

Capítulo VI

Painéis resistentes a arco elétrico

Por Alan Rômulo, Eduardo Senger e Cícero Moraes*

Nos artigos anteriores, foram abordados os métodos para cálculo de energia incidente e os meios de proteção dos trabalhadores através da utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs).

Nos próximos artigos, serão apresentadas maneiras de mitigar os riscos de arco elétrico aplicando-se medidas de engenharia, como painéis resistentes a arco e dispositivos para sua detecção e eliminação. Este artigo inicia esta etapa e trata das especificações técnicas básicas sobre painéis resistentes a arco.

Painéis resistentes a arco interno

Falhas internas em painéis elétricos podem gerar arcos elétricos capazes de destruir completamente a estrutura do painel e seus componentes. Devido à forte expansão do ar no seu interior, as partes móveis do painel, como as portas, podem ser arremessadas, tendo a possibilidade de atingir pessoas próximas ao local da ocorrência.

Essas falhas podem ocorrer devido a uma série de fatores difíceis de serem previstos e controlados. Dentre esses fatores, destacam-se:

- Falha da isolamento ou dos contatos devido ao envelhecimento;
- Falha de transformadores de instrumentação (TP e TC);
- Sobretensões no sistema devido à manobra em disjuntores;
- Sobretensões ocasionadas por descargas atmosféricas;
- Poluição no ambiente de instalação do painel;

- Operação equivocada;
- Manutenção precária.

O processo do arco interno impõe dois esforços significativos para o painel elétrico: o esforço mecânico e o esforço térmico.

No esforço mecânico, o aumento da pressão interna afeta a estrutura do painel. Os elementos de fixação do painel, tais como parafusos, porcas e dobradiças tendem a se desprenderem devido a esta pressão gerada internamente pelo arco. Para mitigar esse problema, são escolhidos materiais especiais capazes de suportar essa solicitação mecânica sem sofrer danos ou deformações impróprios. A onda de pressão inicial tem duração aproximada de 10 ms e trafega a cerca de 330 m/s.

A equação 1 pode ser aplicada para determinar a amplitude da onda de pressão em um painel metálico fechado.

$$A = \frac{1,5(I t)}{d} \quad (1)$$

Em que:

A = Amplitude da onda de pressão em kN/m²
 d = distância do painel para o arco em metros
 I = corrente do arco em Ampéres
 t = tempo de duração do arco em segundos

Já o esforço térmico implica o derretimento e a vaporização dos materiais presentes no painel

elétrico, principalmente, próximo ao ponto de origem do arco interno. O principal material que sofre esse stress térmico é o cobre, que pode sofrer uma expansão de 67.000 vezes em relação ao volume original. Além disso, a estrutura do painel, incluindo suas divisórias, pode ser igualmente derretida e vaporizada. Caso isso ocorra, os gases quentes gerados no arco elétrico podem ser direcionados para fora do painel, tendo o risco de atingir pessoas próximas ao local da ocorrência. As peças plásticas e isolantes utilizadas no painel elétrico também sofrem esse aquecimento e podem, eventualmente, serem vaporizadas. Os materiais isolantes do painel devem ser concebidos de forma a não continuar queimando após a extinção do arco. Também não devem liberar elementos tóxicos ou corrosivos capazes de aumentar os danos indiretos do arco interno.

Uma das maneiras de minimizar a possibilidade de ocorrência de um arco interno em um painel elétrico é aplicar um controle de qualidade e testes de fábrica rígidos. A escolha de materiais isolantes de boa qualidade e adequados ao nível de tensão, o uso de intertravamentos elétricos e mecânicos, a facilidade para manobrar e operar o painel, entre outros fatores, é fundamental para garantir a segurança e a continuidade operacional de um painel elétrico. Além disso, a utilização de detectores de arco elétrico no interior desses painéis contribui para reduzir a energia gerada e, dessa forma, minimizar os danos materiais e aumentar o nível de segurança da instalação.

Entretanto, mesmo com a aplicação de todas essas técnicas, o risco de uma falha interna ainda permanece. Por essa razão, torna-se necessária a utilização de painéis capazes de suportar um arco interno de maneira segura, minimizando o dano no próprio painel e em instalações adjacentes.

Esses painéis, conhecidos como painéis resistentes a arco, possuem características construtivas especiais para suportar o fenômeno físico do arco elétrico. Esse fenômeno pode ser dividido em quatro fases: compressão, expansão, emissão e fase térmica.

A primeira fase é a compressão, que é iniciada com a abertura do arco. O ar confinado no interior do painel será aquecido de acordo com a energia liberada pelo arco, aumentando a pressão interna no painel elétrico. Nesta fase, a pressão aumenta rapidamente e só termina após atingir a pressão máxima no interior do compartimento correspondente. Essa pressão é diretamente proporcional à corrente de falta e ao comprimento do arco e inversamente proporcional ao volume do painel. A duração da fase de compressão depende da energia do arco e do volume interno do painel, além de outros fatores como a posição em que ocorre a ignição e as aberturas para circulação de ar.

A segunda fase é a expansão, que ocorre quando a pressão atinge seu pico. Nesta fase, o ar que se encontra comprimido é direcionado para o exterior do painel, por meio de aberturas

para circulação de ar projetadas para essa finalidade. Com isso, a pressão no interior do painel diminui, mas a temperatura continua a aumentar. Esta fase só termina quando a pressão interna no painel é reduzida a uma pressão próxima daquela existente no início do arco.

A terceira fase é a emissão, em que o arco ainda está ocorrendo e, por consequência, continua aquecendo o ar remanescente no interior do painel. Este ar continua sendo direcionado para o lado externo do painel, porém com uma pressão menor. Esta fase só termina quando o ar atingir a temperatura do arco. Nessa etapa quase todo o ar é expulso do painel elétrico.

A última fase é a térmica, que ocorre até o fim da duração do arco. A temperatura torna-se constante no interior do painel. Neste estágio, a energia do arco é aplicada diretamente sobre as partes fixas dentro do painel. Isso implica o derretimento e a vaporização das conexões de cobre, alimentadores, dispositivos de manobra, partes metálicas da estrutura, peças plásticas e materiais isolantes. Este processo depende da duração e da corrente do arco, em conjunto com as características térmicas dos materiais usados e da distância dos componentes em relação ao ponto de origem do arco. A fase térmica dura até a abertura do disjuntor, interrompendo a corrente de falta.

A Figura 1 ilustra graficamente o que ocorre com a pressão (P), a temperatura (T), a massa de ar no interior do painel (M) e o volume de ar e gases descarregados para o exterior do painel (V) durante a ocorrência de um arco interno.

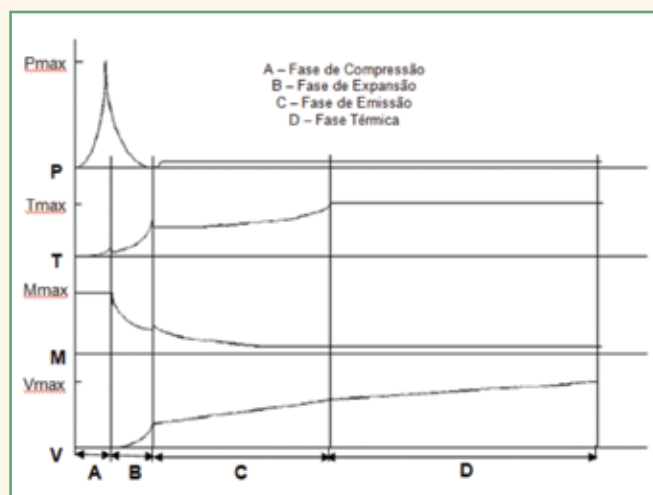


Figura 1 – Característica da pressão, temperatura, massa de ar, volume de ar e gases durante um arco interno.

Para suportar o fenômeno físico do arco interno, os painéis resistentes a arco interno possuem características construtivas específicas. O projeto de um painel resistente a arco elétrico deve ser executado de forma a confinar os efeitos do arco elétrico no local da ocorrência, sem comprometer as instalações restantes não relacionadas com o arco. Contudo, conforme definido na

IEC TR 61641, essa proteção só é garantida quando as portas e coberturas do painel estão devidamente instaladas e fechadas.

As portas e tampas são projetadas de forma a não se desprenderem do painel por conta do aumento significativo da pressão interna. Essa pressão é direcionada para o exterior do painel por intermédio de aletas e dutos de ar. A Figura 2 ilustra o sistema de ventilação e a distribuição dos compartimentos internos de um painel comercial resistente a arco interno. O fluxo de ar em cada compartimento é independente.

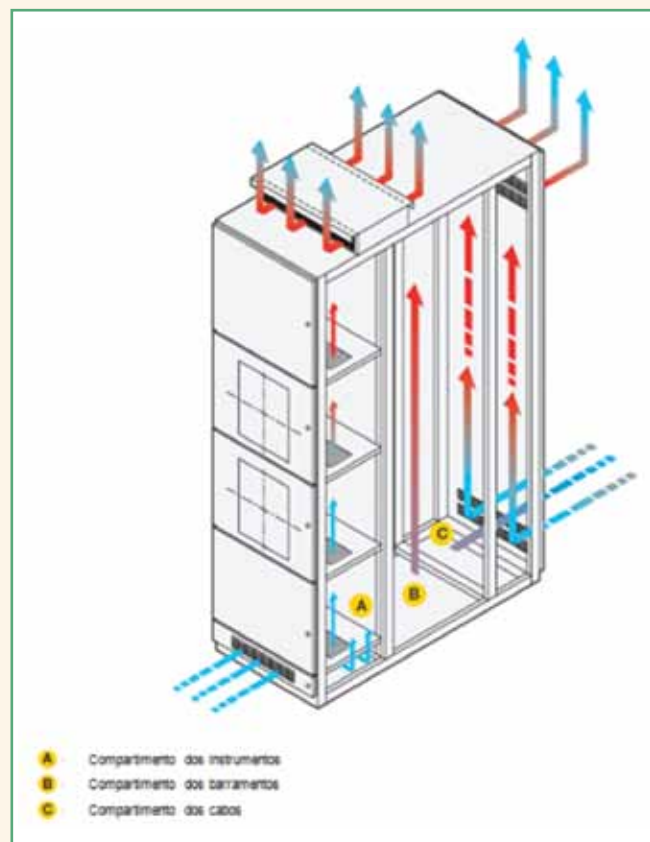


Figura 2 – Exemplo do sistema de ventilação e distribuição dos compartimentos de um painel resistente a arco interno.

Como os painéis são compartimentados, ou seja, os barramentos são segregados do compartimento do disjuntor e também do compartimento de proteção e controle, essas aletas devem ser projetadas de forma a não contaminar o ambiente vizinho. Isso significa que um arco interno ocorrido, por exemplo, no compartimento do disjuntor, não deve se propagar para o compartimento dos barramentos.

A Figura 3 ilustra a distribuição dos compartimentos internos de outro painel comercial resistente a arco interno, de um fabricante diferente da figura anterior, dividido da seguinte maneira:

- Compartimento de instrumentação e comando (1);
- Compartimento do disjuntor (2);
- Compartimento de acesso frontal dos cabos (3);
- Compartimento dos cabos de entrada e TCs (4);
- Compartimento dos barramentos de saída (5).

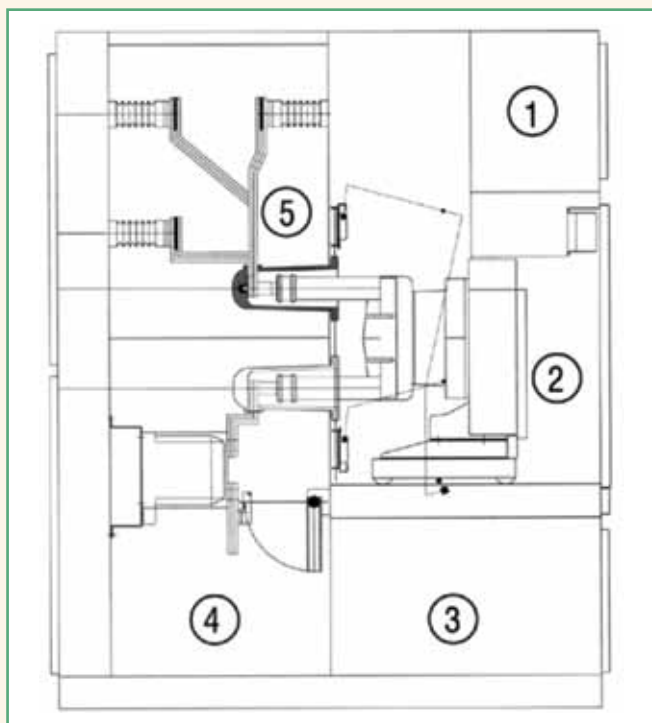


Figura 3 – Exemplo de distribuição dos compartimentos de um painel resistente a arco interno.

Além disso, outros cuidados adicionais devem ser tomados no projeto de painéis resistentes a arcos internos. As janelas de inspeção, por exemplo, devem ser projetadas de modo que a elevada pressão interna no painel, na ocorrência de uma falta, não seja transmitida para superfície da mesma, evitando que ela venha a sofrer danos que comprometam a integridade da instalação. Outro ponto que deve ser observado é com relação ao espaçamento entre cubículos adjacentes. Deve ser previsto um espaço livre de aproximadamente 5 mm entre as paredes laterais de dois cubículos vizinhos. Essa distância tem o objetivo de proporcionar uma segurança extra, pois o arco gerado em um cubículo não será transmitido para outras partes do painel. A utilização desse critério, além de contribuir para segurança, impede que os cubículos íntegros sofram danos, o que agiliza a manutenção e o retorno operacional do painel elétrico.

Para que o painel possa ser considerado resistente a arco interno, é necessário que ele seja submetido a testes conforme o disposto em algumas normas e guias técnicos. As normas e guias internacionais que descrevem as etapas de teste são a IEC TR 61641 e a IEC 60298.

O guia técnico IEC TR 61641 é aplicável a painéis de baixa tensão construídos conforme a norma IEC 60439-1. O Brasil, inclusive, possui normalização equivalente à IEC 60439-1, que fica sob a gestão do Comitê Brasileiro de Eletricidade (CB-03) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A norma equivalente é a ABNT NBR IEC 60439-1, cujo objetivo é estabelecer as definições, indicar as condições de serviço, os requisitos de construção, as características técnicas e os ensaios para conjuntos de manobra e controle de baixa tensão. Esta norma é composta por mais duas partes: a ABNT NBR IEC

60439-2, que trata dos requisitos particulares para linhas elétricas pré-fabricadas, e a ABNT NBR IEC 60439-3, que aborda os requisitos particulares para montagem de acessórios de baixa tensão destinados a instalação em locais acessíveis a pessoas não qualificadas durante sua utilização (quadros de distribuição).

A finalidade da IEC TR 61641 é definir a metodologia a ser aplicada para testar os painéis de baixa tensão com possibilidade de formação de arco elétrico devido a uma falha interna. Os testes visam avaliar a eficácia do painel em limitar os riscos de ferimentos às pessoas e os danos no próprio painel na ocorrência de um arco interno. A aplicação dos testes definidos nessa norma é voluntária e eles podem ser realizados por interesse do próprio fabricante do painel ou por meio de um acordo entre o fabricante e o usuário final. Já a norma IEC 60298 é aplicável aos painéis de média tensão e também prescreve o tipo de ensaio de arco elétrico provocado por falhas internas.

Adicionalmente, os painéis elétricos podem incorporar outros recursos de segurança para limitar as consequências de um arco elétrico. Por exemplo, o painel pode dispor de mecanismo que permita a inserção ou extração de partes extraíveis, como disjuntores e contadores, somente quando sua porta estiver fechada. Essa e outras medidas de segurança estão dispostas na ABNT NBR IEC 62271-200.

Conclusão

Este artigo abordou, inicialmente, os efeitos dos arcos elétricos ocorridos internamente em painéis, apresentando os efeitos físicos decorrentes e os danos que podem ser causados às instalações elétricas e às pessoas.

Posteriormente, foram apresentadas as principais normas para definição da metodologia a ser aplicada para testar os painéis com possibilidade de formação de arco elétrico devido a uma falha interna.

A opção pelo uso de painéis resistentes a arco elétrico garante um nível adequado de segurança para a instalação e devem ser, preferencialmente, previstos em projeto sempre que o risco de arco elétrico for significativo. Para aquisição desses painéis, é fundamental explicitar na especificação técnica a necessidade de atendimento as normas que definem os tipos de ensaios para arcos elétricos provocados por falhas internas.

Referências

- ABB. Catálogo. Disponível em: <[http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5629ced95ec888fdc125761f004fef8c/\\$file/Vol.6.pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5629ced95ec888fdc125761f004fef8c/$file/Vol.6.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2012.
- DEATON, R.; GOSTIC, J. M. Installation and operational considerations of arc resistant switchgear. IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference, 1996.
- DEB, N. et al. Design of a new generation of internal arc resistant switchgear. In: IEEE IAS/PCA Cement Industry Technical Conference, 2004.
- DROUET, M. G.; NADEAU, F. Pressure waves due to arcing faults in a substation. In: IEEE Transactions on Power Apparatus and System". V. PAS-98, 1979.
- FINKE, S.; KOENIG, D.; KALTENBORN, U. Effects of fault arcs on insulating

walls in electrical switchgear. In: *Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, 2000.

- FINKE, S.; KOENIG, D. Recent investigations on high current internal arcs in low voltage switchgear. In: *Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, 2002.
- IEC TR 61641. *Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies – guide for testing under conditions of arcing due to internal fault*, 2008.
- IEC 60298. *A. C. metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1kV and up to and including 52 kV*, 1990.
- IEC 60439-1. *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies*, 1999.
- KALKSTEIN, E. W. et al. *The safety benefits of arc resistant metalclad medium voltage switchgear*. In: *Record of the Petroleum and Chemical Industry Conference*, 1994.
- KALTENBOM, U. *The thermal effects of fault arcs on plastics in electrical switchgear*. Darmstadt University of Technology, 1998.
- NBR IEC 60439-1. *Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão. Parte 1: Conjuntos com ensaio de tipo totalmente testados (TTA) e conjuntos com ensaio de tipo parcialmente testados (PTTA)*. Rio de Janeiro, 2003.
- NBR IEC 60439-2. *Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão. Parte 2: Requisitos particulares para linhas elétricas pré-fabricadas (sistemas de barramentos blindados)*. Rio de Janeiro, 2004.
- NBR IEC 60439-3. *Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão. Parte 3: Requisitos particulares para montagem de acessórios de baixa tensão destinados à instalação em locais acessíveis a pessoas não qualificadas durante sua utilização – Quadros de distribuição*. Rio de Janeiro, 2004.

- NBR IEC 62271-200. *Conjunto de manobra e controle de alta-tensão Parte 200: Conjunto de manobra e controle de alta-tensão em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até e inclusive 52 Kv*. Rio de Janeiro, 2007.
- QUEIROZ, A. R. S. *Utilização de relés digitais para mitigação dos riscos envolvendo arco elétrico*. Dissertação (Mestrado em Ciências – Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, 2011.
- WEG. *Catálogo*. Disponível em: <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-quadros-eletricos-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2012.
- WILSON, W. R. *High current arc erosion of electric contact materials*. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers – Part III: Power Apparatus and Systems*, v. 74, 1955.

***ALAN RÔMULO SILVA QUEIROZ é engenheiro eletricista graduado pela Universidade Santa Cecília (Santos, SP), mestre em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e membro do IEEE-IAS.**
***EDUARDO CÉSAR SENGER é engenheiro eletricista e doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É professor livre-docente na área de Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade de São Paulo e coordenador do Laboratório de Pesquisa em Proteção de Sistemas Elétricos – Lprot.**
CÍCERO COUTO DE MORAES é engenheiro eletricista e doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente é diretor técnico/diretor industrial da Indústria e Com. Lavill Ltda. e professor doutor da Universidade de São Paulo.

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