Apoio
MEGABRAS
CLAMPER
40 ANOS afap

Capítulo V

Segurança humana e patrimonial diante de descargas de energia por arco elétrico em conjuntos de manobra e controle de potência

*Luiz Felipe Costa e Rogério Barros**

Ações que garantam uma maior segurança para o empregado no seu ambiente de trabalho têm se popularizado nos últimos dez anos. Na área de eletricidade, esse processo tem acontecido, sobretudo, após a publicação da segunda versão da Norma Regulamentadora nº 10, em 2004, a NR 10, que dispõe sobre medidas de controle e sistemas preventivos a serem implantados para garantir a segurança e a saúde do trabalhador em instalações e serviços de eletricidade.

Considerando a relevância do tema, desde 2003, é organizado no País o Seminário Internacional da Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho (Electrical Safety Workshop), o ESW Brasil, em que são apresentados trabalhos desenvolvidos sobre o assunto por profissionais e pesquisadores da área. Os artigos que compõe esses fascículos de "Segurança do trabalho em eletricidade" foram selecionados dentre os trabalhos apresentados no último ESW, realizado entre os dias 22 e 24 de setembro de 2009 em Blumenau (SC).

Com a crescente conscientização, nos diversos segmentos industriais, dos riscos associados aos trabalhos em eletricidade, existe também a crescente preocupação com o uso de conjuntos de manobra e controle, tanto em baixa quanto média tensão. A realidade atual é que a especificação e a operação dos conjuntos de manobra e controle de potência (CMCP), tais como Centros de Controle de Motores (CCM) e Centros de Distribuição de Cargas (CDC), no que se refere às suas características e aplicações, ainda representam uma zona nebulosa para a maioria dos usuários. Muitos profissionais ainda empregam como critérios únicos de projeto os níveis de tensões e correntes elétricas operacionais da aplicação.

A cada dia, os profissionais da área elétrica estão se deparando com novos desafios, provenientes dos altos valores de energia incidente, liberada em descargas por arcos elétricos, que estão associadas a atividades que eram, antes, consideradas de rotina. E, dentro deste contexto, um Conjunto de Manobra e Controle de Potência (CMCP) pode muitas vezes estar posicionado em um ponto do sistema elétrico com altos níveis de energia.

Muitos setores já reconhecem a real importância da identificação e da prevenção dos riscos associados à ocorrência de arcos elétricos. Por conta disso, percebe-se a necessidade de se quantificar os níveis existentes de energia incidente no ponto da instalação e de se estabelecer os programas de segurança que, entre outros pontos, envolve o uso de etiquetas informativas dos valores de energia presente, distâncias de segurança e as categorias de risco, conforme listado na NFPA 70E (da National Fire Protection Association, a associação responsável pelas normas de regulamentação em segurança de construções, instalações elétricas e prevenção de incêndios nos Estados Unidos), que deve considerar os requisitos específicos para os equipamentos de proteção individuais (EPI) e coletivos (EPC) para a realização de trabalho de intervenção.

No entanto, muitas vezes os valores encontrados se mostram incompatíveis com condições seguras de trabalho. Em outras palavras, a abordagem do problema não se encerra simplesmente com o fim do cálculo da energia incidente e a consequente categoria de risco em que se enquadram os requisitos de um EPI ou EPC. O conhecimento do estado da arte de projeto e de uso de conjuntos de manobras e controle de potência permite diminuir as chances de ocorrência de arcos internos e mitigar os seus possíveis efeitos, aumentando as probabilidades de salvaguardar a vida humana.

Apoio

Têm-se, atualmente, opções disponíveis para a melhoria das condições de segurança com a redução dos níveis de energia incidente, especialmente nos casos em que estes valores se encontram acima de 40 cal/cm². Entre elas, podemos citar:

• Uso de conjuntos de manobra e controle de potência com construção resistente aos efeitos devidos a um arco interno;
• Uso de conjuntos de manobra e controle de potência com limitação dos níveis de energia associados a um arco elétrico, por filosofia predefinida da limitação de correntes de falha ou pelo uso de dispositivos redutores de níveis de energia relacionada a arco;
• Uso de conjuntos de manobra e controle de potência com segurança aumentada pelo uso de técnicas de redução de risco de acidente, por meio da limitação de possíveis causas de arco interno;
• Modificações nas filosofias e sistemas de proteção contra sobrecorrente;
• Uso de monitoramento contínuo e ferramentas de diagnóstico preditivo;
• Adoção de práticas sistematizadas de montagem, comissionamento e manutenção de equipamentos e instalações.

Cenário atual

A própria definição de risco dos perigos de descarga por arco elétrico apresentada pela NFPA indica que esta é "uma condição perigosa associada à liberação de energia causada por um arco elétrico". Assim, toda a abordagem desenvolvida pelos documentos NFPA 70E-2009 e IEEE Std 1584-2002 se foca no conceito de energia e no cálculo de quantificação de sua parte térmica. Ou seja, a análise se concentra no calor que está associado à energia liberada quando ocorre um evento de arco elétrico. Sendo que a energia incidente em um ponto é definida como sendo "a quantidade de energia imposta em uma superfície, a certa distância da fonte, gerada durante a ocorrência de um arco elétrico".

Assim, seguindo-se esta abordagem, os estudos visam, primeiro, determinar o nível de energia térmica em cal/cm² e, então, enquadrá-lo em uma classificação do nível de risco que existe para os profissionais que estarão expostos durante as atividades e os serviços associados, de modo a se definir as medidas necessárias para se maximizar a segurança humana e patrimonial.

Para se definir a aplicação de um CMCP e os níveis reais de energia disponível no ponto de uso do equipamento e as suas possíveis causas, é necessário desenvolver duas etapas de estudos de engenharia.

A primeira etapa está associada ao arranjo do sistema elétrico em função das necessidades do mesmo e da interação, ou não, com a concessionária de energia:

• Definição da filosofia de operação a ser usada no sistema (acoplamento com a concessionária local, geração independente, cogeração, o uso de disjuntores de interligação fechados de modo permanente ou não, a aplicação permanente ou temporária de reatores limitadores de corrente, etc.);

• Estudos de fluxo de carga (para se validar as possíveis configurações a serem usadas no sistema elétrico, entre outros);
• Cálculo das quedas de tensão devidas à partida de grandes motores (para identificar requisitos de rearranjo do sistema elétrico ou alteração de especificação de equipamentos ou dos níveis de tensão usados na instalação).

A segunda etapa está associada à determinação das correntes de falta e os respectivos tempos de eliminação:

• Cálculo dos valores máximos e mínimos das correntes de curto-circuito, tanto os trifásicos quanto os monofásicos, conforme as possíveis configurações de operação;
• Estudos de coordenação e seletividade do sistema de proteção.

Somente então pode-se iniciar a análise da energia incidente e dos métodos que podem ser adotados para a sua prevenção e a mitigação de seus efeitos. Assim sendo, toda vez que for definida a necessidade de um trabalhador atuar dentro de uma zona que está sujeita aos efeitos de uma descarga elétrica, é necessária a análise de riscos de arco elétrico.

Com os valores estimados com base na atividade a ser exercida (pelo uso de tabelas, como as fornecidas pela NFPA) ou obtidos por meio de cálculos, são definidas as categorias de riscos conforme faixas de valores dos níveis de energia incidente. Assim, seguindo-se uma diretriz de se prevenir ou limitar os ferimentos (como queimaduras tratáveis limitadas às de 2º grau) ao ser humano, são definidas as vestimentas apropriadas, sejam EPIs ou EPCs, além das práticas e distâncias seguras de trabalho para o local em que a atividade será exercida.

Apesar de tanto a NR 10 quanto a NFPA 70E estabelecerem distâncias mínimas para evitar a eletrocussão (choque elétrico) provocada por um arco estabelecido no ar em condições de perturbação deste dielétrico, os valores não englobam os efeitos resultantes da energia de um arco elétrico. O fato é que a distância mínima para proteção contra os efeitos de um arco elétrico pode ser maior ou menor do que a definida para zona livre de choque elétrico. Daí a necessidade de se adotar a prática de análise de riscos associados aos perigos de um arco elétrico.

A Tabela 1 apresenta resumidamente os requisitos básicos das vestimentas a serem usadas em serviços de eletricidade.

Tabela 1
Categorias de riscos (com o valor limite da faixa de energia incidente) – Requisitos para vestimentas, segundo a edição de 2009 da NFPA 70E

Categorias de risco (HRC)	Energia incidente Cal/cm² (J/cm²)	Requisitos de vestimenta em função da energia incidente e da categoria de riscos
0	N/A	Material inflamável, mas que não derreta. (Ex: algodão não tratado).
1	4 (16,74)	Camisa FR e calça FR ou capa FR para a HRC.
2	8 (33,47)	Camisa FR e calça FR ou capa FR para a HRC.
3	25 (104,6)	Camisa FR e calça FR ou capa FR para arco conforme a HRC.
4	40 (167,36)	Camisa FR e calça FR ou capa FR para arco conforme a HRC.
Ref.: NFPA 70E (tab. 130.7(C)(11))		Nota: FR = Flame Resistant, ou seja, material resistente à chama.

A partir do cálculo de energia incidente se estabelece também o valor do raio de alcance, em metros, da zona de risco de exposição ao nível calculado para esta energia perigosa. Quanto ao raio de alcance da zona de risco, é interessante observar que o foco de análise se encontra centrado na exposição direta das partes energizadas, sem a interposição de barreiras. Em outras palavras: o uso de barreiras físicas, que sejam mecanicamente resistentes e que também atendam aos requisitos de segurança, elimina as exigências de distâncias mínimas relativas ao choque elétrico e energia incidente.

A energia incidente em um ponto, proveniente de um arco elétrico, depende fundamentalmente dos seguintes fatores:

• Corrente de falta presumida no ponto;
• Tempo de eliminação da falta para as condições de arco;
• Distância entre o trabalhador e ponto de arco.

Outros fatores que afetam também os níveis disponíveis de energia em um ponto são:

• Tensão de operação;
• Distância entre eletrodos;
• Tipo de aterramento do neutro do sistema elétrico.

Partindo dos pontos citados, em uma primeira abordagem, um profissional poderia ser levado a crer que os locais com maior risco para trabalho em equipamentos energizados são aqueles que apresentam valores altos de curto-circuito e tempos totais de interrupção altos. Porém a realidade é mais complexa e exige outros cuidados. Por exemplo, uma falha, que venha a ocorrer entre os terminais secundários de um transformador e o elemento de manobra e proteção a jusante, deve ser detectada e eliminada por sua proteção no primário.

Nesta condição, para unidades ou bancos trifásicos ligados em "triângulo – estrela aterrado", no caso de uma falta fase-terra, haverá valores reduzidos de corrente de curto-circuito refletidos no primário que, em função da proteção adotada, pode nos levar a registrar tempos altos de resposta na eliminação da falha. Por exemplo, um fusível primário neste contexto pode vir a ter tempos maiores de interrupção que um segundo; o que nos levaria a ter valores de I2t (energia) que iriam comprometer a segurança.

Por fim, existe o fato de termos, devido aos ajustes que são adotados para a coordenação e seletividade das proteções, tempos de eliminação de faltas com valores cada vez mais altos, à medida que nos aproximamos do ponto inicial da instalação (entrada da concessionária, ramal principal de alimentação, etc.).

Energia liberada por um arco elétrico

O perigo associado à liberação intempestiva de um arco elétrico é muito grande. Um profissional exposto aos riscos de tal evento encontra-se sujeito às diversas formas de energia liberadas pelo arco. Elas vão além da térmica e incluem também diversos

tipos como: elétrica, acústica, química, mecânica e por radiação, sendo que todas se manifestam de alguma forma física:

- Calor intenso;
- Liberação de gases e nuvens tóxicas;
- Lançamento de partes e peças;
- Projeção de materiais derretidos (aço, cobre, alumínio, etc.);
- Barulho excessivo (existem registros de níveis de ruído acima de 120 dB) provocado pela expansão supersônica do ar;
- Ignição de produtos circundantes, tais como: poeiras, gases e vapores inflamáveis;
- Ondas de pressão;
- Luminosidade intensa.

No que diz respeito aos conjuntos de manobra e controle, deve-se atentar para o fato de que a grande maioria dos acidentes ocorrem quando há intervenção nos equipamentos, ou seja, com as portas ou anteparos abertos; o que vai contra a própria essência da análise da adequação de um conjunto de manobra quanto a sua classificação IAC (do inglês, Internal Arc Classification). Este fato é reforçado na abordagem das normalizações ANSI e IEC tanto em conjuntos de média quanto de baixa tensão. Isso porque a verificação de suportabilidade dos efeitos de um arco interno não é obrigatória e está sujeita a um acordo entre usuário e fabricante.

É muito importante lembrar também que muitas atividades de operação e a grande maioria das de manutenção ocorrem, de fato, muito próximas ao ponto focal de energia incidente. Em outras palavras, as atividades feitas com portas abertas ou com barreiras (a exemplo de tampas e coberturas) removidas. Fato este que invalida toda a análise e o resultado gerado pelo desempenho obtido nos ensaios descritos nas normas relativas aos tópicos do parágrafo anterior.

Sendo assim, muito mais do que a preocupação de como um conjunto de manobra e controle deve se comportar diante de um evento de arco interno, o que precisa existir por parte dos responsáveis pela especificação e fornecimento de conjuntos de manobra e controle é uma abordagem efetiva da prevenção das causas de falha e da mitigação dos riscos de exposição de um trabalhador aos efeitos produzidos por um eventual arco com porta aberta ou ausência de tampas ou anteparo.

Soluções para a redução da energia e mitigação de seus possíveis efeitos

Um trabalho de avaliação dos riscos associados a um arco elétrico nos diversos pontos de um sistema elétrico irá, muito provavelmente, mostrar pontos com altos níveis de energia incidente. Em muitos casos, este valor pode passar de 40 cal/cm².

A escolha de tecnologias complementares à filosofia de segurança nos casos de conjuntos de manobra e controle de potência é cada vez mais determinante no sucesso em se proteger a vida humana e preservar os bens materiais associados a uma instalação. Nos casos em que os mesmos estão associados a altos níveis de energia incidente, podem-se adotar diversas abordagens para a redução destes níveis e a mitigação de seus efeitos, conforme apresentado a seguir.

Conjunto manobra e controle resistente aos efeitos de um arco interno

Soluções do tipo AR (Arc Resistant, em português, resistente aos efeitos de um arco interno) são cada vez mais usadas em média tensão, sobretudo pela IAC, do inglês Internal Arc Classification, conforme a IEC 62271-200 e a NBR equivalente. Estes tipos de CMCP fornecem uma melhoria na segurança dos operadores e do pessoal circulando nas proximidades. A ideia por trás destes equipamentos é redirecionar a energia, de modo a proteger o ser humano próximo. Esta solução se enquadra dentro de uma abordagem do tipo reativa. Ou seja, a característica AR surge como uma reação a um arco interno que já tenha ocorrido.

Um modo de visualizarmos o quanto os CMCPs que sejam resistentes aos efeitos de arco interno podem proporcionar de ganho em termos de segurança humana é por meio da comparação de como a norma NFPA 70E em sua tabela 130.7 (C) (9), que classifica a categoria de risco de certas atividades relativas aos conjuntos de manobra e controle com tensões entre 1 kV e 38 kV. Um extrato de parte da tabela mencionada é apresentado a seguir.

Neste material é possível se comparar o nível da categoria de risco a ser considerado para atividades predefinidas, quando existir a ausência do estudo prévio de análise de energia incidente. Como esta tabela foi criada originalmente para o universo das normas NFPA, ANSI, IEEE e NEMA, são utilizados os termos metalclad e arc resistant. O primeiro termo, definido pelos requisitos e definições da norma IEEE C37.20.2, pode ser associado à classificação LSC-2B / PM da IEC 62271-200 e da NBR equivalente. Já o segundo termo, que tem as suas origens na IEEE C37.20.7, está diretamente ligado à classificação IAC, do inglês Internal Arc Classification.

Tabela 2
Extrato da classificação da categoria de risco (HRC) conforme a atividade a ser desempenhada no caso de falta do estudo com a análise de energia incidente disponível no local (Fonte: tabela 130.7(C) (9) da NFPA 70E / 2009)

Tipos de atividade	Metal-clad	Arc Resistant
Operação do disjuntor com a porta aberta	4	N/A
Operação do disjuntor com a porta fechada	2	0
Movimentação do disjuntor com a porta aberta	4	4
Movimentação do disjuntor com a porta fechada	4	0
Movimentação da gaveta de TPs com a porta aberta	4	4
Movimentação da gaveta de TPs com a porta fechada	4	0
Abertura de portas com exposição de partes vivas	3	N/A
Remoção de coberturas aparafusadas com a exposição de partes vivas	4	N/A

Um ponto interessante a se destacar nestes casos é o fato de que além de oferecer proteção aos efeitos térmicos do arco, um CMCP–AR, graças aos seus sistemas de exaustão, vai de encontro à preocupação crescente com as possíveis sequelas criadas por ondas de pressão.

Apoio

Figura 1 – CMCP-AR com sistema coletor de gases durante o ensaio de verificação dos requisitos IAC.

Outro ponto complementar para o caso de CMCP-AR (IAC), principalmente em média tensão, em que encontramos níveis de energia de arcos maiores, deve ser a preocupação com os gases que vão surgir em decorrência do arco. Nenhuma norma para conjuntos de manobra e controle e instalações elétricas, tanto em média quanto em baixa tensão, avalia o possível escape de gases tóxicos provenientes da queima dos materiais existentes internamente no painel. Daí uma forte urgência em se considerar a forma de escape de gases para sua rápida remoção da sala em que os equipamentos estão instalados, ficando clara a necessidade do uso de dutos para guiar a maior quantidade possível destes subprodutos para fora do ambiente.

Apesar de todas as suas vantagens e possibilidades, o CMCP-AR (IAC) ainda não representa a solução definitiva para os problemas de intervenção direta aos compartimentos internos. Isso se deve ao fato de que a grande maioria dos acidentes em conjuntos de manobra e controle ocorre quando há intervenção neles, ou seja, com as portas ou anteparos abertos. Esta solução é considerada do tipo qualitativo, visto que não definimos um valor calculado para redução obtida na energia incidente.

Conjunto manobra e controle com limitação dos riscos de ocorrência de um arco elétrico

Conforme já mencionado anteriormente, muitas das atividades usuais de operação ou manutenção ocorrem próximas de pontos focais de energia incidente. Sendo assim, muito além da preocupação de como um CMCP vai se comportar diante de um arco interno, os profissionais responsáveis pela especificação e fabricação de conjuntos de manobra e controle devem ter uma abordagem pró-ativa da prevenção das causas de falha e da mitigação dos riscos associados aos efeitos produzidos pelo arco. Tanto o anexo A da IEC 62271-200 quanto o anexo B da IEEE C37.20.7 procuram descrever as possíveis causas da ocorrência de um arco interno e as possíveis medidas preventivas.

I. Limitação das causas de falha interna

Segregação de compartimentos, unidades e partes de um conjunto de manobra e controle de potência. Esta abordagem deve ser uma constante para todos os projetos novos. Sendo que, no caso de

equipamentos existentes, mas que ainda não tenham sido instalados, um processo de adequação das modificações pertinentes deve ser discutido com o fabricante original e implementado dentro das possibilidades do projeto construtivo.

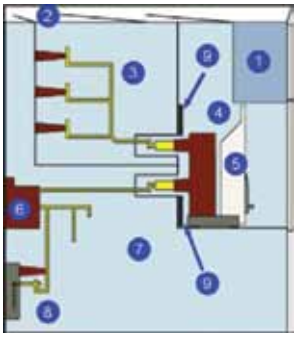

Figura 2 – Compartimentos básicos de um CMCP de MT.

Em que:
1. Compartimento de controle (BT);
2. Dispositivos de alívio de pressão (flaps);
3. Compartimento de barras;
4. Compartimento de elemento principal de manobra;
5. Disjuntor extraível;
6. Transformadores de corrente (TCs);
7. Compartimento de cabos;
8. Chave de aterramento;
9. Guilhotinas (shutters).

- **A)** Uso de conjuntos de manobra e controle de média tensão:

Recomenda-se o uso LSC2B-PM ou LSC2B-PI. Em casos de cargas terminais, como a alimentação de motores, podem-se adotar sistemas com características LSC2A, desde que se adotem medidas seguras de descargas de possíveis tensões residuais nos circuitos de saída. Pela NBR IEC62271-200, o uso do termo LSC (do inglês, Loss of Service Continuity) se refere à categoria de perda de continuidade de serviço, definindo qual é a interação entre compartimentos e unidades funcionais quando ocorre a abertura de alguma porta ou barreira de um compartimento de potência.

Em complemento a esta classificação, temos a classe de divisão PM que se refere ao uso de partições metálicas, inclusive para as guilhotinas; enquanto PI se refere a partições isolantes. Aqui é interessante ressaltar que os requisitos construtivos para um conjunto de manobra de média tensão do tipo metal-clad, conforme a norma ANSI C37.20.2, (IEEE Standard for Metal-clad Switchgear) e tão comuns em diversas instalações existentes, se enquadra na classificação do tipo LSC2B-PM.

Os requisitos construtivos descritos na norma ANSI são tão restritivos e exigentes no que se refere à abordagem da segurança humana e patrimonial que, de fato, muitas especificações técnicas, apesar de terem as suas origens baseadas na cultura IEC, demandam o uso adicional de algumas características construtivas mencionadas na referida norma C37.20.2. Como exemplo, podemos citar as barras e conexões isoladas, a separação do compartimento de barras principais entre seções (colunas) adjacentes por barreiras metálicas com buchas de passagens, etc.

- **B)** Uso de conjuntos de manobra e controle de baixa tensão:

Tem-se notado uma forte tendência no uso do conceito Arc Free, ou seja, no uso de estruturas livres de riscos de ocorrência de arcos internos. Isso tem sido obtido com o uso de estruturas com alta compartimentação (formas de separação mínima 3b, com preferência para 4a ou 4b; conforme a NBR IEC 60439-1), barramentos isolados, conexões isoladas ou separadas por barreiras e materiais isolantes com alta resistência ao fenômeno de rastreio e compatíveis com níveis de isolação necessários (distâncias de isolamento e de escoamento, além da tensão de impulso atmosférico, condizentes com a categoria de sobretensão e com o grau de poluição).

Isso vai de encontro ao que está definido no documento da IEC Technical Report IEC/TR 61641 (Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault), cuja segunda edição foi reafirmada em janeiro de 2008; em que fica claro na seção 3.7 a definição para zonas livres de arco (arc free zone): parte de um circuito dentro de um conjunto de manobra e controle onde não é possível colocar um fio de ignição (para simulação de arco interno) sem a destruição do material isolante sobre os condutores.

II. Redução dos níveis de energia associada a um arco interno

Adoção em conjuntos de manobra e controle de potência de sistemas que diminuam ou minimizem o nível de energia liberada por um arco interno. Este conceito está relacionado à rápida detecção da ocorrência de um arco interno e à sua eliminação. A detecção mais efetiva atualmente é feita a partir da sensibilização provocada pela presença de altos níveis de luminosidade dentro de um compartimento em que esteja ocorrendo um arco elétrico (por uso de fibras óticas contínuas ou detectores pontuais de luz), associada sempre que possível aos níveis de corrente do respectivo circuito oriundos dos sinais de TC, que, por sua vez, alcancem valores superiores a um patamar pré-ajustado. A diminuição do tempo de arco fica associada à resposta de um dos seguintes sinais:

a. Abertura do interruptor a montante do ponto de defeito:
O arco irá perdurar enquanto o interruptor não abrir.
b. Fechamento de dispositivo trifásico de curto-circuito pleno do barramento de alimentação do defeito (cross bar):

O arco é "substituído" por um curto-circuito franco e, consequentemente, extinto de forma imediata (a falta é transferida de uma condição de arco para uma falha sólida, em tempos muito pequenos, da ordem de 2 a 4 milissegundos). Cabe ao sistema de proteção garantir a abertura da corrente de curto-circuito associada a esta falta plena. Porém, esta opção preocupa o usuário pelo estresse que é imposto principalmente ao transformador que está a montante do CMCP.

Apoio

Uso de dispositivos removíveis e extraíveis

O uso de dispositivos removíveis e extraíveis aumenta em muito a possibilidade de uma intervenção segura, tanto no elemento de manobra propriamente dito, quanto no circuito à jusante do elemento (quando se tem garantido distâncias de seccionamento, conforme requerido em norma). Sendo que a operação de retirada do elemento tem de estar, obrigatoriamente, associada à presença de intertravamentos de segurança que garantam a movimentação do elemento somente quando o mesmo estiver desenergizado e permitir sua operação apenas em posições previamente definidas (como "inserido", "teste" ou "extraído"). O motivo destas exigências é evitar a formação de arco entre terminais desconectáveis na movimentação de unidades que estejam ligadas a circuitos que estão energizados.

Uso de barreira e dispositivos remotos

A movimentação de unidades extraíveis com as portas frontais fechadas ou com barreiras de interposição oferece a proteção mecânica para a redução dos impactos térmicos e físicos, gerados pela ocorrência de um arco. Nos casos de CMCP com a classificação IAC, esta é uma forma de melhorar sua eficácia da segurança, visto que assim se reduz a possibilidade de ocorrer abertura de uma parte do invólucro do equipamento. Esta seria uma abordagem de caráter qualitativo.

Uma forma mais segura e que permite se quantificar, já que seria baseada no parâmetro de distância, é o uso de dispositivos que permitam afastar o operador do painel durante estas atividades. Nestes casos, vários fabricantes de elementos de manobra ou empresas especializadas em serviços de manutenção têm ofertado versões com operação remota. Afinal, um dos elementos importantes na mitigação dos efeitos de um arco interno é manter o elemento humano fora da zona de risco.

Figura 3 – Opção para operação remota de movimentação de elemento de manobra extraível (permitindo ao operador se posicionar fora da zona de risco de arco)

Além do processo de movimentação remota dos elementos de manobra, o uso de sistemas de operação e acesso remoto é fator determinante no aumento da segurança do pessoal de operação e engenharia, de manutenção ou de proteção. No passado já se usava chaves, sinaleiros e indicadores remotos (por exemplo, por meio do uso de sinais de 4 mA a 20 mA). Mas, hoje em dia, graças aos diversos sistemas inteligentes de proteção e redes de campo, fica muito mais efetiva

a interface remota para a manobra de dispositivos, leituras de grandezas e diagnósticos de unidades

Diminuição dos valores da corrente presumida de curto-circuito e dos tempos de interrupção dos dispositivos de proteção a montante do ponto de intervenção

Nessa opção, a redução dos níveis de energia incidente é buscada por meio da redução dos valores da corrente de curtos-circuitos disponíveis ou pela diminuição do tempo de resposta das proteções. Esta abordagem envolve muito a figura do engenheiro de sistemas de potência, já que ele deverá interagir com o usuário a fim de entender as necessidades e as particularidades da instalação, seja ela nova ou existente. O processo é rico em opções e soluções. Sendo algumas delas comentadas a seguir.

I. Redução das correntes de curto-circuito
Seguindo essa abordagem, as opções passam por:

• **A)** Uso de reatores limitadores de corrente

Esta solução pode ser adotada tanto em projetos novos quanto nas modernizações de instalações existentes. Porém, deve-se sempre avaliar o impacto desta opção diante dos estudos de queda de tensão em partidas de grandes motores. Este tipo de abordagem vem sendo muito utilizada em CCM de baixa tensão em unidades marítimas de prospecção e produção de petróleo, limitando, em alguns casos, o valor simétrico da corrente de curto-circuito trifásico a 18 kA eficazes.

• **B)** Uso de sistemas aterrados por resistores de alto valor ôhmico

Muito comum em sistemas de potência em baixa tensão, visa limitar as correntes de falha entre os condutores de fase a terra. Desde que o fator de aterramento do sistema não gere sobretensões perigosas, representa uma boa opção já que, pelo menos, 75% dos defeitos reportados são do tipo monofásico (falta a terra). Esta opção de filosofia de operação do sistema tem de estar em linha com a determinação, pelo engenheiro de estudos de sistemas de potência, dos valores de sobretensão que irão ocorrer, pois conforme o caso pode ser necessário adotar equipamentos com isolação aumentada (capaz de trabalhar em condições de sobretensão). Além de se ter em mente que apenas o primeiro defeito a terra é "por conta da casa" (o valor é limitado basicamente pelo resistor). Mas, caso ocorra uma segunda falha, a terra que envolva uma fase diferente da primeira, a corrente de curto-circuito fase-fase terá um valor superior ao nível anterior, com um aumento da energia incidente correspondente aos pontos de defeito.

Figura 4 - Sistema instalado em vários CMCs de BT, tipo CDC, para quatro plantas petroquímicas na China.

• C) Uso de disjuntores e fusíveis limitadores de corrente

Sendo que aqui o maior cuidado a ser tomado é que o menor valor da menor corrente de curto-circuito pode vir a ficar fora da região de limitação, o que, por conseguinte, representa um tempo maior para a extinção do defeito. Neste caso, o tempo de arco no ponto de falha pode, apesar do menor valor de corrente, levar a um nível alto de energia incidente.

• D) Uso da filosofia de se manter os disjuntores de interligação abertos na operação das unidades com mais de uma entrada (alimentadores das barras não paralelados)

Se for de todo inviável, pelo menos considerar a possibilidade de uso de filosofias de manutenção que permitam abertura do paralelismo durante intervenções com o uso ou não de reatores limitadores de corrente em paralelo com o disjuntor de interligação (com o equipamento fechado o reator está "fora", mas com o mesmo sendo inserido no sistema com a abertura do elemento de manobra). Esta opção leva a possibilidade de redução da energia incidente e, consequente, redução dos requisitos de EPI ou EPC.

II. Redução dos tempos de interrupção
Seguindo esta abordagem, as opções passam por:

• A) Diminuição dos tempos de respostas das proteções

A solução ótima neste contexto é aliar à redução dos valores das correntes de curto-circuito a diminuição dos tempos de reação dos dispositivos de proteção. Para os sistemas eletromecânicos convencionais, tais tarefas são quase impossíveis, ainda mais se levarmos em conta os requisitos de coordenação e seletividade dos sistemas de proteção. Porém isso pode ser contornado com a substituição dos sistemas antigos por unidades microprocessadas de proteção (relés numéricos).

Com esta simples modificação, os tempos de tolerância entre ajustes de tempo podem ser reduzidos dos tradicionais 400 ms a 500 ms para faixas de 250 ms a 350 ms, já que não temos mais o fantasma do sobre-alcance (overtravel) dos elementos a disco de indução e nem os problemas com mancais ou freios. Outra vantagem é a melhor resposta, graças aos algoritmos implantados em unidades numéricas, diante da possível saturação dos transformadores de corrente.

No entanto, o grande salto foi a ampliação do conceito de Intertravamento Seletivo por Zonas (chamado de ZSI, do inglês, Zone Selective Interlock), também conhecido como Seletividade Lógica. Este recurso tem sido muito difundido graças aos relés numéricos. A ideia básica é que, em casos de faltas com altas correntes, estas unidades possam, por meio de sinais discretos ou por comunicação via rede, tomar a decisão de abandonar os ajustes de tempo que foram definidos pelo estudo de seletividade e atuar mais rapidamente (em torno de 70 ms). O uso desta solução tende a crescer mais ainda com a disseminação da norma IEC61850 e as mensagens GOOSE, que transportam estruturas de dados configuráveis.

Apoio

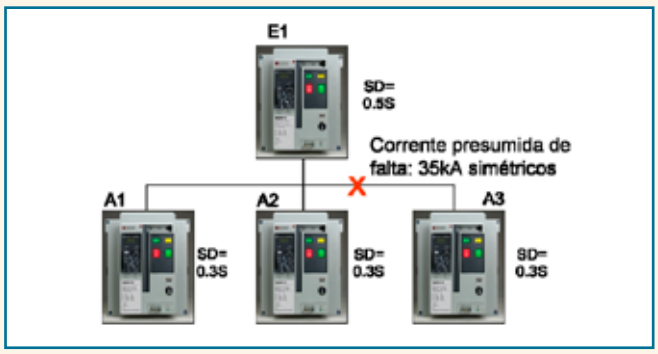

Figura 5 – O uso de seletividade lógica possibilita a redução do tempo de resposta da proteção (curva de curto retardamento – SD) da entrada de 500 ms para 80 ms. Isso representa, neste caso, uma redução no nível de energia incidente de 43,7 cal/cm² (categoria de risco 4) para um valor de 7 cal/cm² (categoria de risco 2).

- B) Modificação temporária dos ajustes da proteção a montante do ponto de intervenção

O uso de unidades que permitam a redução temporária do valor de partida dos elementos e a aceleração das respostas de tempo (seja pela mudança de ajustes ou do tipo de curva) das unidades de sobrecorrente vai de encontro à necessidade de se diminuir, de forma temporária, o nível de energia disponível no ponto de trabalho, sem prejudicar permanentemente os ajustes definidos nos estudos de coordenação e seletividade das proteções.

Esta característica permite a um profissional que tenha que intervir em um equipamento faça uma mudança temporária nos ajustes da proteção, levando para valores mais sensíveis (corrente de partida mais baixa e tempo de resposta mais rápido das unidades de sobrecorrente). Aqui, a ideia é composta por duas aproximações para o problema da energia associada à corrente de falta no ponto: usar um ajuste de corrente mais sensível, o que é muito mais compatível com os defeitos envolvendo arco elétrico, e se ter para um mesmo valor de corrente uma correspondente redução no tempo de resposta da proteção para a eliminação do defeito.

Uso de tecnologias de manutenção preditiva nos conjuntos de manobra e controle de potência

Graças aos avanços da tecnologia dos sistemas de interface e coleta de dados para monitoramento contínuo, tanto de descargas parciais (DP) quanto de termografia, podem-se adotar práticas que evitem a necessidade de ação direta do ser humano, eliminando a necessidade de abertura de tampas e portas de conjuntos de manobra e controle. Também o uso de sistemas de monitoramento em tempo real das condições da isolação de equipamentos de média tensão reduz a possibilidade de virem a ocorrer falhas intempestivas já que uma condição anormal pode ser identificada muito antes de evoluir para uma falha com arco.

Nas imagens da Figura 6, são mostrados alguns exemplos reais de aplicação.

Segurança do trabalho em eletricidade

Figura 6 – Instalação dos acopladores capacitivos e unidade de coleta e centralização de dados para monitoração contínua dos níveis de descargas parciais num CMCP de MT. Os dados podem ser repassados, via rede de comunicação, para um sistema supervisório.

Sistematização das práticas e filosofias de instalação e comissionamento dos conjuntos de manobra e controle de potência

Todos os pontos até aqui discutidos podem não atingir as metas traçadas se duas etapas não receberem a devida atenção: a instalação e o comissionamento dos conjuntos de manobra e controle de potência.

Cabe à empresa responsável pela instalação de um CMCP, seguir todas as recomendações relativas ao equipamento, que são fornecidas pelo fabricante. Isso é crucial para o desempenho dos produtos, já que muitas características de desempenho, principalmente no que se refere a parâmetros verificados pelos ensaios de tipo, pode ser afetadas pelo processo de montagem.

É crucial o trabalho da equipe de comissionamento. Este processo é a última barreira antes da colocação de um equipamento ou instalação em operação. Um simples descuido pode ser catastrófico, como podemos reparar em alguns exemplos a seguir, onde houve falhas no método de verificação do torque usado nos parafusos de conexões elétricas.

Figura 7 – Conexão de saída de um CCM de MT com sinais de aquecimento por uso de parafuso de fixação com dimensões incorretas (maior comprimento do corpo).

Uma forma de aumentar a confiabilidade do processo de comissionamento é adotar procedimentos escritos para as atividades. O uso de planos de inspeção e teste junto com listas de verificações de cada atividade planejada serve de guia, controle e registro das diversas etapas do processo.

Conclusões

A segurança associada a conjuntos de manobra e controle de potência, tanto em baixa tensão quanto em média tensão, é uma atividade que se inicia bem antes e que se prolonga por toda a vida útil de uma instalação elétrica. Neste contexto, podemos, seguindo a normalização relativa a cada produto, estabelecer algumas diretrizes básicas.

- Quantificar as cargas com seus perfis e as suas reais demandas;
- Definir as tensões nominais e de operação, segundo suas disponibilidades;
- Definir o tipo de aterramento a ser adotado para o sistema elétrico;
- Identificar as condições do local: ambientais (umidade, temperatura, poluentes, altitude, etc.) e espaciais (área e altura disponíveis, acessibilidade, etc.);
- Efetuar os estudos de engenharia necessários de forma completa e consistente (fluxo de carga, queda de tensão, curto-circuito, coordenação e seletividade, aterramento e, principalmente, o nível de energia incidente por arc-flash);
- Efetuar as análises de risco. Adotar um programa de informação dos níveis de energia incidente e treinamento do uso correto dos EPCs e EPIs;
- Definir as filosofias de instalação, comissionamento, operação e manutenção;
- Preferir o uso de sistemas inteligentes, com redes de campo, para a operação, monitoramento, coleta de dados e diagnósticos;
- Procurar usar tecnologias mais seguras de manutenção preditiva;
- Definir e efetivar um programa de segurança em conformidade com a realidade existente.

Referências

- Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces, NFPA 70E-2009.
- IEEE Guide for Perfoming Arc-Flahs Harzard Calculations, IEEE Std 1584 - 2002.
- NBR IEC 62271-200. Conjuntos de manobra e controle em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até e inclusive 36,2 kV. ABNT; 2007.
- 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), ABNT; 2004.
- NR-10: Norma regulamentadora n. 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Ministério do Trabalho e Emprego – Governo Federal do Brasil.

***LUIZ FELIPE COSTA** é engenheiro de aplicação sênior de produtos de manobra e controle da Eaton, no Rio de Janeiro. É membro do IEEE / IAS e participante dos comitês técnicos dos eventos PCIC-Brasil (do inglês Petroleum and Chemical Industry Conference) e ESW-Brasil (Electrical Safety Workshop).*

***ROGÉRIO BARROS** é coordenador de serviços da Eaton, no Rio de Janeiro. Participa do grupo de suporte de transferência de tecnologia de projeto, fabricação e montagem de painéis e salas elétricas pré-fabricadas para a planta da Eaton na China.*

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