

Capítulo IV

Testes em campo de transformadores de corrente e de potencial de alta tensão

1- INTRODUÇÃO

Os transformadores de potencial de alta tensão, basicamente, podem ser dos tipos: convencional ou indutivo e a divisor capacitivo, que podem ser aplicados de acordo com aspectos econômicos e nível de tensão do sistema a serem instalados. Ambos operam em paralelo com a linha com o objetivo de fornecer medição da tensão do circuito com valores reduzidos para serem enviados para relés de proteção e medidores. Em termos de ensaios e serviços de campo poucas diferenças se fazem necessárias nos procedimentos em cada tipo.

Os transformadores de corrente de alta tensão de forma geral são hermeticamente fechados, a pequeno volume de óleo, estes são projetados para operarem em série com a linha a fim de obter uma imagem de corrente a um nível de tensão muito menor do que a real do circuito.

2 - MANUTENÇÃO PREVENTIVA: INSPEÇÕES E ENSAIOS

As inspeções indicadas a seguir podem ser aplicadas tanto a transformadores de potencial como de corrente.

2.1 - Inspeções periódicas

Periodicamente, devem ser realizadas algumas inspeções nos TPs/TCs:

- deve ser verificado periodicamente a existência de vazamento de óleo. Esses equipamentos possuem normalmente indicadores de nível de óleo instalados no tanque de expansão (esquema ao lado). Se o nível de óleo ficar abaixo do normal, deve-se retirar o equipamento de serviço e se realizar investigação das possíveis causas. De forma geral, é possível completar o nível de óleo abrindo-se a tampa localizada no tanque com óleo de boa qualidade

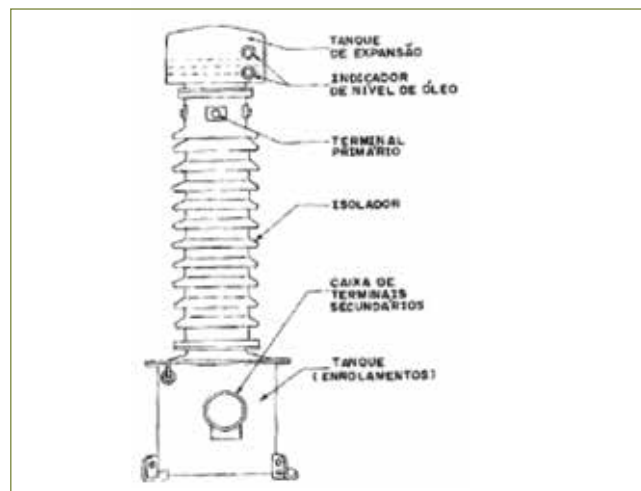
até o nível ideal, sempre tomando-se cuidado em vedar a tampa para impedir a entrada de umidade;

- inspeção visual do estado das porcelanas e de possíveis pontos de corrosão no tanque;
- inspeção visual das conexões nos enrolamentos secundários dos equipamentos e verificação das caixas de terminais;
- inspeção termográfica das conexões.

A periodicidade dessas inspeções pode variar de acordo com diversos fatores, tais como: criticidade do equipamento, custo do equipamento, recomendações do fabricante etc. Deve sempre se observar as recomendações dadas por cada fabricante dos equipamentos quanto a diferentes procedimentos a serem aplicados aos tipos de equipamentos disponíveis no mercado.

2.2- Ensaios

Além das inspeções, também devem entrar no programa de manutenção dos TCs/TPs alguns ensaios, sendo que os seguintes



testes são os mais recomendados:

- medição da relação de transformação;
- medição da resistência ôhmica dos enrolamentos secundários;
- medição da resistência ôhmica de isolamento dos enrolamentos;
- medição do fator de potência do isolamento.

A seguir são descritos os procedimentos adotados em cada ensaio.

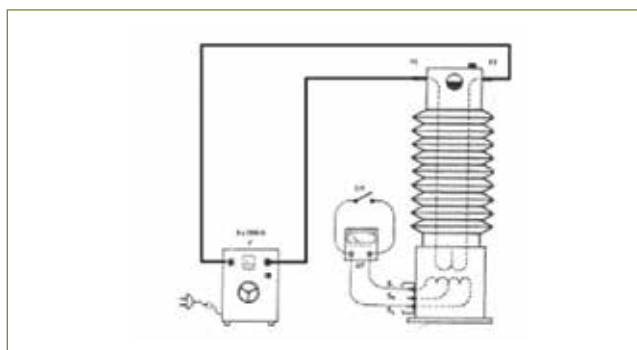
a) Medição da relação de transformação

A medição da relação de transformação pode ser realizada por vários métodos. Nos Transformadores de Potencial, os mais usuais são:

- método comparativo: trata-se de um método prático para se efetuar a medição da relação em TPs, onde através da injeção de tensão em seu primário, lê-se a tensão em seu enrolamento secundário com um voltímetro de precisão;
- método do potenciômetro: nesse método, como nos ensaios aplicados aos transformadores de potência, utiliza-se o TTR para realizar a medição (Transformer Turn Ratio Test), equipamento específico e fornecido por diversos fabricantes para execução desse tipo de medição.

Para os TPs, os métodos e conexões são bem parecidos com os aplicados aos transformadores de potência de forma geral.

Nos transformadores de corrente podemos destacar como método mais adequado para o teste completo da relação de transformação o de injeção de corrente primária. O ensaio é realizado utilizando-se uma fonte de corrente com faixa adequada para se atingir a corrente nominal do TC sob teste. A mesma deve ser conectada ao primário do TC e, após aplicada a corrente, deve-se proceder com a medição das correntes circulantes nos enrolamentos primário e secundário com amperímetros com precisão adequada aos níveis de corrente envolvidos. Deve-se proceder com medições com níveis de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da corrente nominal comparando-se os valores medidos com os esperados de acordo com os dados de placa. O esquema básico de conexão desse teste esta mostrado na figura a seguir.



Localização exata de falhas em cabos
Garantindo a produção de energias renováveis



Em alguns casos, tais como em transformadores de corrente instalados em buchas de transformadores de potência, não é possível realizar o ensaio com injeção de corrente primária e, nesse caso, uma alternativa é realizar o teste injetando-se tensão nos enrolamentos secundários e efetuando-se a medição da tensão resultante nos enrolamentos primários com o uso de um voltímetro de precisão adequada.

b) Medição da resistência ôhmica dos enrolamentos secundários

Para se medir a resistência dos enrolamentos secundários dos TPs e TCs em ohms deve se utilizar uma Ponte Kelvin, Ponte de Wheatstone ou ainda um Microhmimetro (Ducter) com escala adequada conectado diretamente ao enrolamento sob análise.

Essa medição permite conhecer e avaliar se ocorreu alguma alteração do valor da resistência do cobre dos enrolamentos. É recomendável medir em todos os enrolamentos e derivações existentes.

Por tratar-se de ensaio tipicamente de comissionamento e manutenção de campo, para se avaliar os resultados deve ser feita comparação com valores medidos em fábrica, caso disponíveis, ou medidos em manutenções anteriores.

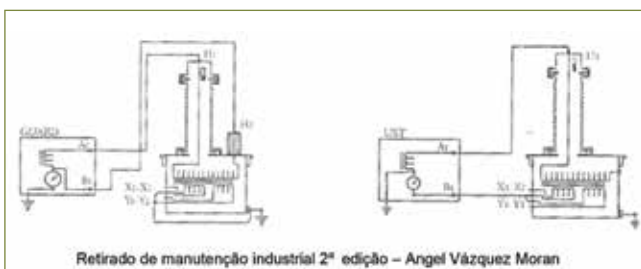
c) Medição do fator de potência do isolamento

A medição do fator de potência do isolamento dos TCs e TPs é realizada por equipamento específico para este fim (medidor de fator de potência) e visa a avaliar o estado do isolamento dos equipamentos.

No mercado, existem dois padrões de tensão nominal para os equipamentos de teste: 2.500 Vca e 10.000 Vca. Para transformadores com enrolamentos de tensão nominal até 69 kV podem ser utilizados ambos os valores de teste, para transformadores de tensão nominal superior a 69 kV e equipamentos próximos a linhas energizadas deve ser utilizado o equipamento de 10 kV.

As conexões de teste variam de acordo com o tipo de equipamento, conforme figuras a seguir onde são apontados a porção de isolamento medida, a posição de teste selecionada no equipamento de medição e onde são feitas as conexões ao equipamento:

✓ Transformador de potencial convencional

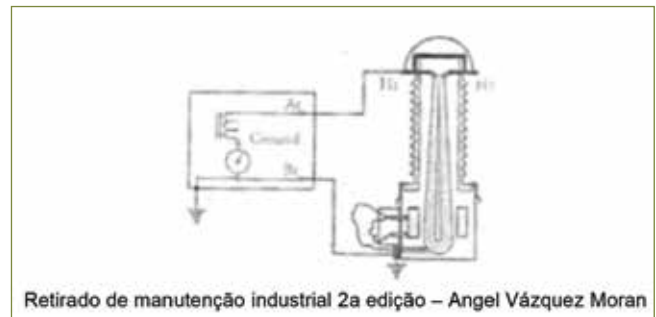


✓ Transformador de potencial capacitivo



Nos TPs, deve-se tomar cuidado para não se curto circuitar os enrolamentos secundários.

✓ Transformador de Corrente



Na medição nos TCs devem ser curto circuitados e aterrados todos os terminais dos secundários

Para se avaliar os resultados deve ser feita a correção dos valores obtidos para a temperatura de referência de 20°C pela fórmula:

$$FP_c = FP_m \times F$$

Onde:

FP_c = fator de potência corrigido

FP_m = fator de potência medido

F = fator de correção, de acordo com a temperatura ambiente no local do teste

A tabela de correção de acordo com a temperatura é mostrada a seguir:

°C	FATOR
5	1.41
10	1.25
15	1.11
20	1.00
25	0.90
30	0.80
35	0.71
40	0.65

Norma ABNT NBR IEC 60060 2013

Os valores devem ser comparados com os testes de fábrica do equipamento ou, em caso da ausência dos mesmos, com histórico

de medições anteriores realizadas. Como critério geral, considera-se o valor de fator de potência de até 0.5% como satisfatório. No caso dos TPs capacitivos, pode-se comparar diretamente os valores de capacitância medidos com os dados de placa do equipamento.

d) Medição da resistência ôhmica do isolamento

A medição da resistência ôhmica do isolamento dos TCs e TPs é realizada através do uso de um Megôhmetro e também tem como finalidade avaliar o estado do isolamento dos equipamentos.

O valor da tensão de teste a ser aplicada depende da tensão nominal do enrolamento em que se está realizando o ensaio. Como pode ser verificado na tabela a seguir.

TENSÃO DO TRANSFORMADOR	TENSÃO DE TESTE (VCC)
ATÉ 220 V	500
220 A 4160 V	1000
4.16 A 69 kV	2500
ACIMA DE 69 kV	5000

Conforme Norma ABNT NBR 5356-:2017

Com as conexões do equipamento dadas pela tabela a seguir (para TCs/TPs com dois enrolamentos secundários), são realizados três registros de isolamento: um após trinta segundos do início da medição, outro após um minuto e por último um após dez minutos do início do teste. Em termos de valor medido de isolamento considera-se o valor medido após um minuto, os outros valores são utilizados para o cálculo dos índices de polarização e absorção.

As medições devem medir o isolamento da Alta para a Baixa, da Alta para a Terra, entre Baixa 1 e Baixa 2 e da Baixa para a Terra.

Para se avaliar os resultados deve ser feita a correção dos valores obtidos para a temperatura de referência de 75°C pela fórmula:

$$R_{75} = R_{med} / 2^a$$

Onde:

R_{75} = resistência ôhmica de isolamento corrigida para 75°C

R_{med} = resistência ôhmica de isolamento medida no ensaio

$a = 75 - t/10$

t = temperatura ambiente no momento do ensaio

Para TPs e TCs em geral, pode se considerar a seguinte fórmula para o cálculo do valor mínimo aceitável em MΩ:

$$R_{min} = kV + 1$$

Também pode-se calcular os índices de polarização e absorção conforme:

$$I_a = R_{60} / R_{30};$$

E

$$I_p = R_{10} / R_1;$$

Onde:

I_a = Índice de absorção

I_p = Índice de polarização

R_{30} = resistência ôhmica de isolamento após trinta segundos de teste

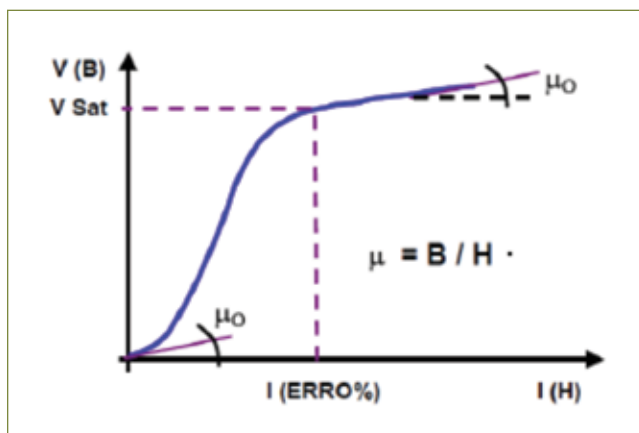
R_{60} = resistência ôhmica de isolamento após sessenta segundos de teste

R_1 = resistência ôhmica de isolamento após um minuto de teste

R_{10} = resistência ôhmica de isolamento após dez minutos de teste

e) Outros testes aplicáveis

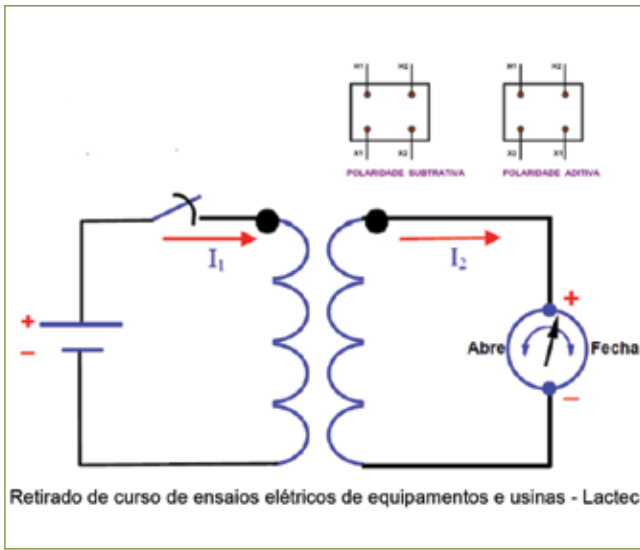
Nos transformadores de corrente, pode-se efetuar também o Ensaio de Excitação do TC, que tem como finalidade testar a qualidade do ferro e o isolamento entre espiras do enrolamento secundário. O ensaio é feito injetando-se uma tensão através de fonte variável no enrolamento secundário sob teste e medindo-se a corrente circulante com amperímetro preciso elevando-se a tensão aplicada em passos gradativos até se chegar a saturação do TC. Como resultado final pode-se desenhar a curva de saturação para verificar se o TC está de acordo com as condições esperadas pela sua especificação.



TESTE NÚMERO	PARTE MEDIDA	CONEXÃO DOS CABOS			
		LINE	EARTH	GUARD	ATERRAR
1	ALTA – (BAIXA1+TERRA)	ALTA	BAIXA1 (X)	BAIXA 2 (Y)	BAIXA 1 (X)
2	ALTA – (BAIXA2+TERRA)	ALTA	BAIXA 2 (Y)	BAIXA1 (X)	BAIXA 2 (Y)
3	BAIXA 1 – BAIXA 2+TERRA	BAIXA1 (X)	BAIXA 2 (Y)	ALTA	BAIXA 2 (Y)
4	BAIXA 2 – BAIXA 1+TERRA	BAIXA 2 (Y)	BAIXA1 (X)	ALTA	BAIXA1 (X)

Conexões do teste de isolamento

Outro teste aplicável a TCs e TPs é a verificação da polaridade, que representa o defasamento relativo entre as correntes/tensões primárias e secundárias. Utilizando-se uma bateria comum e um voltímetro analógico de zero central e fazendo-se as conexões de acordo com a polaridade de cada equipamento de acordo com o esquema a seguir e com um leve contato dos fios que conectam a bateria ao equipamento sob teste, é possível observar a deflexão do ponteiro do voltímetro, que, caso positivo, atesta que a polaridade do equipamento está de acordo com o apontado em sua placa.



FONTES

Manutenção Industrial 2a Edição – Angel Vázquez Moran
Electrical Power Equipment Maintenance and Testing Second Edition
– Paul Gill
Curso de Manutenção e Operação de Subestações – Engpower Eng. e Com. Ltda.

*Fabio Henrique Dér Carrião é engenheiro eletricista, especialista em energia e automação (USP), gestor de equipes de campo (engenharia, comissionamentos, montagens) em subestações de alta, média e baixa tensão, em usinas, distribuidoras e indústrias. Gerente de Engenharia na ENGEPOWER

*Claudio Mardegan é engenheiro eletricista, especialista em proteção de sistemas de potência, membro sênior do IEEE, professor, palestrante e CEO da ENGEPOWER.

*Claudio Rancoleta é empresário, pesquisador eletrotécnico, especialista em produtos químicos para área elétrica, membro do COBEI (NBR transformadores elétricos) e CEO da URKRAFT Sistemas.

CONTÍNUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e outros comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br



28 A 30 DE MAIO DE 2019
TRANSAMÉRICA EXPO CENTER – SÃO PAULO

O MAIOR EVENTO DE ENERGIA EÓLICA DA AMÉRICA LATINA ESTÁ COM INSCRIÇÕES ABERTAS!

O Brazil Windpower traz as melhores oportunidades de network e negócios que envolvem o mercado de energia eólica, além do conteúdo de altíssima relevância que são apresentados ao longo de 3 dias de evento.

CONGRESSOS – WORKSHOPS – FEIRA DE NEGÓCIOS

NÃO FIQUE DE FORA. GARANTA JÁ A SUA VAGA! – WWW.BRAZILWINDPOWER.COM.BR