Por Luis Eduardo Caires e Nunziante Graziano*

Capítulo VIII

Ensaios de corrente suportável de curta duração e de elevação de temperatura

Prezado leitor, este fascículo pretende apresentar em detalhes o conjunto de Normas Brasileiras para construção de conjuntos de manobra e controle em alta tensão, acima de 1kV até 52kV inclusive.

No capítulo inicial deste fascículo apresentamos ao leitor os objetivos deste trabalho, que contemplou a apresentação do panorama atual da NBR-IEC-62271-200 vigente no Brasil, suas subdivisões, principais pontos de interesse, suas interpretações e definições. Neste segundo capítulo, continuaremos a análise da NBR-IEC 62271-200, suas regras gerais, definições, características nominais obrigatórias dos conjuntos, além dos requisitos de projeto e construção.

No segundo capítulo, abordamos as principais características nominais de um conjunto de manobra e controle em invólucro metálico de alta tensão, desde tensão nominal e número de fases, nível de isolamento nominal, frequência nominal, corrente nominal de regime contínuo, corrente suportável nominal de curta duração para circuitos principais e de aterramento, valor de crista da corrente suportável nominal, duração de curto-circuito nominal, valores nominais dos componentes que fazem parte do conjunto de manobra e controle em invólucro metálico, incluindo seus dispositivos de operação e seus equipamentos auxiliares e nível de preenchimento nominal dos compartimentos preenchidos com fluído.

No terceiro capítulo, mostramos as principais características de operação normal, partes removíveis, aterramento do conjunto e do invólucro, fechamentos, conceitos de compartimentação dos conjuntos, janelas de inspeção e plaquetas de identificação.

No quarto capítulo, apresentamos os requisitos de projeto e construção obrigatórios para os conjuntos, notadamente dispositivos de intertravamento, indicadores de posição, grau de proteção dos invólucros, proteção de pessoas contra acesso a partes perigosas e proteção do equipamento contra penetração de objetos sólidos estranhos, proteção contra penetração de água, proteção do equipamento contra impacto mecânico e distâncias de escoamento.

No quinto capítulo abordamos os requisitos de projeto e construção obrigatórios para os conjuntos, notadamente Estanqueidade ao gás e ao vácuo, Sistemas de pressão controlada para gás, Sistemas de pressão autônomo para gás, Sistemas de pressão selados, Sistemas de pressão controlados para líquido, Sistemas autônomos de pressão a líquidos, Flamabilidade e compatibilidade eletromagnética.

No sexto capítulo, expusemos os requisitos de projeto e construção obrigatórios para os conjuntos, notadamente emissões de raios X, aspectos de corrosão, Arco interno devido à falha interna, requisitos dos invólucros, compartimentos de alta tensão, partes removíveis e provisões para ensaios dielétricos em cabos.

No sétimo capítulo iniciamos a abordagem dos ensaios de tipo, elencando as principais razões pelas quais são realizados cada um dos ensaios, resultados esperados e suas características mais importantes, com a participação do físico Cleber Rogério Fiori abordando ensaios

de tensão para conjuntos de manobra e controle em alta tensão.

Neste capítulo, assume o comando o Engenheiro Eletricista Luis Eduardo Caires, supervisor do Serviço Técnico de Altas Potências (SVALPOT-IEE/USP), onde se especializou em ensaios de curto-circuito e interrupção de altas correntes em equipamentos elétricos de potência e atividades do laboratório para ensaios de elevação de temperatura em equipamentos e o laboratório de vestimentas (LeVe- IEE-USP). Com a caneta então, Luisão!

Iniciamos nossa análise pelo Ensaio de corrente suportável de curta duração, conhecido popularmente como ensaio de curto-circuito. Qual o objetivo do ensaio, em outras palavras, por que se realiza estes ensaios? Para verificar a capacidade dos equipamentos para suportar os esforços resultantes das correntes de curto-circuito. Esses esforços podem ser divididos em dois, para classificação pelos seus efeitos, térmico e dinâmico.

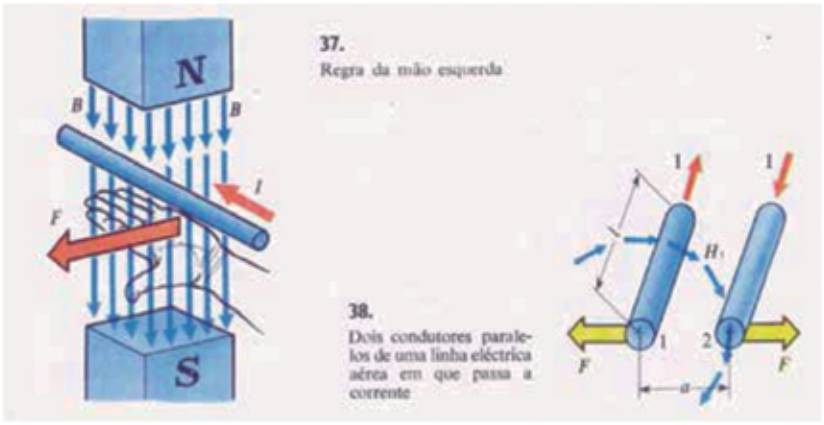
Define-se o efeito térmico, a partir do efeito Joule, pelo aquecimento do condutor quando da passagem da corrente elétrica. Esse é diretamente proporcional à característica física do condutor, expressa por sua resistência elétrica e ao quadrado do valor da corrente, conforme a expressão clássica $P=R.I^2$.

Como o valor da corrente de curto-circuito é muito elevado, a potência resultante em aquecimento pode ser extremamente elevada. Por exemplo, nos terminais de saída de um transformador podemos considerar um valor razoável de vinte cinco vezes a corrente nominal, de modo que se pode estimar uma potência 625 vezes maior de dissipação no evento de um curto-circuito, com consequências nefastas para a instalação.

O efeito dinâmico resulta da interação eletromagnética entre os condutores, pois um condutor percorrido por uma corrente elétrica produz em torno de si um campo magnético e um condutor percorrido por uma corrente elétrica imerso em um campo magnético fica submetido a ação de uma força eletromagnética.

Como os condutores nas instalações elétricas geralmente estão próximos entre si, há uma interação entre os campos magnéticos produzidos e as correntes que as produziram entre as linhas e os respectivos retornos.

De modo similar ao efeito térmico, a expressão da força eletromagnética em sua forma mais simplificada implica em uma constante de proporcionalidade relacionada à montagem (parâmetros materiais do sistema) e a corrente também concorre com o quadrado de seu valor. Neste caso, a expressão simplificada é $F=(K.I^2)/d$, sendo que o valor da distância entre os condutores d é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a distância entre eles, menor o esforço a ser suportado. A figura a seguir ilustra o conceito.



37. Regra da mão esquerda

38. Dois condutores paralelos de uma linha eléctrica aérea em que passa a corrente

A classificação destes esforços geralmente está associada à duração dentro do evento pelo efeito sobre as partes submetidas a eles.

Por exemplo, o efeito térmico pode ser considerado cumulativo, pois quanto maior a duração do evento maior o aquecimento produzido, lembrando que no caso do curto-circuito se considera um processo adiabático (não há tempo para se considerar o calor dissipado).

Assim para cada ciclo (ou submúltiplo deste) acrescentado a duração do evento, maior o aquecimento que poderá causar a fusão de alguns materiais ou mesmo a perda nas suas propriedades mecânicas.

Do outro lado, importa o efeito instantâneo da força, cujo impacto pode causar a ruptura dos isoladores. Assim, o efeito dinâmico (mecânico) geralmente está associado ao maior valor instantâneo da corrente, já que esta contribui com o quadrado de seu valor no processo.

Na base destas ponderações geralmente se avalia o ensaio de curto-circuito através de suas componentes associadas ao efeito preponderante: térmico ou dinâmico.

Essas componentes são arbitradas e distintas na forma de onda de corrente típica dos ensaios, onde há um período inicial transitório onde ocorre o maior pico de corrente, que chamamos corrente de crista, e os subsequentes ciclos, onde a onda se comporta uniformemente em regime permanente que associamos ao valor da corrente simétrica de curto.

A figura a seguir ilustra esses componentes.

No caso da norma IEC62271-200, por exemplo, isso é verificado pelo item 6.6 (Short-time withstand current and peak withstand current tests) que podemos entender como ensaio de corrente suportável de curta duração e do valor de crista da corrente suportável.

O valor associado à corrente suportável de curta duração (Short-time withstand current) corresponde à corrente simétrica, onde procuramos observar o efeito térmico da corrente sobre os componentes da montagem.

O efeito dinâmico geralmente está associado ao valor da corrente de crista por ser o maior valor alcançado no processo. No entanto, durante todos os ciclos haverá um esforço mecânico, cujo maior valor é o pico inicial, mas não se pode desprezar a ação mecânica que ocorre no processo como um todo. Neste caso avaliamos o valor de crista da corrente suportável (peak withstand current).

Estas observações permitem entender os elementos básicos na avaliação da corrente do ensaio de curto circuito. Dentro da norma IEC62271-200, os parâmetros que caracterizam o ensaio associados a esses elementos são:

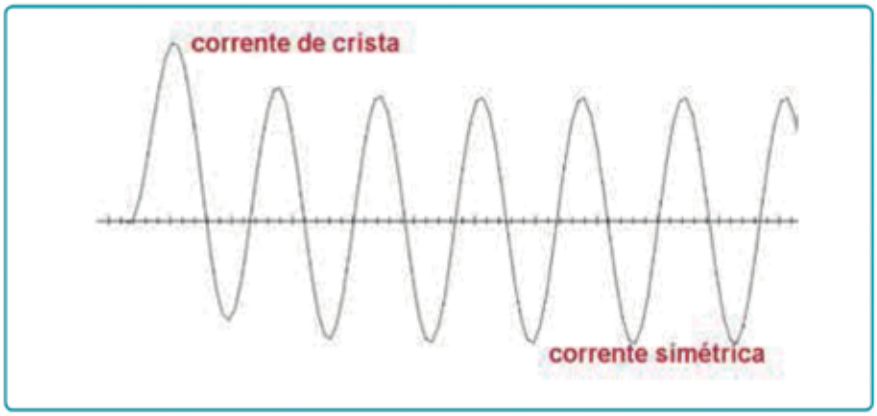
- It, que é a corrente de ensaio e corresponde ao valor da corrente simétrica. Esse é o valor eficaz da corrente aplicada durante o intervalo de tempo tt. Neste caso estamos avaliando o comportamento térmico relacionado ao curto-circuito e, por isso, o tempo e a duração são indissociáveis. Os valores nominais correspondentes são o (DÚVIDA)
- Ik (rated short-time current): valor da corrente suportável nominal de curta duração
- tk (tated short circuit current): tempo de suportabilidade da corrente suportável nominal de curta duração.

Na impossibilidade de se aplicar o valor nominal da corrente de curta duração Ik, a norma admite que o valor da corrente aplicada associada à sua duração correspondente seja maior que os valores nominais correspondentes associados. Essa associação é feita pelo indicador $It^2tt \geq Ik^2tk$ que vem do cálculo da energia pelo efeito Joule $E=R.I^2.\Delta t$.

Supondo que R seja constante, em ambos os casos, podemos dizer que a energia térmica aplicada durante o ensaio tem de ser maior ou igual ao valor especificado como nominal.

Resultados obtidos nos ensaios (o que se garante com um resultado positivo). No ensaio de curto-circuito se verifica, a princípio:

- se os condutores estão adequadamente dimensionados tanto do ponto de vista térmico (fusão de algum elemento) quanto do ponto de vista mecânico (deformações);
- se os contatos e conexões conduzem adequadamente a corrente de ensaios sem ficarem chamuscados, o que revelaria problema com a sua pressão e sem se soltarem, o que revelaria problema com seus suportes e



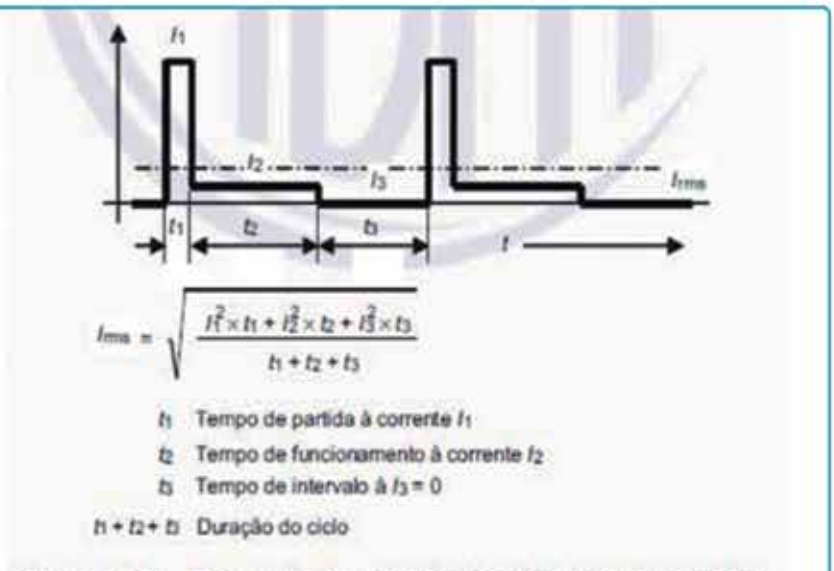


Figura E.6 – Exemplo de cálculo do efeito térmico médio

testes ocorra com menos percalços.

Resultados obtidos nos ensaios (o que se garante com um resultado positivo):

O resultado obtido nos ensaios garante que o produto opera dentro dos limites de segurança e desempenho estabelecidos no projeto e pelas normas.

Nesse aspecto, é de fundamental importância a definição correta da aplicação e de como o equipamento se integrará a outros sistemas dentro do projeto, compatibilizando as perdas e evitando aquecimentos indevidos das partes.

No próximo capítulo continuaremos a abordagem dos ensaios de tipo, elencando as principais razões pelas quais são realizados cada um dos ensaios, resultados esperados e suas características mais importantes. Até lá!

** LUIS EDUARDO CAIRES, engenheiro eletricista, formado pela Universidade São Judas Tadeu (1998) e mestrado em ciências pela Universidade de São Paulo (2012). Atualmente é supervisor do Serviço Técnico de Altas Potências (SVALPOT-IEE/USP) onde se especializou em ensaios de curto-circuito e interrupção de altas correntes em equipamentos elétricos de potência. Também supervisiona as atividades do laboratório para ensaios de elevação de temperatura em equipamentos e o laboratório de vestimentas (LeVe- IEE-USP) onde desenvolve atividades de estudo relacionadas a essas atividades.*

***NUNZIANTE GRAZIANO é engenheiro eletricista, mestre em energia, redes e equipamentos pelo Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP), Doutor em Business Administration pela Florida Christian University, membro do ABNT/CB-003/CE 003 017 003 "Conjuntos de manobra e controle de alta tensão", Conselheiro Regional do CREA-SP da Câmara Especializada em Engenharia Elétrica e diretor da Gimi Pogliano Blindosbarra Barramentos Blindados e da GIMI Quadros elétricos.*

CONTINUA 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