Avaliação da Possibilidade de Falhas de Trans-

formadores de Potência Associada à Formação

de Bolhas

A. Bassetto Filho, BM, J. Mak, BM e F. Faria, Elektro

do nível de água do isolamento sólido de transforma-

***Resumo*- Analisou-se a influência da umidade na possibilidade**

**de falhas durante contingências envolvendo um grupo de 59**

**transformadores de potência. Por meio do desenvolvimento de**

**um método de ensaio de campo, determinou-se o teor de água**

**no isolamento sólido dos transformadores estudados. Observou-**

**se que cerca de 67% dos transformadores estão com altos teores**

**de umidade nos enrolamentos entre 2 e 4%. O estudo da influ-**

**ência da umidade na possibilidade de falhas demonstrou que 35**

**transformadores (59%) estão em condições críticas quanto à**

**possibilidade de formação de bolhas em contingência.**

***Palavras-chave*— Transformador de potência – Falha –**

**Formação de bolhas – Confiabilidade - Umidade**

I. INTRODUÇÃO

A necessidade de conhecer o nível de confiabilidade dos

equipamentos e do sistema de subtransmissão fez com que a

Elektro tomasse a decisão de conduzir o presente estudo.

Com base nas informações obtidas no estudo, buscou-se

alterar filosofias, intervir no sistema e investir em áreas mais

críticas, de modo a permitir ganhos na qualidade e na confi-

abilidade do fornecimento de energia.

O estudo buscou avaliar a potencialidade de falhas, cau-

sadas principalmente por excesso de umidade nos enrola-

mentos dos transformadores de potência. Para tanto, foi pes-

quisado um modelo para levantamento da condição de cada

transformador estudado e foi desenvolvido um sistema com-

putacional. Dessa forma, foi possível identificar pontos críti-

cos no sistema e apontar soluções efetivas para os casos es-

tudados.

II. OBJETIVOS

O presente estudo teve os seguintes objetivos:

- Definir metodologia de ensaio de campo para deter-

minação de condições mais propícias para a medição

Este trabalho foi apoiado integralmente pela Elektro Serviços de Eletri-

cidade.

A. Basssetto Filho trabalha na BM Pesquisa e Desenvolvimento (e-mail:

abf@aquarium.com.br).

J. Mak trabalha na BM Pesquisa e Desenvolvimento (e-mail: jose-

mak@terra.com.br).

F. Faria trabalha na Elektro Serviços de Eletricidade (e-mail: ffari-

a@elektro.com.br).

dores energizados.

-   Avaliar os principais parâmetros para o desenvolvi-

mento de modelo envolvendo falhas de transforma-

dores em contingências e emitir diagnósticos com

base no modelo desenvolvido.

-   Analisar a influência da umidade na possibilidade de

falhas durante contingências envolvendo os trans-

formadores estudados.

III. AVALIAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NOS ENROLAMENTOS

*A.*  *Equilíbrio da Água no Sistema Papel-Óleo*

Os componentes do sistema isolante papel-óleo de trans-

formadores podem ser divididos em três grupos:

1)**“Estrutura grossa”** compreende cerca de 50% da

massa total do isolamento sólido, porém tem muito

pouca contribuição na migração da umidade em razão

da elevada constante de tempo para difusão.

2)**“Estrutura fina fria”**, que opera na temperatura do

óleo: cilindros isolantes de “pressboard”, cartolas,

etc. Estes representam de 20 a 30% da massa total.

3)**“Estrutura fina quente”**, que opera à temperatura

próxima à do condutor (isolamento das espiras). Cer-

ca de 5% da sua massa está a temperaturas elevadas,

isto é, os chamados pontos quentes.

A experiência tem demonstrado que a maior parte da umi-

dade fica armazenada nos componentes do segundo grupo.

Cerca de 10% em massa desse grupo (a parte mais fria) for-

ma certas zonas “frias” com teor de entre 1-1,5% acima da

média. Os componentes desse grupo são a fonte principal da

contaminação do óleo a temperaturas elevadas, quando a

concentração de umidade nas camadas superficiais de celu-

lose torna-se maior que aquela do óleo adjacente.

O teor de umidade nos componentes do terceiro grupo é

muito menor do que o do segundo, embora seu efeito danoso

possa ser maior na ocorrência de temperaturas maiores.

O óleo é o meio de transferência de água do papel isolante

no transformador. A água está presente no óleo de forma

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Óleo** | **Aroma-****ticos****CA, %** | **W0** | **B** | *Solubilidade (ppm)* |
| **20 C** | **40 C** | **70 C** |
| 1 | 5 | 16.97⋅106 | 3777 | 42.8 | 97.5 | 279 |
| 2 | 8 | 23.08⋅106 | 3841 | 46.8 | 108 | 316 |
| 3 | 16 | 22.76⋅106 | 3783 | 56.2 | 128 | 369 |
| 4 | 21 | 13.16⋅106 | 3538 | 75 | 162 | 436 |
| 5 | Silicone | 1.953⋅106 | 2733 | 174 | 315 | 675 |

solúvel, bem como na forma hidratada sendo absorvida por

produtos polares de envelhecimento. As partículas de fibra

no óleo também contêm certa quantidade de água. O teor de

água do óleo é diretamente proporcional à concentração

relativa de (saturação relativa) até o ponto de saturação [1].

A relação de saturação da água - temperatura (WS – T) é

expressa pela fórmula

**WS = W0 exp. (- B / T)** (1)

Onde W0 e B são constantes, normalmente diferentes para

óleos distintos, sobretudo graças a diferenças no teor de a-

romáticos. Alguns dados sobre as constantes de solubilidade

estimadas e teor saturado de água são apresentados na tabela

I [2].

TABELA I

CONSTANTES DE SOLUBILIDADE ESTIMADAS E TEOR

O surgimento de produtos polares de envelhecimento au-

SATURADO DE ÁGUA [2]

menta a solubilidade da água. A resposta ao envelhecimento

de diferentes óleos é distinta. De acordo com dados disponí-

veis, a “água total” no óleo envelhecido é duas vezes maior

que a água dissolvida. A temperaturas elevadas, certa quan-

tidade de água “hidratada” pode ser transferida para água

dissolvida.

*B. Procedimentos de Campo*

Foram executados os seguintes procedimentos de campo

para avaliação do teor de água dos enrolamentos:

- Retirou-se amostra de óleo isolante (amostra inicial)

para ensaios de teor de água, rigidez dielétrica, ten-

são interfacial e teor de aromáticos e foram anotadas

as temperaturas da amostra, do óleo e dos enrolamen-

tos, bem como a corrente de carga em condições

normais de operação do transformador.

- Desligou-se o “trip” de temperatura do óleo. Quando

o “trip” dos enrolamentos estava regulado para tem-

peraturas inferiores a 120 0C, este também foi desli-

gado. Assim, foi possível garantir a continuidade em

operação do transformador. Todas as temperaturas

durante o aquecimento do transformador estavam de

acordo com a Norma Brasileira NBR 5416/97 "Pro-

cedimentos para Carregamento de Transformadores

de Potência" [3], que estabelece as temperaturas má-

ximas confiáveis de 105 0C para o óleo e de 140 0C

para os enrolamentos.

-  Efetuou-se o aquecimento do transformador por meio

do fechamento das válvulas inferiores dos radiadores

(fechou-se no máximo 90% do curso da válvula).

-   Instalou-se termômetro padrão externo com conver-

são dos valores por procedimento normalizado para

referência e verificação de eventuais desvios dos

termômetros instalados no transformador.

-   Foram retiradas amostras de óleo isolante (um litro

por amostra) para ensaios de teor de água e rigidez

dielétrica após ter sido atingido o nível de aqueci-

mento necessário, cerca de quatro horas após a reti-

rada da amostra inicial.

-   Repetiu-se a amostragem em intervalos regulares, va-

riando de duas a quatro. O processo completo variou

de quatro a 48 horas. Anotaram-se as temperaturas

da amostra, do óleo e dos enrolamentos. A corrente

de carga foi anotada a cada hora, no período de su-

pervisão por componentes da equipe.

-   Durante o aquecimento do transformador, anotaram-

se as temperaturas da amostra, do óleo e dos enrola-

mentos, assim como a corrente de carga.

-   Ao final do período de ensaio, retirou-se amostra de

óleo isolante para ensaios de teor de água e rigidez

dielétrica. Foram anotadas as temperaturas da amos-

tra, do óleo e dos enrolamentos, assim como a cor-

rente de carga.

IV. AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE FORMAÇÃO DE

BOLHAS E DA UMIDADE NOS ENROLAMENTOS

A partir dos dados levantados para os transformadores do

estudo, calculou-se a possibilidade de formação de bolhas

com base na metodologia de cálculo desenvolvida no estudo

[4]. Tomou-se como referência a curva de carga de um dia

típico, além de resultados ensaios no óleo tais como teor de

água e concentração de gases como nitrogênio, oxigênio,

monóxido de carbono e dióxido de carbono.

Foram feitas simulações no perfil de carga, de modo a ob-

ter as condições mais críticas para formação de bolhas. Na

tabela II-A e B, pode-se observar a potencialidade de todos

os transformadores do plano-piloto quanto à formação de

bolhas.

TABELA II-A

AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE FORMAÇÃO DE BOLHAS

**Obrigado por avaliar o Wondershare PDFelement.**

**Você apenas pode converter 2 páginas na versão teste.**

**Para obter a versão completa, por favor encomende aqui o programa:**

[*http://cbs.wondershare.com/go.php?pid=1159&m=db*](http://cbs.wondershare.com/go.php?pid=1159&m=db)