

Capítulo IV

Conjuntos de manobra e controle de média tensão em invólucros metálicos

Características construtivas

Por Luiz Felipe Costa*

Conforme o capítulo 4 da IEC 62271-200 e a NBR correspondente, as características elétricas nominais de um conjunto de manobra e controle em invólucro metálico para as tensões acima de 1 kV e até 52 kV, inclusive, são:

- 1 – Tensão nominal (U_r);
- 2 – Nível de isolamento nominal (valores das tensões suportáveis nominais à frequência industrial – U_d , e ao impulso atmosférico – U_p);
- 3 – Frequência nominal (f_r);
- 4 – Corrente nominal de regime contínuo (I_r);
- 5 – Corrente suportável nominal de curta duração (I_k);
- 6 – Valor de pico da corrente suportável (I_p);
- 7 – Duração nominal de curto-circuito (t_k).

1) **Tensão nominal (U_r):** Os valores mais comuns para a tensão de

operação (U_e) em média tensão no segmento industrial são: 4,16 kV e 13,8 kV. Além deles, é possível, também, encontrar sistemas em 2,4 kV e 34,5 kV. Porém, a escolha de 2,4 kV tem sido, praticamente, evitada no caso das novas aplicações industriais. Já os sistemas com tensão operacional de 34,5 kV vêm, nos últimos anos, aumentando a sua presença. É possível também encontrar instalações com tensões de operação em 3,3 kV e 6,6 kV, porém, não são comuns.

TABELA I – TENSÕES E NÍVEIS DE ISOLAMENTO NOMINAIS

| BRASIL | TABELA 1B | | | TABELA 1A | | |
|------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| U_e | U_r | U_d | U_p | U_r | U_d | U_p |
| (kV) | (kV) | (kV) | (kV) | (kV) | (kV) | (kV) |
| [2,4] | 4,76 | 19 | 60 | 3,6 | 10 | 40 |
| [3,3/3,45] | 4,76 | 19 | 60 | 3,6 | 10 | 40 |
| 4,16 | 4,76 | 19 | 60 | 7,2 | 20 | 60 |
| [6,6/6,9] | 8,25 | 36 | 95 | 7,2 | 20 | 60 |
| [11,0] | 15 | 36 | 95 | 12,0 | 28 | 75 |
| 13,8 | 15 | 36 | 95 | 17,5 | 38 | 95 |
| [23,0] | 27 | 60 | 125 | 24,0 | 50 | 125 |
| 34,5 | 38 | 80 | 150 | 36,0 | 70 | 170 |

Notas:

- *Coluna 1: valores comuns da tensão de operação no Brasil. Os valores entre colchetes, apesar de serem utilizados, não são muito comuns no setor industrial brasileiro;*
- *Colunas 2 / 3 / 4: relativas a tabela 1b (faixa I / série II de tensões nominais – U_n) da IEC 62271-1, cujos valores se alinham com as práticas brasileiras;*
- *Colunas 5 / 6 / 7: relativas a tabela 1a (faixa I / série I de tensões nominais – U_n) da IEC 62271-1;*
- U_e : *tensão de operação (kV – valor eficaz);*
- U_r : *tensão nominal (kV – valor eficaz);*
- U_d : *tensão nominal suportável a frequência industrial (kV – valor eficaz);*
- U_p : *tensão nominal suportável ao impulso atmosférico – NBI (kV – valor de crista).*

A prática, muitas vezes, adotada no Brasil é associar os valores de 4,16 kV e 13,8 kV às tensões nominais (U_n) de 7,2 kV e 17,5 kV da tabela 1a da IEC 62271-1: 2007: Níveis de isolamento nominais para tensões nominais da faixa I, série I (valor eficaz da tensão nominal – U_n). Isso, de certa forma,

não reflete a realidade, já que a tensão nominal representa o máximo valor ao qual a instalação pode ficar sujeita: no caso, por exemplo, de 13,8 kV os sistemas nacionais não ultrapassam o limite de 15 kV. Porém, o impacto não é significativo no contexto relativo aos valores dos níveis de isolamento nominais.

2) Nível de Isolamento Nominal (U_d / U_p): se for mantida a análise prévia para os sistemas com tensões de operação em 4,16 kV e 13,8 kV, pode-se notar que os valores de 20 kV e 38 kV adotados para tensão suportável à frequência industrial (respectivamente para as tensões nominais de 7,2 kV e 17,5 kV) não implicam nenhum grande impacto. Esses valores são muito próximos dos aplicáveis no caso de se usar a tabela 1b (faixa I/série II de tensões da IEC 62271-1), ou seja: 19 kV e 36 kV, respectivamente, para as tensões nominais de 4,76 kV e 15 kV. A tensão suportável nominal ao impulso atmosférico – NBI (U_p) apresenta os mesmos valores para ambas as tabelas da faixa I: 60 kV e 95 kV, respectivamente.

3) **Frequência nominal (f):** A prática atual em todo o território brasileiro é o uso do valor de 60 Hz.

4) **Valor da corrente nominal de regime contínuo (I_r) e máxima elevação de temperatura:** Neste caso, a ABNT segue a recomendação internacional de adotar, para os valores da corrente nominal, os múltiplos da série R10, conforme descrito na IEC 60059 (IEC standard current ratings).

TABELA 2 – VALORES TÍPICOS PARA CORRENTE NOMINAL DE REGIME CONTÍNUO (I_r)

| MARCAS | VALORES TÍPICOS DA IEC |
|--------|------------------------|
| (1) | (2) |
| | A |
| (*) | 630 |
| | 800 |
| | 1.000 |
| (*) | 1.250 |
| | 1.600 |
| (*) | 2.000 |
| | 2.500 |
| (*) | 3.150 |
| | 4.000 |

Notas:

- Coluna 1: a marca (*) indica os valores mais usados nos conjuntos de manobra e controle de MT.
- Coluna 2: valores da corrente nominal de regime contínuo (I_r) conforme a subseção 4.4.1 da IEC 62271-200.

TABELA 3 – LIMITES DE ELEVÇÃO DE TEMPERATURA, CONFORME A TABELA 3 DA NORMA IEC 62271-1

| CONEXÃO DE BARRAS OU TERMINAÇÃO DE CABOS | ELEV. TEMP. °C | TEMP. TOTAL °C |
|--|----------------|----------------|
| Barras de cobre nu | 50 | 90 |
| Barras estanhadas | 65 | 105 |
| Barras prateadas | 75 | 115 |
| Barras níqueladas | 75 | 115 |
| Cabo a barra de cobre nu | 50 | 90 |
| Cabo a barra estanhada | 65 | 105 |
| Cabo a barra prateada | 65 | 105 |

A série R10 (constituída pelos valores: 1 / 1.25 / 1.6 / 2 / 2.5 / 3.15 / 4 / 5 / 6.3 / 8 e seus múltiplos) é parte de um sistema de números preferenciais, que foi proposto com a finalidade de se padronizar os valores utilizados em qualquer aplicação técnica, em conjunto com o sistema métrico. Este sistema foi adotado em 1952 pela ISO (International Organization for Standardization),

conforme a norma internacional ISO 3. Estes valores foram propostos, originalmente, em 1870 por Charles Renard (1847–1905), um engenheiro militar francês. E, em sua homenagem, adotou-se a letra R para designar cada uma das séries (R5, R10, R20, R40 e R80). Estes valores estão divididos em cinco conjuntos de números arredondados a partir das séries geométricas propostas: 10N/5, 10N/10, 10N/20, 10N/40 e 10N/80.

Um ponto interessante, ao compararmos os limites de temperatura propostos pela IEC em relação à Ansi, é o fato de a primeira permitir uma sobre-elevação de temperatura maior: 75 °C (IEC) em comparação a 65 °C (ANSI). Tal situação promove uma percepção confortável para os usuários finais que aplicam equipamentos de origem Ansi num contexto IEC. Este fato pode ser explicado a partir da seguinte equação, a qual relaciona as elevações de temperatura aos níveis de corrente.

$$\left(\frac{I_r}{I_e}\right)^2 = \left(\frac{\Delta\theta_r}{\Delta\theta_e}\right)$$

Os termos mostrados significam:

- I_r : Valor da corrente nominal.
- I_e : Valor da corrente de operação.
- $\Delta\theta_r$: Elevação de temperatura nominal.
- $\Delta\theta_e$: Elevação de temperatura em operação.

Como um exemplo para o ponto mencionado anteriormente, vamos verificar o que ocorre ao se aplicar 3.150 A em um equipamento Ansi de 3.000 A com conexões prateadas aparafusadas nos barramentos. Com base na relação (1), a seguinte relação se aplica:

$$\left(\frac{3000}{3150}\right)^2 = \left(\frac{65}{\Delta\theta_r}\right)$$

O resultado da relação anterior é, aproximadamente, 72 °C. Isso representa a elevação de temperatura para uma corrente de 3150 A em um equipamento Ansi para 3.000 A. Em outras palavras, o equipamento é capaz de atender ao requisito da IEC para uma elevação máxima de temperatura de 75 °C (ver Tabela 3) para uma conexão aparafusada de barras prateadas.

No caso de comparação de equipamentos de 1.200 A, segundo a Ansi, no nível de 1.250 A, a elevação de

temperatura é de, aproximadamente, 71 °C, se levarmos em conta as mesmas condições descritas no parágrafo anterior para uma estrutura de 3.000 A.

Outro comentário interessante quanto à elevação de temperatura e sua relação com o acabamento dado às superfícies de contato nos pontos de conexão é o fato de que, apesar de bem conhecido, o impacto da combinação de condições de calor e umidade com ambientes ricos em enxofre sobre certas atmosferas industriais.

Apesar de serem conhecidos os impactos negativos no tratamento de prata aplicada sobre superfícies de cobre (uso de prateação sobre base metálica) em ambientes industriais com atmosfera rica em enxofre associados à combinação de calor com umidade, não tem existido tal preocupação por parte dos profissionais responsáveis pela especificação e aplicação dos equipamentos na maioria das vezes. O conhecido processo de corrosão do cobre (Cu) e da prata (Ag), nas condições descritas anteriormente, comum em muitas áreas de refinarias, unidades petroquímicas, siderúrgicas, processamento de papel e celulose e de tratamento de água e esgoto, não tem sido considerado ou, mesmo, relatado como um crítico. Isso se deve, talvez, ao fato da enorme tendência de se usar unidades de ar-condicionado, sistemas de pressurização e filtros nas salas elétricas principais, associado ao fato de ser comum o critério de instalação dos equipamentos de manobra e controle o mais distante possível das áreas com maior concentração de gases de enxofre (sulfatos hidrogenados). Porém, cabe ressaltar que já houve solicitações no mercado brasileiro para o uso de níquel (Ni) como material de acabamento sobre superfícies de cobre (Cu) nas regiões de contato das conexões elétricas em áreas específicas de siderúrgicas e de unidades de processamento de papel e celulose.

5) Valor da corrente suportável nominal de curta-duração (I_k): Os valores adotados são, também, baseados em múltiplos da série R10. Eles expressam, em kA, o valor eficaz da componente simétrica da corrente suportável nominal de curta duração.

6) Valor de crista da corrente suportável nominal (I_p): O valor instantâneo de crista do primeiro semiciclo da corrente suportável nominal de um conjunto de manobra e controle de média tensão é obtido a partir

da aplicação de um multiplicador ao valor eficaz da componente simétrica da corrente de curto-circuito. Este multiplicador é definido a partir do valor da relação X/R (razão entre a reatância indutiva e a resistência) para o equivalente de Thevenin do sistema elétrico, visto a partir do ponto da falta. O multiplicador é igual ao produto da $\sqrt{2}$ por uma constante, a qual é calculada a partir do valor de X/R. Neste trabalho, esta constante está representada pela letra k.

TABELA 4 – VALORES TÍPICOS PARA CORRENTE SUPORTÁVEL NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO (I_k)

| MARCAS | VALORES TÍPICOS DA IEC |
|--------|------------------------|
| (1) | (2) |
| | kA |
| | 16 |
| | 20 |
| (*) | 25 |
| (*) | 31,5 |
| (*) | 40 |
| | 50 |

Notas:

- Coluna 1: a marca (*) indica os valores mais encontrados nos equipamentos de manobra de MT usados em conjuntos para subestações primárias.
- Coluna 2: valores típicos da corrente suportável nominal de curta-duração (I_k) conforme a subseção 4.5 da IEC 62271-200.

A IEC 60909 define as seguintes relações entre o valor de X/R, o valor eficaz da componente simétrica da corrente subtransitória de curto-circuito (I_k'') e o valor instantâneo de pico da crista do 1º semiciclo (i_p).

$$i_p = k \times \sqrt{2} \times I_k'' \quad \text{---} \quad k = 1,02 + 0,98e^{-3R/X}$$

A relação de X/R é igual ao produto da constante de tempo (t), em milissegundos, pela velocidade angular (v) do sistema, em rad/s (obtida pela frequência – f):

$$\frac{X}{R} = \frac{\tau}{1000} \times \omega \quad \text{---} \quad \omega = 2\pi f$$

A partir da relação entre a reatância indutiva (X) e a indutância (L), como se vê na fórmula a seguir; em que o valor de f representa a frequência do sistema, em hertz,

e L é a indutância, em henries, pode-se extrair o valor da constante de tempo, em milissegundos.

$$X = 2\pi f L \quad - \quad \tau = L/R \times 1000$$

Por exemplo, o valor de 2,5 representa o resultado do produto da $\sqrt{2}$ por um valor da constante k associada a relação $X/R = 14$. O valor 14 é aproximadamente igual ao produto da constante de tempo (t), igual a 45 ms (valor definido na seção 4.6 da norma IEC 62271-1) e a velocidade angular (ω) de um sistema para a frequência de 50 Hz, como se pode ver a seguir:

$$\frac{X}{R} = \frac{45}{1000} \times 2\pi \times 50 = 14,1372$$

$$i_p = \left(1,02 + 0,98e^{-\frac{3}{14}} \right) \times \sqrt{2} \times I_k'' = 2,5611 \times I_k''$$

No caso de 60 Hz, teríamos uma velocidade angular (ω) com o valor de aproximadamente 377. Isso nos dá uma relação $X/R = 17$, para uma constante de tempo (τ), igual a 45 ms. Este valor nos proporciona uma constante de 2,6, como se pode ver a seguir:

$$\frac{X}{R} = \frac{45}{1000} \times 2\pi \times 60 = 0,045 \times 377 = 16,9646$$

$$i_p = \left(1,02 + 0,98e^{-\frac{3}{17}} \right) \times \sqrt{2} \times I_k'' = 2,6042 \times I_k''$$

Na cultura Ansi (ver documento IEEE Std C37.010/1999: IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers on a Symmetrical Current Basis), são definidas as seguintes relações entre o valor de X/R , o valor eficaz da componente simétrica da corrente subtransitória de curto-circuito (I_{sym}) e o valor instantâneo de pico da crista do 1º semiciclo (i_{CL}) do curto-circuito:

$$i_{CL} = F_{CL} \times \sqrt{2} \times I_{sym} \quad - - \quad F_{CL} = 1 + e^{-\pi/(X/R)}$$

$$i_{CL} = \left(1 + e^{-\frac{\pi}{17}} \right) \times \sqrt{2} \times I_{sym} = 2,5898 \times I_{sym}$$

Neste contexto, é interessante notar que a norma para disjuntores de alta-tensão IEC 62271-100 / 2008-04 (High-voltage switchgear and controlgear – Part 100:

Alternating-current circuit-breakers) define os seguintes valores a serem usados para obter o pico do primeiro semiciclo de corrente de curto-circuito:

- 2,5 para sistemas com $f_r = 50$ Hz e constante de tempo (L/R) igual a 45 ms;
- 2,6 para sistemas com $f_r = 60$ Hz e constante de tempo (L/R) igual a 45 ms; e
- 2,7 para ambas as frequências e constante de tempo igual a 120 ms (caso especial).

7) Duração de curto-circuito nominal (t_k): A ABNT, a IEC e a Ansi adotam, para a duração nominal da corrente suportável, um dos seguintes valores: 1, 2 ou 3 segundos. Apesar de ser usual o valor de 1 segundo para as aplicações mais comuns, tem-se visto, neste quesito, indústrias que, por questões de segurança operacional e confiabilidade, vem mostrando preferência pelo valor de 3 segundos.

Características especiais de aplicação

Como já comentado anteriormente, a aplicação de um conjunto de manobra e controle de média tensão vai além da simples acomodação dos valores nominais do equipamento aos que são requeridos pelo sistema. Existe a necessidade concreta de identificar as várias variáveis presentes na instalação, sejam elas de origem elétrica ou ambiental.

A operação adequada e segura de qualquer sistema ou equipamento elétrico depende de um compromisso entre fornecedor e cliente. O fabricante deve garantir que o produto irá atender o estabelecido nas normas técnicas aplicáveis, mas é fundamental que o usuário mantenha o local da instalação conforme os requisitos da aplicação e operação.

Um exemplo importante e que é muito recorrente na aplicação de cubículos é o descuido com o valor de crista do primeiro semiciclo da corrente de curto-circuito nominal. Este valor, determinado pela relação X/R vista entre a barra do painel e a(s) fonte(s) do sistema elétrico, implica não somente no comportamento dinâmico nas barras do conjunto de manobra e controle de média tensão, proveniente dos esforços mecânicos produzidos pela corrente de curto-circuito no 1º semiciclo da fase mais assimétrica (i_p – valor instantâneo de crista), que irá interagir com as outras duas fases, como também está

associada à aplicação correta dos elementos de proteção (transformadores de corrente e relés) e de manobra (disjuntores, contatores e fusíveis limitadores).

1) Esforços dinâmicos oriundos das correntes de curto-circuito:

Em termos mecânicos, para um curto-circuito trifásico franco (impedância zero no ponto de falha) basta uma simples análise da fórmula (2) da norma IEC 60865-1 / 1993 (Short-circuit currents – Calculation of effects. Part 1: Definitions and calculation methods), reproduzida a seguir, para se notar que o aumento do valor instantâneo de pico da corrente de semiciclo implica uma variação quadrática na força resultante: 10% a mais de corrente significam 21% a mais de força sobre as barras.

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times i_{p3}^2 \times \frac{l}{a_m}$$

- F_{m3} : força no condutor principal (fase) central devido a um curto-circuito trifásico;
- μ_0 : constante magnética, permeabilidade do vácuo;
- i_{p3} : valor instantâneo de crista do primeiro semiciclo da fase com maior assimetria em um curto-circuito trifásico;
- l : distância entre centro de linha dos suportes;
- a_m : distância efetiva entre condutores principais adjacentes.

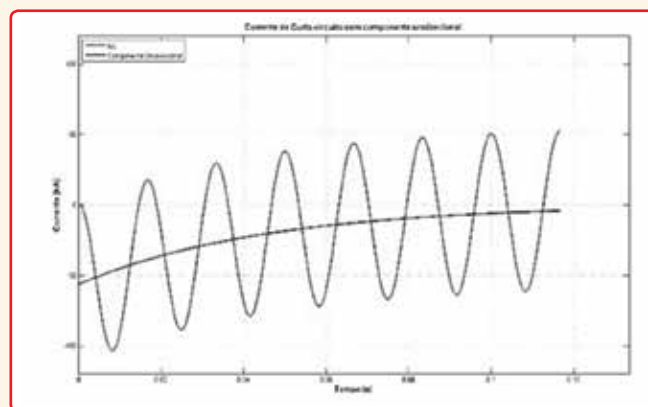


Figura 1 – Simulação gráfica da corrente de um curto-circuito monofásico.

Em que:

- Valor eficaz, em kA, da corrente = 40;
- Valor, em Hz, da frequência = 60;
- Relação X sobre R visto do ponto de defeito = 17;
- Ciclos de falta = 7;
- O valor do ângulo da impedância é de 86,63 graus;
- O fator de potência do curto-circuito é 0,06;
- A constante de tempo do circuito é 45,09 ms;
- Fase com a máxima assimetria;

- O fator de assimetria do 1º semiciclo da fase, conforme a Ansi, é 1,8313;
- O valor do multiplicador para crista do 1o semiciclo da fase ($= \text{SQRT}(2)*k$), conforme a Ansi, é de 2,5898;
- O valor de crista do 1º semiciclo da fase, conforme a Ansi, é de 103,59 kA;
- O valor do angulo de fechamento da fase é de 176,63 graus.

2) Uso de disjuntores em circuito com geradores:

Um problema crítico é a aplicação correta de disjuntores de distribuição em circuitos com geração, já que este tipo de equipamento é definido e ensaiado com a constante de tempo padronizada em 45 ms.

Na aplicação de disjuntores em circuitos e barras com geradores, deve-se atentar para possíveis condições especiais, que podem estar presentes:

- Valores altos para a relação X/R (constantes de tempo maiores do que 45 ms);
- Valores altos (acima do padronizado) da TRT (Tensão de Restabelecimento Transitória, denominada, em inglês, como TRV) e da TCTRT (Taxa de Crescimento da Tensão de Restabelecimento Transitória, denominada, em inglês, como RRRV);
- Valores altos da corrente de regime contínuo;
- Valores altos para a corrente de curto-circuito alimentada pelo sistema;
- Manobra em oposição de fase (sistemas fora de sincronismo); e
- Possibilidade de atraso no zero de corrente (ausência de zeros nos primeiros ciclos da forma de onda da corrente a ser interrompida).

Estas condições têm sido observadas em unidades dedicadas a autogeração ou a cogeração. Por exemplo, nas unidades de extração e produção marítimas de petróleo, em que as distâncias envolvidas e a necessidade de deslocamento das mesmas obrigam a independência de suprimento de energia elétrica, tem-se observado uma tendência de se usar de 3 a 4 turbo-geradores, em 13,8 kV, com potência variando de 25 MVA a 35 MVA. Estes fatos têm levado à necessidade de se adotar disjuntores específicos para aplicação em geradores, conforme diretrizes da ementa 1 da norma Ansi/IEEE Std C37.013a, de 2007 (IEEE Standard for AC

High Voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis – Amendment 1: Supplement for Use with Generators rated 10-100 MVA).

Uma alternativa usada em alguns casos especiais para adequar a capacidade nominal de interrupção de um disjuntor a uma constante de tempo maior é retardar sua abertura, permitindo que a onda de corrente reduza a sua assimetria e, então, se enquadre na capacidade do elemento interruptor. Se forem tomados os cuidados devidos para a solitação dinâmica e térmica, além da estabilidade dinâmica do sistema, aparentemente, não se vê muito problema. Mas se for levado em conta a possibilidade de acidentes internos por arco no conjunto de manobra, onde está instalado o disjuntor, este mesmo retardo irá implicar níveis mais altos de energia e, caso o evento ocorra com porta ou tampa aberta, implicará uma maior exposição humana aos riscos inerentes dessa situação.

3) Aplicação de Transformadores de Corrente (TCs) e relés de proteção:

Tanto a ABNT quanto a IEC, em suas normas para conjuntos de manobra e controle de MT, não determinam nenhuma característica mínima para o uso de transformadores de corrente ou de relés de proteção. Porém, a análise de engenharia de proteção e do grupo de estudos de curto-circuito e de seletividade da proteção precisam ser levadas em consideração.

A saturação de um TC não se deve somente ao alto valor eficaz da componente simétrica da corrente de curto-circuito. Existem outros fatores, como nível de remanência no núcleo do transformador, a carga imposta no circuito secundário do mesmo e, principalmente, a uma grande assimetria (componente contínua – relação X/R do circuito primário do TC).

Na Figura 2, é possível estabelecer uma comparação visual das formas de onda e dos valores eficazes das correntes secundárias de transformador de corrente (TC) de relação 2.000-5 A, classe de exatidão de proteção 10B400 (ABNT) ou C400 (Ansi), quando submetido a uma corrente simétrica (primeira visualização) e de assimetria total (segunda visualização), para os valores primários relativos a um curto-circuito de 35 kA eficazes e X/R= 48 (constante de tempo de 126 ms). Este TC está conectado a uma carga secundária, ZSEC = (0,04 + j0,001) ohms (cerca de 5 metros de cabo

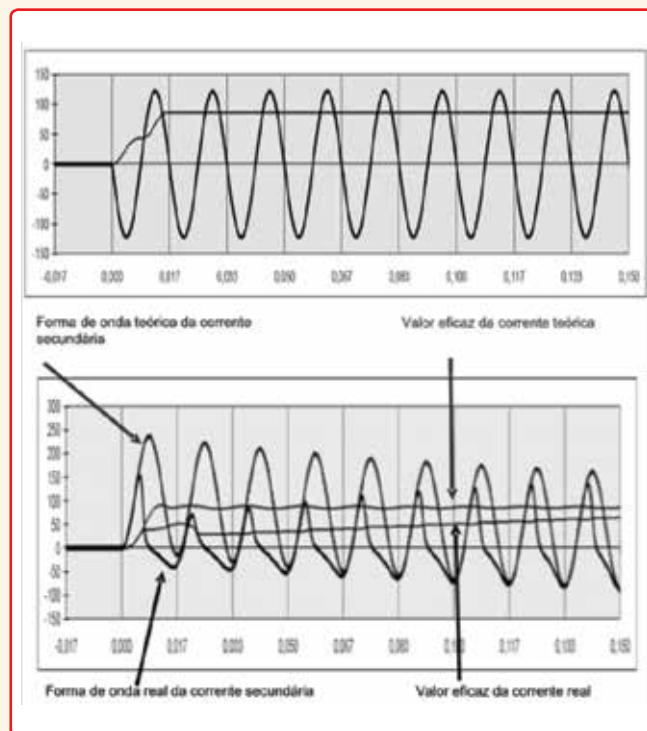


Figura 2 – Comparação das formas de onda e dos valores eficazes das correntes secundárias de um TC.

secundário de conexão e um relé de proteção do tipo microprocessado). Para este caso, foi suposto 75% de remanência presente no núcleo do transformador de corrente.

A forma de onda não distorcida e com maior assimetria no primeiro semiciclo, vista na imagem inferior da figura, demonstra a condição teórica para um TC ideal (livre de qualquer saturação). Já a outra onda, distorcida e com assimetria menor no primeiro semiciclo mostra a real condição com a saturação do TC.

Um TC saturado pode levar a proteção a não atuar no tempo correto e implicar não somente em transtorno na coordenação e continuidade/confiabilidade do sistema elétrico, como pode também aumentar a exposição de um trabalhador a energia liberada por um arco elétrico.

Pode-se observar na segunda imagem da Figura 2 que a forma de onda no secundário do TC em 6 ms já mostra sinais do início de saturação, que se estende por mais de 100 ms. Pode ser que o tempo até o início da saturação não seja suficiente para atuar o elemento instantâneo da unidade de proteção de sobrecorrente; principalmente no caso de relés microprocessados, em que os filtros das entradas de corrente retiram todas as harmônicas do sinal, deixando apenas a fundamental,

com um valor insuficiente para a partida da respectiva unidade do elemento de proteção.

Uma forma de se contornar este problema é o uso de relés microprocessados, já disponibilizados no mercado por alguns fabricantes, que possuem algoritmos que permitem lidar com as condições transitórias de sinais de corrente distorcidos pela forte saturação no núcleo do TC. Outra abordagem é calcular o que o IEEE define como tempo até saturação e verificar se este valor é suficiente para permitir a atuação da proteção.

Em outros casos, pode ser necessária a aplicação de transformadores de corrente de proteção com relações de transformação e classes de exatidão (burdens) maiores. Mesmo que esta solução seja adequada para o uso e ajustes dos relés de proteção acoplados, o agravante nesta solução é o volume a ser ocupado por este componente. É importante lembrar que um conjunto de manobra e controle de MT é ensaiado para suportar uma série de aplicações de impulsos atmosféricos em uma determinada configuração física. A inclusão de outros componentes deve ser cuidadosamente avaliada quanto às novas distâncias dielétricas, de forma a se garantir que os gradientes presentes no interior do painel estejam de acordo com a classe de isolamento do equipamento.

Neste contexto, o uso de relés microprocessados leva, na maioria dos casos, a situações que permitem aplicar o tipo de TC testado originalmente pelo fabricante do painel, sem precisar provocar impactos dimensionais ou que possam invalidar ensaios efetuados nos protótipos. Isso se torna mais provável nos casos de uso de relés numéricos que possuam filtros capazes de se adaptar à condição de saturação pesada da corrente medida.



Figura 3 – Diagrama unifilar simplificado, mostrando parte dos turbogeradores de uma unidade petroquímica.

4) Alteração espacial do arranjo interno de partes do Conjunto de Manobra:

Um CMC de MT é ensaiado para suportar uma série de impulsos atmosféricos com uma determinada configuração. A inclusão de outros componentes deve ser cuidadosamente avaliada quanto às novas distâncias dielétricas, de forma a se garantir que os gradientes elétricos presentes no interior do painel estejam de acordo com a classe de isolamento do equipamento. Apesar de muitas vezes o simples uso das distâncias e práticas de engenharia do fabricante bastar para demonstrar a correta adequação do novo arranjo, existem situações que se fazem necessárias à realização de novos ensaios de verificação do NBI do conjunto. O crítico é que a maioria dos usuários desconhece, por exemplo, a prática comum nos Estados Unidos de se aceitar a validação da UL para as práticas de engenharia usadas pelo fabricante. Associado a este último fato, existe o detalhe de nem sempre os arranjos serem de fácil avaliação, mesmo com o uso de programas computacionais para representação gráfica das linhas de campo elétricas e gradientes presentes.

Na Figura 5, são mostrados os oscilogramas de 15 aplicações positivas e 15 negativas de tensão de NBI (Nível Básico de Isolamento ao Impulso Atmosférico), com forma de onda de 1,2/50 microsegundos para um valor de ensaio de 95 kV de pico. O NBI é equivalente ao BIL (Basic Impulse Level das normas Ansi). O arranjo físico referente à verificação da suportabilidade ao impulso atmosférico da fase B de um CMCP de MT, adaptado para ser acoplado a um duto de barras com transformadores de corrente para proteção diferencial da unidade geradora (grupo gerador mais transformador), é mostrado na Figura 6.

Apesar de ter sido demonstrado a adequação do novo arranjo com base nas práticas de engenharia do fabricante para um equipamento de classe de tensão de 17,5 kV (NBI igual a 95 kV de crista), o usuário final solicitou a realização de ensaio em laboratório independente. Mas, o equipamento suportou as aplicações sem a ocorrência de nenhuma descarga disruptiva (flashover) na parte autorregenerativa do isolamento, apesar das normas IEC aceitarem a ocorrência de até duas.



Figura 4 – Vista parcial do CMCP-MT correspondente ao um diagrama unifilar (mostrado na figura anterior).

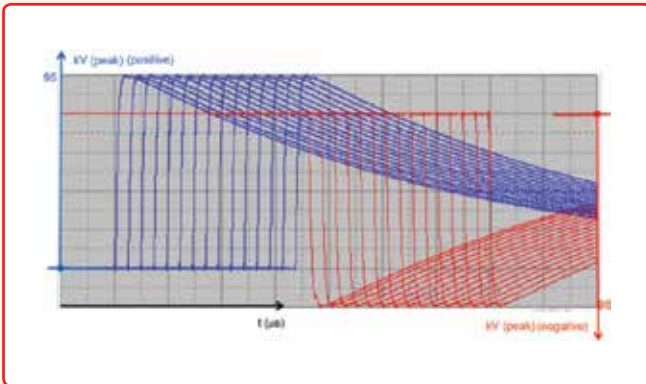


Figura 5 – Oscilogramas de tensão para verificação de suportabilidade ao impulso atmosférico.

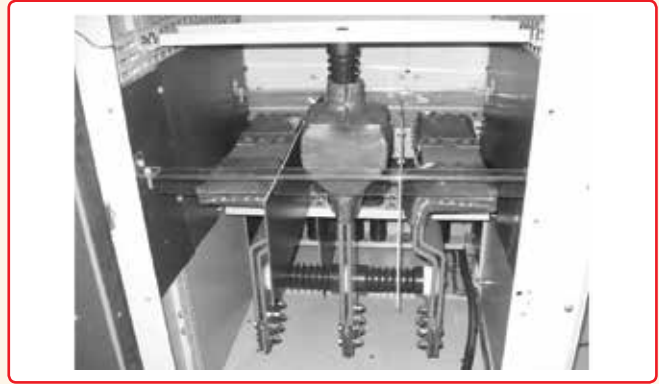


Figura 6 – Arranjo físico interno do CMCP de MT ensaiado quanto ao seu NBI de 95 kV de crista (conforme oscilogramas da Figura 19).

Estes são apenas alguns exemplos dos diversos cuidados que se fazem necessários quando da aplicação de um conjunto de manobra e controle, principalmente quando temos a segurança humana e patrimonial como foco.

**LUIZ FELIPE COSTA é especialista sênior da Eaton. É formado em engenharia elétrica pela Escola de Engenharia da UFRJ e pós-graduado em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá.*

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