

Capítulo VII

Ensaio de resistência de isolamento e de rigidez dielétrica

Por Marcelo Paulino*

A avaliação do sistema isolante consiste em uma das principais ferramentas para determinar a condição operacional dos equipamentos elétricos. Assim, este texto analisa os aspectos conceituais referentes à medida da resistência do isolamento, os procedimentos para executá-la e avaliar os resultados obtidos. Em relação às propriedades elétricas de um fluido refrigerante e isolante, o texto abordará o ensaio de rigidez dielétrica do óleo do transformador.

Ensaio de resistência de isolamento

A resistência de isolamento é a medida da dificuldade oferecida à passagem de corrente pelos materiais isolantes. Seus valores se alteram com a umidade e com a sujeira – alterações da capacitância do isolamento, da resistência total, das perdas superficiais e da temperatura do material – constituindo-se em uma boa indicação da deterioração dos equipamentos elétricos provocada por estas causas. O ensaio consiste em aplicar no isolamento uma tensão em corrente contínua, com valores entre 500 V e 10.000 V. Isso provocará a circulação de um fluxo pequeno de corrente.

Deve-se observar, entretanto, que as várias normas sobre este assunto estabelecem que este ensaio não se constitui em critério para aprovação ou rejeição do equipamento. Pelas suas

características, constata-se que é bastante útil para a verificação de curtos-circuitos francos, ficando a identificação dos defeitos menos pronunciados a cargo dos ensaios com tensão alternada, de tensão aplicada e tensão induzida.

Para a medição da resistência de isolamento utiliza-se um instrumento denominado megômetro ou, popularmente, megger (o que, na realidade, é a marca de um fabricante). Os megômetros atuais são analógicos ou digitais (motorizados ou eletrônicos), mas, também, podem ser manuais (ou seja, com um "cambito" ou "manivela").



Figura 1 – Megômetro digital.



Figura 2 – Megôhmetro manual.

A resistência resultante medida neste ensaio é a soma da resistência interna do condutor (valor pequeno) mais a resistência de isolamento, que é dividida em três componentes (subcorrentes) independentes:

- a) Corrente de deslocamento ou corrente de carga capacitiva (IC);
- b) Corrente de absorção (IA); e
- c) Corrente de dispersão ou corrente de fuga por meio do dielétrico (IL).

A corrente de deslocamento ou de carga capacitiva (IC) é aquela que surge no instante inicial da energização e possui a mesma função que uma corrente de carga de um capacitor devido ao efeito capacitivo existente entre condutores ou entre condutor e a terra. Dependendo do tipo e da forma do material isolante. Note-se que ela assume o valor máximo quando da energização e decresce rapidamente a um valor desprezível depois que a isolação foi carregada eletricamente por completo.

A corrente de absorção (IA) é aquela responsável pela polarização dos dipolos elétricos que constituem a massa do dielétrico. Em equipamentos de baixa capacitância, a corrente é alta pelos primeiros segundos e decresce vagarosamente a quase zero. Ao ensaiar equipamentos de alta capacitância ou isolação com teor de umidade elevado e contaminada, não haverá decréscimo na corrente de absorção por um longo período. Um exemplo prático desse fenômeno é o ressurgimento de tensão nos terminais de um capacitor quando se retira o curto empregado para descarregá-lo. Em função deste aspecto, é necessário observar que ela também assume o seu valor máximo próximo à energização e decresce a valor desprezível em um intervalo variável entre dez minutos e várias horas.

A corrente de dispersão ou de fuga (IL), por meio do dielétrico, flui pela superfície e pelo interior da massa do dielétrico, entre condutores ou de um condutor para a terra e é de caráter irreversível. Constitui-se no componente mais importante na medição do ensaio de isolamento em corrente contínua quando se deseja avaliar o estado em que se encontra o isolamento. Tal corrente não varia com o tempo de aplicação de tensão e, nestas condições, se houver alguma elevação de seu nível é indicativo que o isolamento pode vir a falhar. A Figura 3 mostra a corrente total com seus três componentes definidas anteriormente.

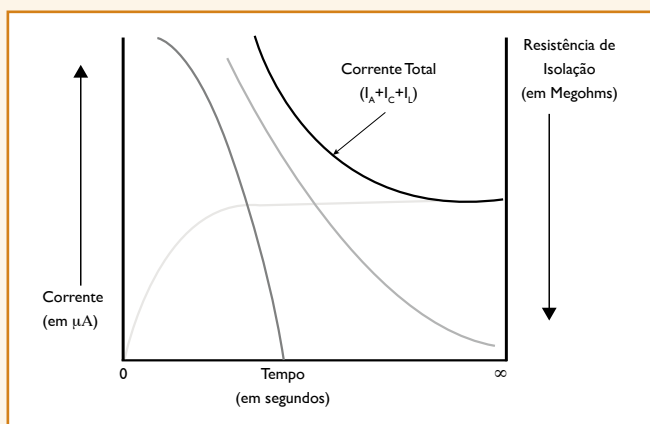


Figura 3 – Componentes de corrente no ensaio de resistência do isolamento DC (CIGRE Brasil, GT A2.05, 2013).

Procedimentos de teste

A seguir são descritos procedimentos como exemplos para realização do teste de resistência de isolamento. Entretanto, tais procedimentos devem ser adequados aos instrumentos de teste utilizados, obedecendo suas características de uso e aos equipamentos a serem testados. Assim, para o ensaio de resistência de isolamento:

- Deverão ser obedecidos todos os procedimentos relativos às recomendações de segurança, segundo as especificações da instalação ou da empresa.
- Desenergizar o transformador;
- Desconectar os cabos externos. Os ensaios de resistência de isolamento devem ser executados com todos os cabos do transformador desconectados das buchas, inclusive o cabo da bucha de neutro;
- Caso não seja possível a desconexão dos cabos, deve-se proceder a anotação detalhada do esquema de teste com respectiva descrição;
- Curto-circuitar os terminais das buchas de um mesmo enrolamento para obter uma melhor distribuição do potencial;
- O tanque do transformador deve ser aterrado;
- Inspeccionar e limpar as buchas com pano seco ou embebido

em álcool e anotar qualquer irregularidade constatada;

- Cuidar para que os cabos do megôhmetro não toquem em outras partes do equipamento, ou se toquem, para evitar alteração na medida da resistência do isolamento;
- Ajustar o megôhmetro segundo especificações do equipamento utilizado;
- Deve-se nivelar o megôhmetro, nos casos de medidores com indicador de ponteiros;
- Nos megôhmetros manuais é necessário manter invariável a rotação do cambito na especificada pelo fabricante, para que a tensão aplicada seja constante;
- Deve-se sempre observar cuidadosamente o ponteiro do megôhmetro quando em operação. Se ele apresenta oscilação excessiva é provável que haja mau contato, fugas intermitentes pela superfície do cabo de ligação ou influência de circuitos energizados nas proximidades;
- Antes de começar a medição, aciona-se o megôhmetro, sem executar qualquer contato entre os terminais e ajustar o ponteiro no “infinito”, girando o botão de ajuste para tal fim;
- Deve ser obtida a temperatura dos enrolamentos;
- Selecionar a tensão para teste de acordo com o equipamento a ser testado, segundo proposto na Tabela 1.

TABELA 1 – TENSÕES DE TESTE CONFORME A TENSÃO NOMINAL DO EQUIPAMENTO

Tensão do equipamento (V)	Tensão de teste (V)
< 1.000	500
1.000 a 2.500	500 a 1.000
2.501 a 5.000	1.000 a 2.500
5.001 a 12.000	2.500 a 5.000
> 12.000	10.000

- De forma que as leituras não sofram influências de resistências em paralelo com a que se está avaliando, deve-se utilizar do cabo "GUARDA". Assim, os terminais do megôhmetro deve ser aplicado como mostrado na Tabela 2 (exemplo utilizando transformador de dois enrolamentos).

A Figura 4 mostra um esquema de conexão para medida de resistência entre os enrolamentos de alta e baixa tensão.

TABELA 2 – CONEXÕES PARA TESTE EM TRANSFORMADOR DE DOIS ENROLAMENTOS

Resistência entre	Circuitos conectados aos terminais		
	Line	Guard	Earth
AT – BT	AT	Carcaça	BT
AT – CARCAÇA	AT	BT	Carcaça
BT – CARCAÇA	BT	AT	Carcaça

- O resultado das medidas deve ser corrigido para a temperatura de referência.

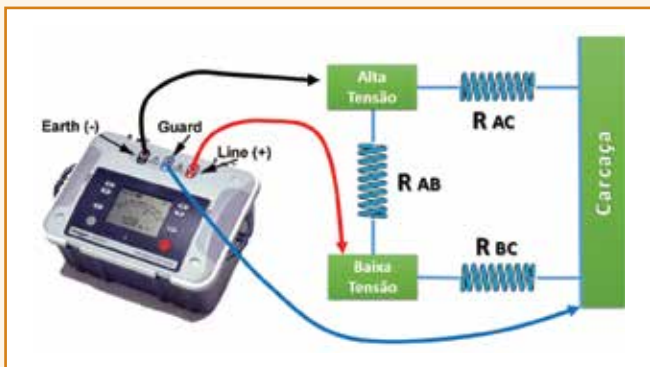


Figura 4 – Conexões para medição de AT-BT em transformadores de dois enrolamentos.

Critérios de avaliação

A avaliação é realizada pela comparação dos valores de resistência de isolamento obtidos ao longo do ensaio, sendo realizadas medidas em intervalos de 30 segundos a 1 minuto, com duração total de geralmente dez minutos. Além da interpretação da curva mostrada na Figura 5, a condição do Índice de Polarização e Índice de Absorção apontarão o estado do isolamento. Assim, na curva da Figura 5, um crescimento contínuo na resistência indica boa isolação, em contrapartida, uma curva uniforme ou decrescente indica isolação degradada. A Tabela 3 mostra a orientação para o diagnóstico com os índices.

Considerações sobre resistência de isolamento

Os resultados obtidos no ensaio de resistência de isolamento não podem ser considerados um critério exato de avaliação das condições do isolamento do transformador e de sua capacidade operativa. Entretanto, os valores medidos podem ser usados como uma orientação sobre o seu estado, baseando-se na avaliação do histórico do equipamento.

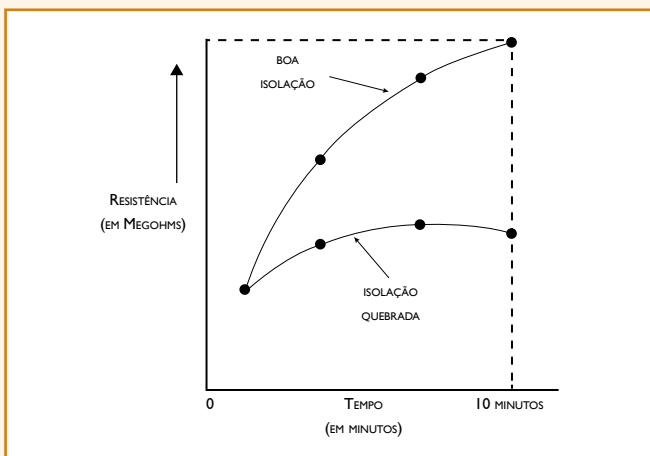


Figura 5 – Comportamento típico de ensaio de Resistência do Isolamento (CIGRE Brasil, GT A2.05, 2013).

TABELA 3 – TABELA ORIENTATIVA PARA O DIAGNÓSTICO COM OS ÍNDICES IP E IA

Condições de isolamento	Índice de absorção (R_{1min}/R_{30s})	Índice de absorção (R_{10min}/R_{1min})
Pobre	< 1,0	< 1,0
Duvidoso	1,0 a 1,4	1,0 a 2,0
Aceitável	1,4 a 1,6	2,0 a 4,0
Bom	> 1,6	> 4,0

Basicamente, a degradação do isolamento pode ser avaliada por meio de testes ao longo do tempo com o ensaio de resistência de isolamento em CC, e também determinada a condição do isolamento como um teste “passa ou não passa”. Neste caso, a existência de uma falha grave no isolamento, como um curto-circuito franco, é evidenciada. Caso contrário, a avaliação deve ser realizada pelo ensaio de perdas em corrente alternada, ensaios de tensão aplicada e tensão induzida.

Ensaio de rigidez dielétrica

A rigidez dielétrica é o máximo valor de campo elétrico que pode ser aplicado a um material dielétrico sem que este perca suas propriedades isolantes. De outra forma, pode-se afirmar que após um valor de tensão, designada por tensão de ruptura, o material isolante passa a conduzir corrente. Assim, define-se rigidez dielétrica como a capacidade de resistir à tensão sem que haja a citada descarga, conforme a distância entre os dois pontos de aplicação. Este valor é dado em V/m.

$$E_c = \frac{U_c}{d_c}$$

A rigidez dielétrica dos isolantes não é constante para cada material, pois depende fundamentalmente da espessura do isolante, da pureza do material, do tempo e do método de aplicação da tensão, da frequência da tensão aplicada e do tipo de solicitação ao qual o sistema dielétrico é submetido, da temperatura, da umidade, dentre outros fatores ambientais.

O óleo apresenta alta rigidez dielétrica se possuir baixo teor de água e baixo teor de partículas contaminantes. Água e partículas sólidas em níveis elevados tendem a migrar para regiões de tensão elétrica elevada e reduzir dramaticamente a rigidez dielétrica. Portanto, a rigidez dielétrica indica a presença de contaminantes. Um baixo valor da rigidez dielétrica pode indicar que uma ou ambas estão presentes. Entretanto, uma alta rigidez dielétrica não indica necessariamente a ausência de todos os contaminantes.

Como o teste é realizado obtendo-se o valor de tensão na qual ocorre uma ruptura do fluido entre dois eletrodos posicionados no interior de uma cuba de material isolante

em condições preestabelecidas, o resultado dependerá das condições em que o teste foi realizado.

Os procedimentos mais utilizados no Brasil incluem o uso de eletrodos e respectivos espaçamentos em milímetros de formatos ASTM (ou ANSI ou ABNT) e VDE. A Figura 6 mostra a cuba de medidor de rigidez dielétrica com eletrodos VDE.

Independentemente do tipo de teste a ser executado, é importante que a cuba e os eletrodos estejam bem limpos e secos antes do enchimento do óleo. A Tabela 4 mostra os valores recomendados para transformadores segundo a ABNT NBR IEC 60156.



Figura 6 – Cuba de medidor de rigidez dielétrica com eletrodos VDE.

TABELA 4 – VALORES RECOMENDADO PARA TRANSFORMADORES (MÉTODO ABNT NBR IEC 60156 – CIGRE BRASIL, GT A2.05, 2013)

Tensão	Valores limites
≤ 72,5 kV	≥ 40 kV
> 72,45 / ≤ 242 kV	≥ 50 kV
> 242 kV	≥ 60 kV

Referências

- ALMEIDA, A. T. L.; PAULINO M. E. C. *Manutenção de transformadores de potência. Curso de Especialização em Manutenção de Sistemas Elétricos – UNIFEI, 2012.*
- MILASCH, M. *Manutenção de transformadores em líquido isolante. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.*
- GT A2.05. *Guia de manutenção para transformadores de potência. CIGRE Brasil – Grupo de Trabalho A2.05, 2013.*

* MARCELO EDUARDO DE CARVALHO PAULINO é engenheiro eletricista e especialista em manutenção de sistemas elétricos pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI). Atualmente, é gerente técnico da Adimarco | mecpaulino@yahoo.com.br.

Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em
www.osetoreletrico.com.br

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail
redacao@atitudeeditorial.com.br