de partidas e paradas dos motores;
- tempo médio diário de funcionamento dos ventiladores e bombas;
- previsões de tempo para atingir os intervalos recomendados para inspeção ou manutenção, com base no tempo médio diário de operação dos ventiladores e bombas; e
- avisos com antecedência programável para inspeção ou manutenção nos equipamentos, devido ao tempo de operação.

Assistente de manutenção do comutador sob carga

Todas as estatísticas de falhas em transformadores de potência indicam o comutador sob carga como uma das principais fontes de defeito, devido principalmente à existência de partes móveis que conduzem e interrompem altas correntes enquanto submetidas a elevadas tensões. Por este motivo, essa função de monitoração auxilia na supervisão do desgaste normal do comutador, o que tradicionalmente é feito de forma *off-line* em inspeções e manutenções preventivas recomendadas pelos fabri-

cantes. Essas intervenções estão baseadas no número de comutações e no tempo de serviço do equipamento, e incluem verificações visuais e medições de espessura de contatos.

Esta função de monitoração fornece várias informações úteis para auxiliar a manutenção do comutador sob carga:

- somatória da corrente comutada desde o início de serviço, proporcionando um índice de des-

gaste de contatos;

- número total de operações desde o início da operação após a última manutenção;
- cálculo da espessura atual dos contatos de interrupção de arco, através de extrapolação baseada nas medições de espessura anteriores e no número de operações do comutador;
- tempo total de serviço do comutador e tempo de serviço desde a última manutenção;
- média diária de desgaste dos contatos e média diária de comutações;
- previsões de tempo para atingir a espessura mínima dos contatos e tempo para atingir o número de operações ou o intervalo máximo para inspeção ou manutenção; e
- avisos, com antecedência programável, para inspeção ou manutenção no comutador.

Tempos de operação do comutador

O comutador sob carga representa uma das principais fontes de falhas em transformadores de potência, pelo motivo de ser, como já dito, um equipamento mecânico, baseado em partes móveis. Com isso, as falhas de origem mecânica ocorridas no comutador sob carga podem causar problemas de várias proporções, começando com a indisponibilidade do equipamento e podendo chegar a falhas dielétricas graves.

Neste contexto, a função de monitoração dos tempos de operação do comutador supervisiona o tempo necessário para efetuar a mudança de *tap* em cada operação do comutador, emitindo

alarme caso esse tempo apresente desvio em relação aos tempos observados durante o comportamento normal do equipamento. A seguir, descreve-se como essa função de monitoração detectou uma falha real em um dos comutadores sob carga.

Experiências na instalação e operação do sistema

Diagnóstico de defeito em um comutador sob carga

Sendo a detecção de defeitos ainda em fase incipiente uma das principais finalidades de um sistema de monitoração *on-line*, a mais interessante ocorrência durante a operação do sistema na Alumar foi observada ainda em sua fase de comissionamento, quando este diagnosticou um problema no comutador sob carga do lado de 230 kV. Esse diagnóstico partiu da função de diagnóstico *assistente de manutenção do comutador*, que, entre outros parâmetros, monitora o

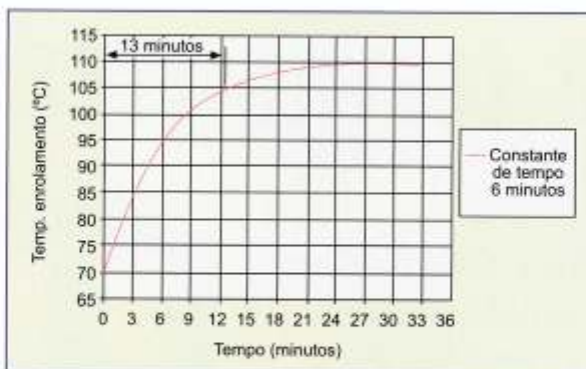


Fig. 5 – Evolução da temperatura do enrolamento no tempo

tempo gasto para efetuar cada comutação. Por meio desta medição, detectou-se um desvio em relação ao histórico armazenado no sistema.

Analisando-se o painel de acionamento do comutador sob carga, constatou-se oxidação no mecanismo de acionamento dos contatos de came, o que levava o motor de acionamento a permanecer em operação por mais tempo que o necessário para efetivar a comutação. Uma vez que foi detectado ainda em fase inicial, o defeito foi rapida-

mente corrigido e não chegou a causar transtornos na operação normal do transformador. Se, no entanto, o transformador e o comutador sob carga não estivessem equipados com um sistema de monitoração *on-line*, a tendência seria que o problema se agravasse gradualmente sem ser percebido. A partir de um certo ponto, o comutador sob carga “dispararia” na direção de subir ou baixar tensão, só parando

quando atingisse a posição de *tap* máximo ou mínimo. Com isso, dependendo do nível de tensão presente na entrada de 230 kV, a regulação de tensão para o processo de fabricação de alumínio poderia ficar gravemente prejudicada, inclusive com risco de perda de produção.

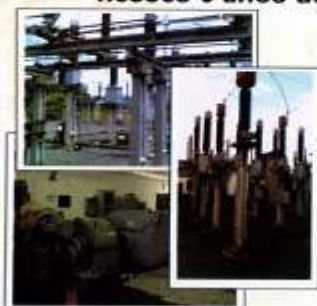
Comunicação serial em par metálico

Por ser o primeiro sistema comercial para monitoração *on-line* de transfor-

SOLUÇÕES EM ENGENHARIA

- Comissionamento e “Start-up”, manutenção preditiva, preventiva e corretiva em SE’s, UHE’s e PCH’s
- Adequação para nova norma NR-10 de 08/12/2004
- Medições, cálculos e projetos de malha de terra
- Qualidade de energia
- Correção de fator de potência
- **ENTRE OUTROS SERVIÇOS**

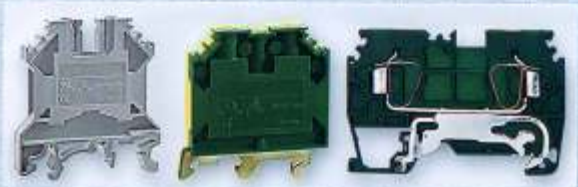
A Ponder disponibiliza profissionais qualificados, equipamentos aferidos e pronto atendimento, além da garantia e da excelência dos serviços prestados que a consagra nesses 6 anos de existência.



Ponder®
Ponder Elétrica Ltda.

Avenida dos Patos, 219
Centro Comercial Aldeia da Serra
Barueri – SP
Tel +55 11 4192-1802/4204
ponder@ponder.eng.br
www.ponder.eng.br

Você busca preço e qualidade?



Conectores



Comando e sinalização



Sensores



Fone: (11) 4043-0181 • Fax: (11) 4056-3313
vabscosco@vabscosco.com
www.vabscosco.com

madores a entrar em operação no Brasil (em 2001), um dos pontos de verificação quando do início de sua operação era comprovar a viabilidade de utilização do padrão de comunicação serial RS-485 com cabos de cobre em subestações. Este objetivo foi cumprido ao constatar-se a operação satisfatória da comunicação mesmo nas condições adversas de interferência eletromagnética presentes na instalação, o que vem se comprovando nos quase seis anos de operação do sistema.

Compatibilidade com outros sistemas existentes

Ainda durante a instalação do sistema, por questões de limitação de espaço, era desejo da Alumar evitar que se adicionasse mais um computador na sala de controle, o que ocorreria se fosse feita a opção de utilizar um computador dedicado ao sistema de monitoração. Acreditava-se que seria possível a instalação do sistema de monitoração no mesmo computador onde já era executado um sistema supervisão, o que se confirmou na instalação e na operação de longo prazo sem que se apresentassem problemas de compatibilidade entre os dois sistemas.

Conclusões

Por ter sido, à época de sua instalação, o pioneiro a entrar em operação dentre os sistemas comerciais para monitoração *on-line* de transformadores, muitas expectativas cercavam o sistema objeto deste artigo. De fato, logo após sua entrada em operação, os fatos demonstraram os ganhos trazidos com a instalação do

sistema, quando este detectou um defeito em um computador sob carga que, de outra forma, passaria despercebido e poderia causar graves prejuízos futuros.

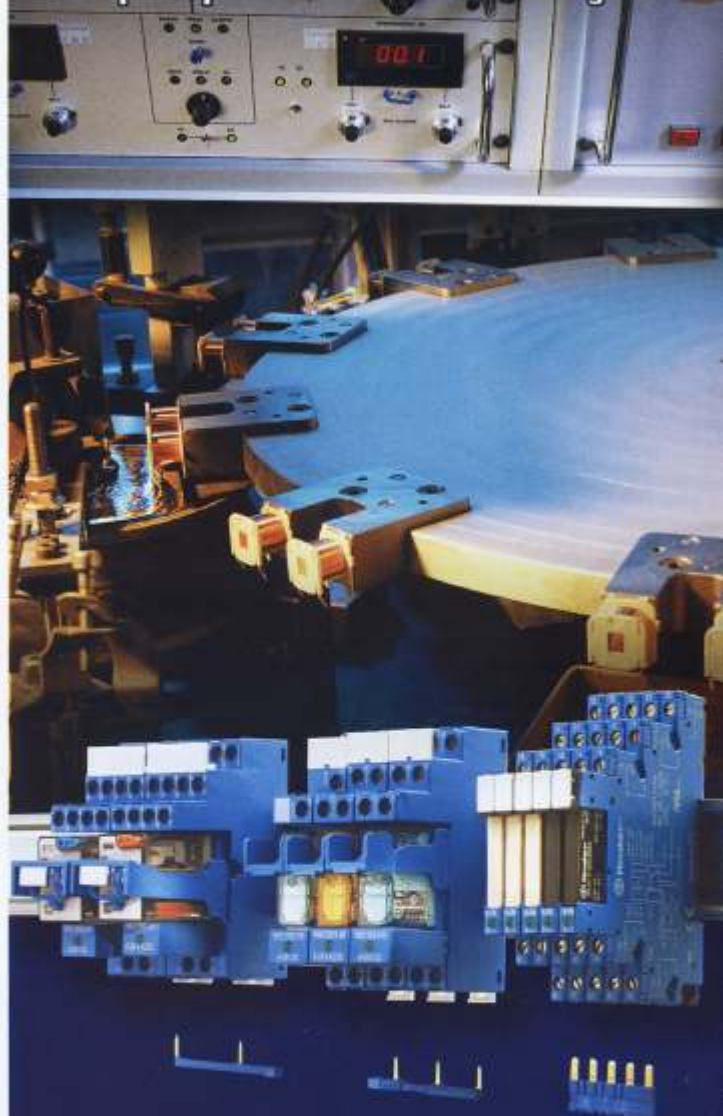
Este fato vem demonstrar a economia que pode ser obtida pelo uso de um sistema de monitoração *on-line*, ao evitar falhas mais graves, mostrando que a barreira do custo, muitas vezes apontada como o impedimento para a instalação de sistemas de monitoração, pode ser ilusória.

A isso, deve-se acrescentar o fato de que os sistemas de monitoração baseados em arquitetura descentralizada podem ser compostos de forma modular, de acordo com as necessidades e o orçamento de cada aplicação, permitindo ainda sua futura e gradual expansão.

Referências

- [1] Alves, M.: Sistema de Monitoração On-Line de Transformadores de Potência. Revista *Eleticidade Moderna* maio/2004.
- [2] Amom, J.; Alves, M.; Vila, A.; Kastrop Filho, O.; Ribeiro, A.; et al.: Sistema de Diagnósticos para o Monitoramento de Subestações de Alta Tensão e o Gerenciamento das Atividades de Manutenção. Integração e Aplicações. X ERLAC - Encontro Regional Latino-americano do Cigré, Puerto Iquazu, Argentina, 2003.
- [3] Lavieri Jr., A.; Hering, R.: *Novos Conceitos em Sistemas de Energia de Alta Confiabilidade*, "Encarte Especial Siemens Energia". <http://mediabox.siemens.com.br/upfiles/232.pdf>, janeiro/2001.
- [4] McNitt, W. J.: *Insulation Thermal Life Considerations for Transformer Loading Guides*. "IEEE Transaction on Power Delivery", vol. 7, No. 1, pp. 392-401, January 1992.
- [5] Fabre, J.; Pichon, A.: *Deteriorating Processes and Products of Paper in Oil*. Application to Transformers. Cigré Paper 137, 1960.
- [6] Shroff, D. H.; Stannet, A. W.: *A review of paper aging in power transformers*. "IEE Proceedings", vol. 132, Pt. C, No. 6, pp. 312-319, November 1985.
- [7] Lampe, W.; Spicar, E.; Carrander, K.: *Continuous Purification and Supervision of Transformer Insulation System in Service*. IEEE Winter Point Meeting, IEEE Paper A 78 111-7, January/February 1978. ●

Flexibilidade do projeto à manutenção



Interfaces Finder

A linha de interfaces da Finder possui dimensões reduzidas e grande versatilidade em suas aplicações. Com módulos a diodo e a varistor, as interfaces possuem diversas tensões de bobina, tanto em AC quanto em DC e contatos que comutam tensões em até 400 VAC e até 16 A de corrente nominal, além de fácil instalação e manuseio. Com cores diferenciadas para facilitar a identificação e a sinalização, as interfaces Finder são reconhecidas pelos melhores laboratórios do mundo. Do projeto à manutenção, aplicar ficou mais simples.



Fabricante de relés e temporizadores desde 1954.

Tel: 11 2147.1550
finder.br@findernet.com

www.findernet.com
www.instalacoeseletricas.com

Serviço de consulta 3893