

Capítulo X

Redução dos níveis de energia incidente – Estudo de Caso

Por Alan Rômulo e Eduardo Senger*

Os capítulos anteriores apresentaram os riscos envolvendo arco elétrico, os principais Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), equipamentos utilizados para mitigação desses riscos, bem como os aspectos normativos mais relevantes.

Os próximos capítulos apresentarão um estudo de caso objetivando a redução dos níveis de energia incidentes em uma instalação elétrica, utilizando-se de toda a teoria e os conceitos apresentados nos capítulos

anteriores. A sequência das informações está disposta de acordo com o recomendado nas normas IEEE 1584 e NFPA 70E. Na parte 1, são apresentadas as informações básicas necessárias para a realização dos cálculos preliminares de energia incidente.

Descrição do sistema elétrico

A instalação elétrica analisada neste trabalho é composta por três unidades geradoras, sendo dois geradores responsáveis pela geração principal da unidade e um gerador pelo sistema de emergência, não possuindo nenhum tipo de conexão com uma concessionária de energia. A Figura 1 apresenta o diagrama unifilar resumido deste sistema elétrico.

O conjunto de geração principal da unidade é composto pelos geradores trifásicos A e B que geram em 480 V e possuem potência de 600 kW. Esses geradores são acionados por motores de combustão interna movidos a gás. O painel A concentra as funções de proteção, controle, sincronismo e disjunção do sistema de geração principal.

A geração de emergência é composta pela unidade geradora trifásica C de 250 kW/480 V, acionada por motor a diesel. As funções de proteção, controle e disjunção estão concentradas no painel B.

Em situação normal de operação, a unidade opera com um gerador principal em funcionamento, enquanto

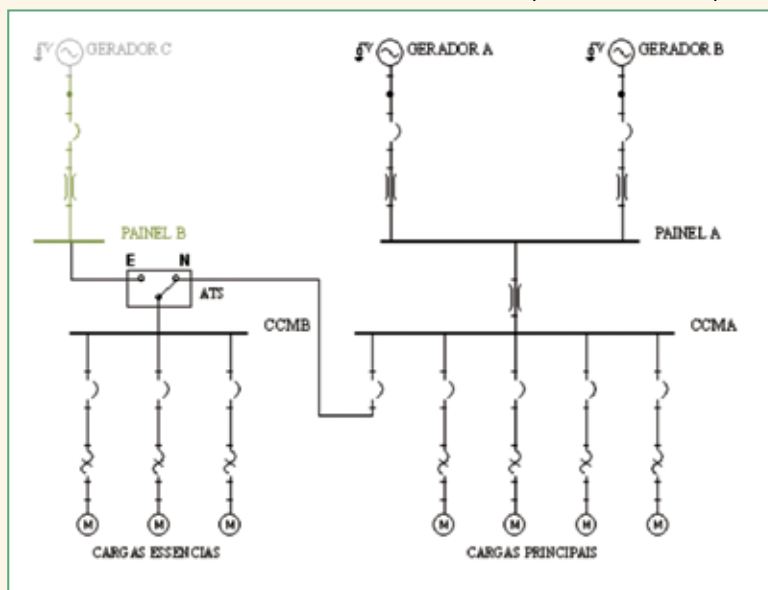


Figura 1 – Diagrama unifilar resumido.

o segundo gerador principal e o gerador de emergência permanecem de reserva. Na ocorrência de um desligamento no gerador principal que estiver operando, o outro gerador principal entra em funcionamento automaticamente e supre as mesmas cargas. Simultaneamente, é comandada a partida do grupo de geração de emergência. O gerador de emergência foi projetado para entrar automaticamente na linha em 45 segundos, no caso do gerador principal falhar na partida e não conseguir suprir as cargas nesse espaço de tempo. Tanto a lógica de partida dos conjuntos de geração quanto o controle da temporização é realizada por um CLP.

Caso a ocorrência que gerou o desligamento de um gerador principal for caracterizada como uma situação de emergência, o outro gerador principal, que estará no modo stand-by, não entrará em funcionamento. Ele permanecerá nessa condição até ser sanada a situação que originou a emergência e ocorrer o rearme manual do Sistema de Parada de Emergência.

O sistema de geração de emergência não pode operar em paralelo com as unidades principais, mesmo após ter sido restabelecida a operação normal. A transferência das cargas entre o sistema de geração de emergência e o sistema de geração principal ocorre por meio de uma chave de transferência automática. Essa chave de transferência possui um monitor trifásico para evitar a transferência a menos que ambas as fontes estejam numa condição de fase, na mesma frequência ou próximo de tal condição.

Uma vez que qualquer dos geradores principais tenha retornado

à operação, a chave de transferência automática transfere as cargas essenciais de volta para a unidade principal e desliga o gerador de emergência, recolocando-o na modalidade de stand-by.

Tanto os geradores principais quanto o de emergência possuem uma resistência de aterramento de 200 ohms.

A distribuição de energia elétrica na unidade é realizada por dois CCMs, ambos de 480 V. O CCM A supre as cargas normais da unidade e é alimentado pelo sistema de geração principal. Já o CCM B supre as cargas essenciais e, em situação normal de operação, é alimentado pelo sistema de geração principal. Caso a geração principal não esteja disponível, este CCM é alimentado pelo gerador de emergência, selecionado por uma chave de transferência automática. As cargas da unidade são constituídas basicamente por motores trifásicos de indução e transformadores de iluminação/controle.

Proteção do sistema de geração

A proteção dos sistemas de geração engloba tanto as proteções associadas à máquina primária quanto aquelas associadas ao gerador elétrico.

Com relação à máquina primária, são empregadas as seguintes proteções:

- Baixa pressão de óleo lubrificante;
- Nível de óleo lubrificante;
- Alta temperatura da água de refrigeração;

- Baixo nível de água de refrigeração;
- Excesso de velocidade;
- Excesso de vibração.

A proteção dos geradores é realizada empregando-se as seguintes funções:

- Sobrecorrente;
- Potência reversa;
- Temperatura nos enrolamentos;
- Temperatura dos mancais;
- Subfrequência;
- Desequilíbrio de corrente;
- Sobretensão/subtensão.

Na instalação utilizada no estudo de caso, os relés empregados para proteção dos geradores são estáticos. Esse tipo de tecnologia encontra-se defasada devido ao emprego dos relés digitais. Contudo, quando os relés estáticos foram introduzidos no mercado, eles apresentavam algumas vantagens importantes sobre os seus predecessores, os relés eletromecânicos. Dentre essas vantagens, podem-se citar a melhor exatidão dos relés estáticos e a ampla faixa de ajuste de pick up. Outro fator importante é o fato de esse tipo de tecnologia não possuir peças móveis e frágeis, tornando os relés mais resistentes a choques e a vibrações, com conseqüente redução nas manutenções quando comparados aos relés eletromecânicos, já que não necessita de limpeza ou ajuste dos contatos, verificação de folgas, entre outros itens inerentes à manutenção de um relé eletromecânico.

Proteção dos barramentos

A proteção dos barramentos da unidade é realizada empregando-se somente a função de sobretensão.

Proteção do sistema de aterramento por alta resistência

Os sistemas de geração principal e de emergência possuem uma resistência no seu sistema de aterramento no valor de 200 ohms. Essas resistências limitam o valor da corrente que flui para a terra, durante um curto-circuito fase-terra, em 1,38 A.

O sistema de aterramento é dotado de um relé de sobretensão de neutro (ANSI 59G), de tecnologia eletromecânica.

Na ocorrência de uma falta fase-terra em qualquer parte do sistema de 480 V, o relé 59G, sensível às variações de tensão, aciona um alarme no painel anunciador da unidade. Uma vez que as correntes de falta são limitadas a menos de 2 A, o sistema elétrico pode continuar operando. Porém, a falha deve ser localizada e corrigida brevemente. O voltímetro localizado no sistema de aterramento indicará tensões entre 0 e 277 V caso exista uma falta de alta impedância no sistema elétrico.

Modos de operação e valores de curto-circuito

Definição das condições operativas

A unidade possui três modos de operação do sistema de geração elétrica. As três condições visam a garantir fundamentalmente a segurança da unidade e a operação dos sistemas mínimos necessários para o processo. O detalhamento das condições operacionais é apresentado a seguir, sendo que cada condição foi utilizada como base para o desenvolvimento dos cálculos de curto-circuito.

• Condição 1: dois geradores principais operando em paralelo

Nessa condição, os geradores principais encontram-se em paralelo alimentando todas as cargas da unidade. O gerador de emergência não é acionado nesse caso por não possuir sincronismo com o sistema de geração principal. Embora os geradores principais estejam projetados para operar nessa condição, ela somente ocorre momentaneamente para execução de manobras no sistema elétrico, visto que somente um gerador é suficiente para suprir a demanda da unidade. A Figura 2 demonstra, por meio do diagrama unifilar, a configuração do sistema

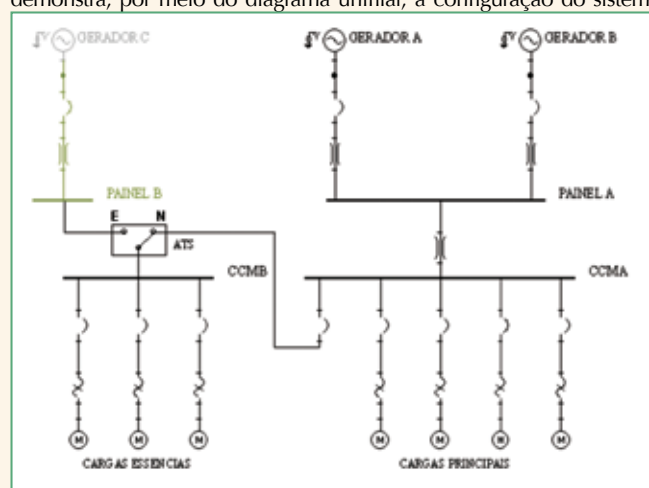


Figura 2 – Operação com os geradores principais em paralelo.

elétrico para esse caso.

• Condição 2: operação com um gerador principal em funcionamento

Esta é a condição normal de operação da unidade. Somente um gerador em funcionamento garante o suprimento de energia necessário

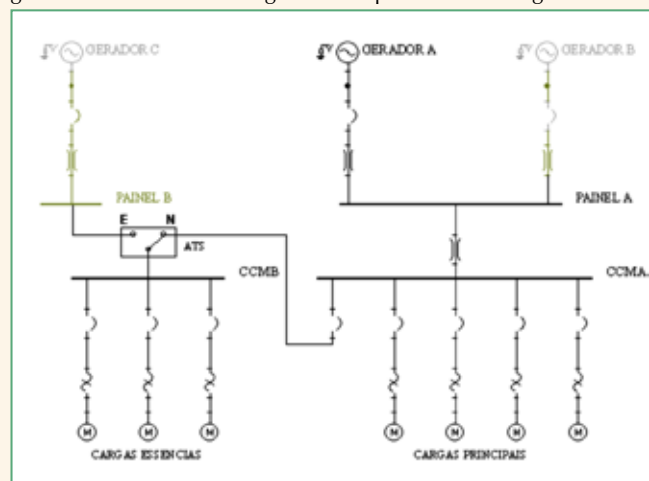


Figura 3 – Operação com um gerador principal em funcionamento.

para manter a operação da unidade.

- **Condição 3: Operação com o gerador de emergência em funcionamento**

O gerador de emergência entra em operação somente na ocorrência de falha nos dois geradores principais. O suprimento de energia é

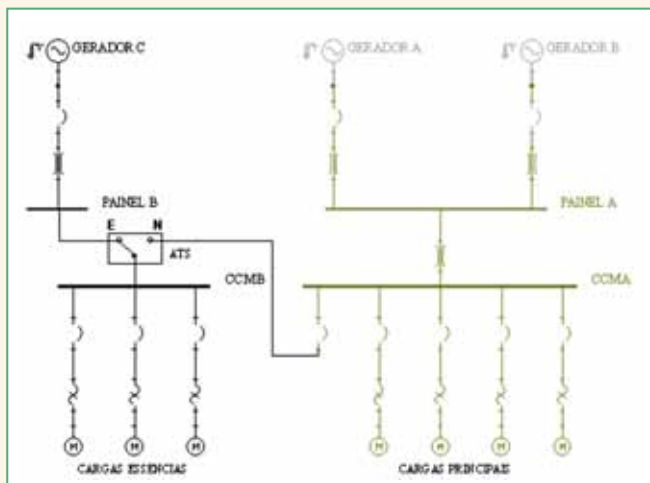


Figura 4 – Operação com o gerador de emergência em funcionamento.

garantido apenas para as cargas essenciais, conectadas ao Painel B.

Cálculos de curto-circuito

Para a realização dos cálculos de curto-circuito, foi utilizado o software PTW, desenvolvido pela empresa americana SKM. Os cálculos de curto-circuito estão baseados na norma IEC 60909. Essa norma é aplicável a sistemas trifásicos de baixa e alta tensão, desde que operem na frequência nominal de 50 Hz ou 60 Hz.

Os cálculos de curto-circuito foram realizados para as três configurações definidas no item 6.1, em que é esperada a máxima corrente de falta. Os valores de curto-circuito serão apresentados posteriormente, em conjunto com os cálculos de energia incidente.

Coordenação da proteção

A coordenação da proteção foi realizada de maneira a otimizar a proteção dos equipamentos elétricos, garantir a seletividade e proporcionar a continuidade operacional, sendo que os valores considerados de pick-up e tempo de atuação da proteção de sobrecorrente foram retirados dos critérios de projeto da unidade.

Foram adotadas as seguintes premissas:

- Tempo mínimo de coordenação de 200 ms;
- Corrente de partida dos motores seis vezes superior à sua corrente nominal;
- Ajuste de proteção de sobrecorrente de 1,15 vezes à corrente nominal dos motores;
- Ajuste magnético dos disjuntores de proteção contra curto-circuito no valor de 10 vezes a corrente nominal de cada motor.

TABELA 1 – TEMPO DE DURAÇÃO DO ARCO

Tempo de Duração do Arco (s)				
	Painel A	Painel B	CCM A	CCM B
100% da corrente do arco	0,45	0,25	0,45	0,25
85% da corrente do arco	0,45	0,25	0,45	0,25
38% da corrente de curto-circuito	0,45	0,25	0,45	0,25

A Tabela 1 apresenta, de forma resumida, os tempos de duração do arco considerando três situações distintas previstas na IEEE 1584 e na NFPA 70E. De acordo com essas normas, deve ser determinado o tempo de duração do arco considerando 100% e 85% da corrente do arco, e 38% da corrente de curto-circuito. O tempo de duração do arco é determinado pela soma do tempo de coordenação da proteção e do tempo para abertura do disjuntor (que para esse caso é 50 ms).

Nesse caso específico, não há diferença nos tempos de atuação da proteção porque nenhuma das correntes previstas na norma entram na curva de tempo inverso do relé. Dessa forma, o maior valor de energia incidente será obtido para 100% da corrente do arco.

Conclusão

Este artigo apresentou as informações prévias necessárias para o cálculo de energia incidente. Nos próximos capítulos, essas informações serão utilizadas para estimar os valores de energia incidente, conforme determinam as normas IEEE 1584 e NFPA 70E.

Referências

- IEC 60909. "Short-circuit currents in three-phase a.c. systems", 2001.
- 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.
- SLEVA, A. F. "Protective relay principles". CRC Press, 2009.
- SILVA, R. A. "Comportamento da função de proteção de sobrecorrente instantânea frente a distorções harmônicas nos relés de proteção numéricos". Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2008.

**ALAN RÔMULO SILVA QUEIROZ é engenheiro electricista 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 electricista 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.*

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@atitudeditorial.com.br