



SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA ARCO VOLTAICO EM PAINÉIS DE MÉDIA E BAIXA TENSÃO

Fernando Ayello, Eduardo Zanirato, Roberto Taninaga, Geraldo Rocha - SEL Schweitzer Engineering Laboratories, Comercial Ltda

Resumo - O artigo apresenta uma solução de alta confiabilidade para a proteção de operadores e eletricitistas de manutenção contra o arco voltaico em cubículos de disjuntores de painéis de média tensão e baixa tensão.

Palavras-Chave - Relé de proteção, painel média tensão, painel baixa tensão, arco voltaico, arco elétrico, segurança de pessoal

1. Introdução

Uma das maiores preocupações das indústrias hoje em dia são os aspectos de segurança de seu pessoal, especialmente dos operadores de subestações e eletricitistas de manutenção. A simples execução de manobras cotidianas dentro de uma subestação como, por exemplo, a inserção de um disjuntor, pode dar origem ao arco voltaico de efeitos irreversíveis para a saúde do operador, o que pode provocar queimaduras de elevado grau, inalação de gases tóxicos e quentes, incidência de altíssimos níveis de ruídos, lançamento de peças e materiais derretidos e ondas de pressão que podem arremessar o operador a metros de distância, podendo fazer com que ele se choque com equipamentos existentes na subestação.

Pesquisas americanas mostram que 50% das pessoas enviadas a unidades de tratamento de queimaduras possuem lesões devido a ocorrências de arco voltaico e uma ou duas entre cinco, não sobrevivem às consequências dessas lesões.

O arco voltaico pode ser definido como um curto-circuito através do ar, que se movimenta a uma alta velocidade (cerca de 100m/s) e elevadas temperaturas, podendo causar destruição total dos painéis metálicos e seus equipamentos, bem como causar graves lesões físicas, algumas vezes letais, para as pessoas ao redor da área afetada.

Assim, devido a uma grande quantidade de energia em um espaço de tempo muito curto com altas temperaturas, o arco voltaico tornou-se um dos principais elementos de estudos para melhoria da segurança do pessoal de operação e manutenção e minimização dos danos aos painéis e equipamentos do cubículo.

Para efeito de proteção de pessoal existem procedimentos como o uso de roupas especiais, painéis mais resistentes e manobras de forma remota pelo painel da IHM (interface homem-máquina). Porém, recentemente tem-se percebido a aplicação mais intensa de relés de proteção para detecção da formação de arco voltaico, pois os três primeiros exemplos não evitam a destruição causada pelo arco e, sim, minimizam os efeitos da explosão.

A adoção de proteções como painel especial não resolve o problema da liberação de gases, e também não elimina a necessidade de utilização de vestimentas especiais em caso de manutenções por termovisão, por exemplo. Assim, em complemento ao painel especial, o ideal é que se diminua a energia dissipada durante o evento, utilizando relés de detecção de arco.

O uso de relés de proteção para a detecção de arco voltaico, tem se mostrado muito eficiente, pois neste caso além da proteção de pessoal, pode-se evitar a explosão e

destruição do painel. Como não é possível evitar em 100% dos casos de surgimento do arco interno, o relé de detecção de arco é a maneira eficiente, segura e confiável de reduzir ao menor índice possível os valores de energia dissipadas ao longo do evento, reduzindo assim, seus efeitos destrutivos materiais e pessoais.

O avanço da tecnologia atual tornou o relé de detecção de arco economicamente viável em relação a sua instalação nos diversos tipos de painéis existentes numa indústria, tanto em média tensão, como também nos centros de distribuição de carga de baixa tensão.

A tabela 01 apresenta os tipos de proteção contra arco voltaico e suas conseqüências para o operador e os equipamentos do cubículo:

TIPO DE PROTEÇÃO CONTRA ARCO VOLTAICO	CONSEQUÊNCIAS	
	OPERADOR	EQUIPAMENTOS
EPIs / Vestimentas especiais	Proteção Total	Dano Total
Painel especial	Proteção Total	Dano Parcial
Operação remota	Proteção Total	Dano Total
Relé de detecção de arco	Proteção Total	Proteção Total

Tab. 01 – Proteção contra arco voltaico e conseqüências

Desta forma, por meio de uma análise de riscos de arco elétrico, é possível que se obtenha uma redução dos requisitos para EPI, oferecendo muito mais conforto ao operador.

Além disso, considerando o tempo de reposição de um painel de média tensão após sua destruição ou a perda irreparável de uma vida humana, a instalação de detectores de arco torna-se de caráter obrigatório em uma subestação de energia, assim como os cintos de segurança são indispensáveis nos automóveis.

2. Filosofia de Proteção contra Arco Voltaico

Um sistema de proteção contra arco voltaico deve ser extremamente rápido e ao mesmo tempo ser seguro e confiável. Isto significa que o sistema deve atuar em altíssima velocidade na detecção do arco no interior do cubículo e comandar a abertura do disjuntor para a extinção deste fenômeno. Contudo, o sistema de proteção não deverá, sob hipótese alguma, atuar caso não exista um arco voltaico interno ao painel.

Para tanto, a melhor solução é a filosofia que combina a detecção de luz no interior do cubículo (que indica a formação do arco voltaico), com a percepção de significativos aumentos dos valores normais de corrente de carga (que confirma a presença de curto-circuito entre partes vivas no interior do cubículo).

O sistema aqui proposto é composto por unidades sensoras de luz que são dispostas em pontos estratégicos dos cubículos ou painéis de média ou baixa tensão e interligadas por fibras óticas a uma unidade central. Por razões de confiabilidade, recomenda-se que esta seja o próprio relé de proteção principal do circuito, eliminando a necessidade de mais componentes no interior desses locais melhorando a confiabilidade do sistema.

Esta filosofia proporciona vantagens adicionais em utilizar o mesmo equipamento como relé de proteção e detector de arco conforme abaixo:

- Desnecessária a instalação de transformador de corrente (TC's) adicional ou ligações em série de circuitos de correntes para alimentar as entradas do equipamento detector de arco;



- Análise do evento e correta atuação do equipamento detector de arco com a utilização de oscilografias compostas pelos sinais de detecção da intensidade da luz, sinais de pick-up do detector de arco e valores de corrente presentes durante evento;
- Registrador Seqüencial de Eventos (SER), mas conhecido como SOE, Seqüencial de Eventos, incluindo a atuação do elemento de detecção de arco.
- Interface Ethernet para comunicação com a rede de Supervisão e Controle, permitindo a visualização de informações oriundas do detector de arco (alarme, trip, etc), assim como a atuação de outra função de proteção relacionada ao relé;
- Possibilidade de envio de mensagens de trip/alarme com a utilização mensagens GOOSE (IEC-61850) para os demais equipamentos interligados ao sistema/rede ethernet;
- Utilização de software único para configuração de detector de arco + rele de proteção;
- Utilização de software único para parametrização, coleta de eventos, data logs e alteração ou modificação de ajustes e parâmetros de forma local e remota;
- Autodiagnóstico (watchdog).
- Redução de peças sobressalentes e redução com tempo de treinamento de equipamentos, uma vez que o relé principal fará a todas as funções;

Portanto, esta solução apresenta alta confiabilidade, pois possui menor quantidade de componentes no cubículo, utilizando em cada um deles 3 ou 4 sensores ligados por fibra ótica ao próprio relé de proteção principal como unidade "mestre". Possui maior integrabilidade com o sistema de supervisão e controle, possibilita ajustes e configurações remotas e possui alta velocidade (± 2 ms), excelente segurança contra falsos disparos (não basta apenas a presença de luz, mas deve haver luz e corrente), e ainda proporciona redução de custos.

A tabela 02 apresenta um sumário com as principais características deste conceito de proteção contra arco voltaico:

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA ARCO VOLTAICO PROPOSTO
Elimina TC's adicionais no painel
Oscilografia e SOE com informações sobre intensidade luminosa, medição de corrente, pickup's de corrente e trip
Integração com demais IED's
Troca de mensagens GOOSE
Software único
Acesso remoto
Um único equipamento para detecção de arco e proteção
Tempo de atuação de ± 2 ms
Seguro: luz + corrente para assegurar a atuação
Autodiagnóstico do sistema ótico, podendo gerar alarmes

Tab. 02 – Principais características do sistema de detecção de arco proposto

3. Os Componentes da Proteção contra Arco Voltaico:

O sistema de proteção contra arco voltaico é ilustrado na figura 01 contendo a unidade mestre (relé de proteção principal), sensores de luz pontual e sensores de luz regional.

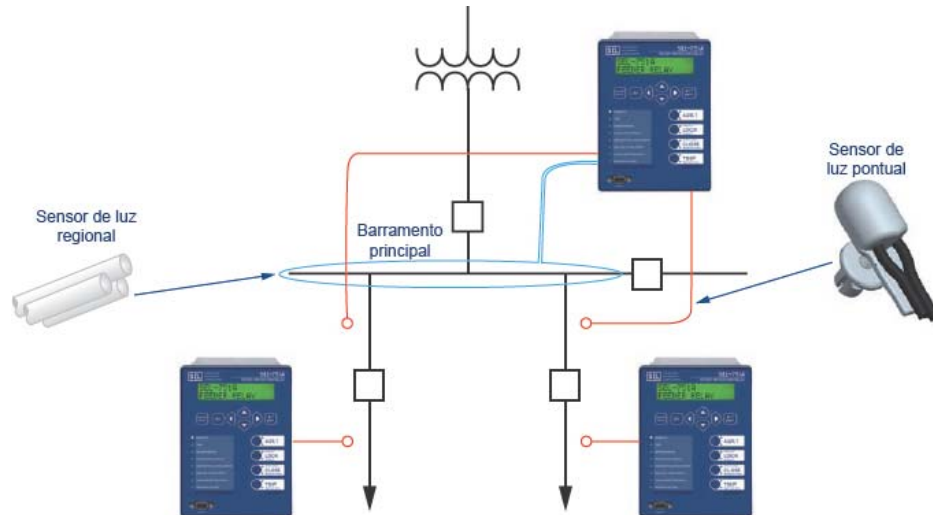


Fig. 01 – Relé de proteção com sensores de luz pontuais e regionais

Os sensores de luz podem ser divididos em dois tipos distintos: sensores pontuais e sensores regionais.

Os sensores pontuais de luz são recomendados para a detecção localizada em pontos de maior possibilidade de ocorrência de arco voltaico, como partes móveis do painel (exemplo: inserção/extração de disjuntor) e os sensores regionais são recomendados para abranger maior área sendo comumente aplicados no compartimento do barramento principal do painel.

Um típico relé de proteção de entradas de painéis ou alimentadores pode receber até 4 sensores.

3.1) Os Sensores pontuais de Luz:

Com a criação do arco, surge luz que é capturada pelas lentes óticas dos sensores pontuais localizados adequadamente no painel e transmitida ao longo de um cabo de fibra ótica plástica de diâmetro de 1000 μm até o detector ótico que fica instalado internamente ao relé de proteção.

Normalmente estes sensores são instalados em pontos de conexão dentro de cada cubículo, como por exemplo, dos compartimentos de inserção do disjuntor, de conexão de cabos e o de conexão de gavetas de TP's.

Possuem fácil fixação no painel, não possuem componentes eletrônicos e são de fácil substituição após ocorrência de um arco voltaico.



Fig. 02 – Sensor pontual de luz

3.2) Sensores regionais de luz :

Uma segunda opção para a detecção do arco voltaico utiliza uma fibra de plástico com diâmetro de 1000 µm descoberta que capta a luz emitida durante o arco.

Estes sensores regionais baseados em fibra ótica abrangem uma área maior do painel e podem ser instalados, por exemplo, ao longo de todo o trecho do barramento principal de um painel.

3.3) O Relé de Proteção SEL 751A :

O relé de proteção SEL-751A é um equipamento multifuncional aplicado em alimentadores de média e baixa tensão

Além da função de detecção de arco voltaico, o relé SEL-751A também possui diversas funções como:

3.3.1. Funções de Proteção

- 50PAF – Sobrecorrente de fase instantânea de alta velocidade do detector de arco
- 50NAF - Sobrecorrente de neutro instantânea de alta velocidade do detector de arco
- 50/51 - Sobrecorrente de fase instantânea e temporizada;
- 50/51G - Sobrecorrente residual instantânea e temporizada;
- 50/51N (ou GS) – Sobrecorrente instantânea e temporizada de neutro ou terra;
- 50/51Q (46) - Sobrecorrente instantânea e temporizada de seqüência negativa;
- 49 – Elemento térmico
- 81 – Sub / Sobrefreqüência e taxa de variação de freqüência;
- 27/59 - Subtensão e sobretensão fase-neutro ou entre fases;
- 55 – Fator de potência;
- 60 - Perda de potencial;
- 59Q (47) – Sobretensão de seqüência negativa (fase reversa);

- 59N – Sobretensão de seqüência zero, quando utilizados 3 TP a quatro fios.
- 86 - Bloqueio
- 50/62BF – Falha de disjuntor;
- 79 – Religamento Automático (4 tentativas);
- 25 - Check de Sincronismo.

3.3.2. Funções de Medição

- Correntes, tensões, potência aparente ativa e reativa trifásica, fator de potência trifásico, energia ativa e reativa trifásica, demanda, frequência e temperatura via RTD's

3.3.3. Funções de Monitoramento

- Seqüência de eventos com armazenamento dos últimos 1024 eventos e relatório de curva de Carga (load-profile)
- Mensagens nos LEDs e Displays frontais do evento ocorrido, inclusive rompimento dos circuitos óticos.
- Oscilografia com verificação gráfica da intensidade da luz, corrente e atuação do pickup dos elementos de detecção de arco

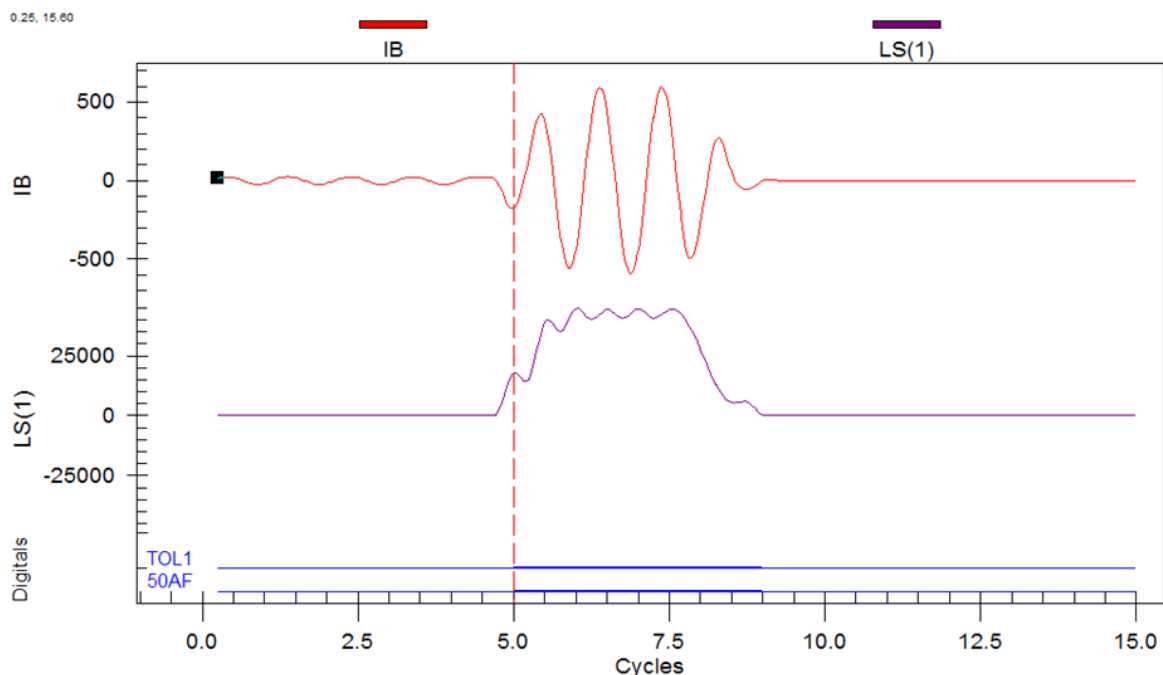


Fig. 03 – Exemplo de oscilografia do relé de proteção com detecção de arco voltaico

Onde:

- Linha vermelha representa a sobrecorrente no canal da fase B do relé (IB);



- Linha roxa representa a variação da intensidade da corrente no Sensor Ótico 1 do relé LS(1);
- A linha vermelha tracejada representa o exato momento onde o elemento de sobrecorrente de alta velocidade 50AF foi acionado;
- A variação da linha azul TOL1 apresenta o momento em que o nível de iluminação atingiu o ajuste prévio;
- O tempo para eliminação da falta é dependente da velocidade de atuação do disjuntor.

3.3.4. Funções de Controle

- Possibilidade de até 21 I/Os, quando equipado com AFD (detecção de arco voltaico), através da inserção de placas, podendo chegar a 37 I/Os quando equipado com módulo adicional.
- Facilidades para realização de testes no sistema através de equações lógicas e pushbuttons existentes no relé, com a possibilidade de criação de lógicas de testes que incluem o bloqueio intencional do detector de arco por solicitação do operador;
- Lógicas para envio do sinal de trip ao disjuntor mais próximo/associado ao arco que foi detectado, uma vez que o relé possui 04 entradas distintas de sensores que podem estar instaladas em diferentes pontos de um cubículo, ou mesmo em cubículos adjacentes, como por exemplo, em 04 compartimentos de saídas de cabos sendo monitorados por apenas um relé SEL-751A. O relé irá provocar a abertura do disjuntor no qual o sensor de arco foi sensibilizado;
- Inserção da ordem de trip pelo detector de arco no esquema de falha do disjuntor;
- Inibir fechamento do disjuntor até que os sensores de luz mantenham a condição operacional normal, ou seja, com intensidade de luz insuficiente para acionar o circuito de trip por detecção de arco;

3.3.5. Integração

- 1 porta serial EIA-232 frontal; 1 porta serial EIA-232 ou EIA-485 traseira; 1 porta de fibra óptica serial; 1 ou 2 portas Ethernet (RJ-45 ou FO); 1 placa com porta serial EIA-485 ou EIA-232 traseira; 1 placa para comunicação DeviceNet
- Protocolos: ASCII, Modbus® RTU, Modbus® TCP, DeviceNet, IEC 61850 e Mirrored Bits.
- Facilidade de transitar as informações oriundas do detector de arco (alarme, trip, etc) em uma rede de comunicação, considerando que o relé já faz parte de um sistema supervisorio;
- Possibilidade de envio de mensagens de trip/alarme com a utilização mensagens GOOSE (IEC-61850) para os demais equipamentos da rede ethernet;
- Monitoramento em tempo integral dos circuitos sensores de luminosidade, podendo alarmar ao sistema supervisorio um possível rompimento destes circuitos e facilitando a vida da equipe de manutenção;

- Utilização de software único para parametrização local e remota;
- Acesso local e remoto de engenharia para coleta de eventos, data logs e alteração ou modificação de ajustes e parâmetros.

4. Princípio de Funcionamento do Sistema de Proteção contra Arco Voltaico

4.1) Introdução:

O princípio de funcionamento do sistema de proteção contra arco voltaico associa a variação da intensidade da iluminação, captada por até 04 sensores óticos independentes, com a elevação das correntes medidas pelo relé de proteção a valores que ultrapassam os previamente ajustados para correntes de fase e neutro.

Para alcançar tempos de atuação de trip mais velozes são utilizados elementos de sobrecorrente de alta velocidade (50PAF e 50NAF), separados das funções contra curto-circuito.

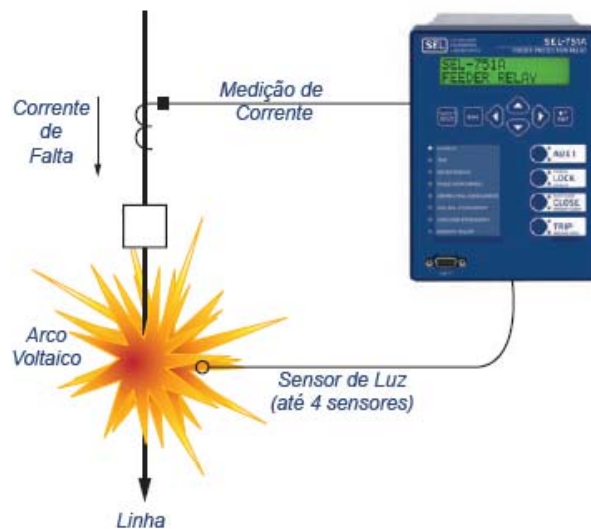


Fig. 04 – Princípio de funcionamento de detecção de arco voltaico

A partir deste ponto, o usuário irá definir através da programação do relé de proteção quais ações serão tomadas a partir da detecção de um arco voltaico, como exemplo, acionar o disjuntor, enviar alarmes remotos, etc, visando a extinção mais rápida do arco voltaico

Pode-se, também, por meio da comunicação digital entre relés ou envio de uma mensagem IEC-61850 GOOSE, fazer a coordenação com o relé de entrada do painel caso o sinal permaneça ativo por um tempo previamente determinado.

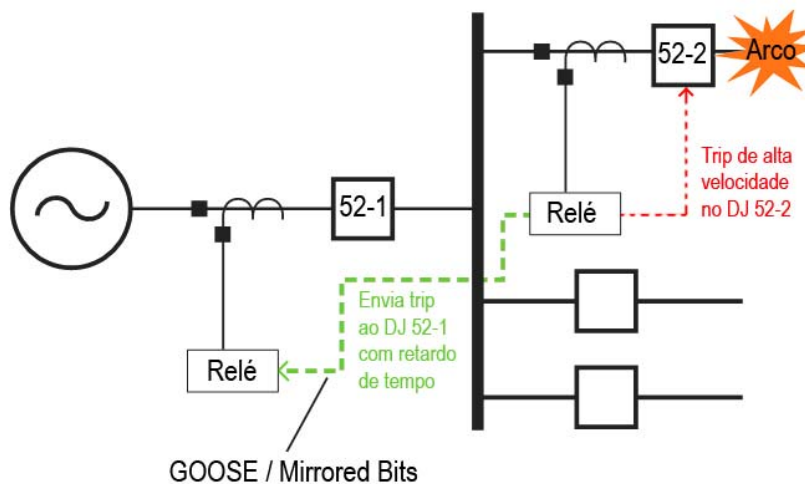


Fig. 05 – Uso de comunicação digital relé-a-relé para coordenação da proteção

4.1) Autodiagnose:

Uma técnica de “loop ótico” realiza a função de autodiagnose do sistema de detecção de arco. Um LED transmissor no relé de proteção emite impulsos luminosos em um intervalo regular e monitora por um detector ótico o retorno desses impulsos, refletidos na lente dos sensores de luz. A verificação deste loop ótico permite ao relé enviar alarmes caso o circuito seja rompido, via comunicação serial, ethernet, contato ou display.

A Figura 6 mostra um diagrama que ilustra a composição deste loop ótico.

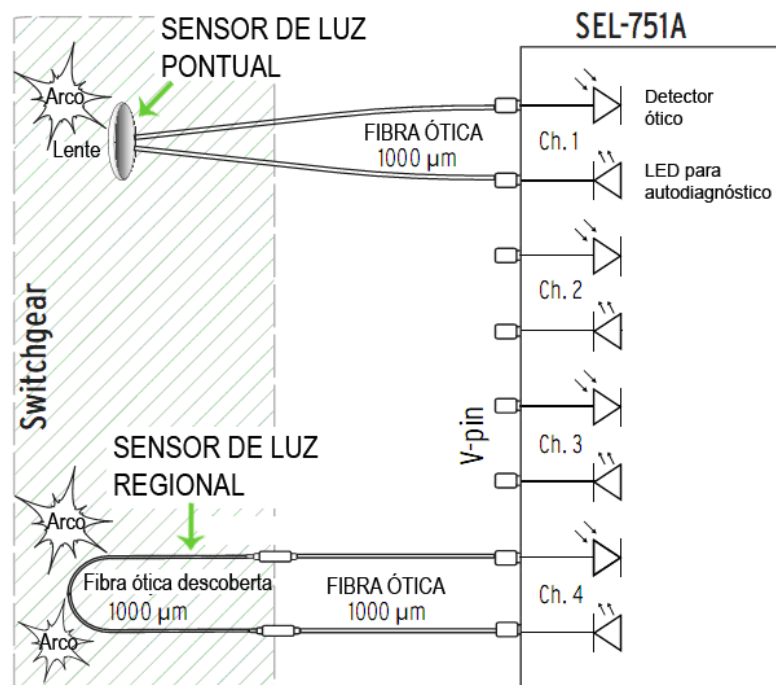


Figura 06 – Esquema de autodiagnóstico do sistema de detecção de arco com sensor pontual e regional



5. Benefícios com a Aplicação da Proteção contra Arco Voltaico Integrada aos Relés Principais :

Além do benefício principal, que é a proteção contra arco voltaico, o sistema aqui proposto apresenta outros benefícios adicionais, que são os seguintes:

5.1) Custos Indiretos:

- a. **Para instalação em Painéis existentes:** Neste caso, recomenda-se aproveitar e efetuar retrofit da proteção principal para obter demais benefícios com um relé de proteção de última geração (oscilografia, sequência de eventos, integração em rede, etc).
- b. **Retrofit de painéis ou modernização de subestações industriais:** Pode-se trocar todo o sistema de proteção convencional, e incluir o sistema de detecção de arco neste conceito como um todo.
- c. **Novos painéis:** O próprio relé de proteção principal já pode ser definido como unidade "mestre" para a detecção de arco voltaico.

5.2) Confiabilidade:

- a. Utilização de apenas 01 equipamento para proteção e detecção de arco voltaico, reduzindo os componentes do cubículo.
- b. Os componentes do sistema de proteção de arco apresentam baixas taxas de falhas de forma individual e aliado a este fato, o sistema como um todo garante a operação somente se houverem combinação de intensidade luminosa e corrente. Portanto, caso haja apenas presença de luz no interior do cubículo ou apenas presença de corrente de falta no circuito, o sistema de proteção de arco voltaico não deverá atuar.
- c. O relé de proteção principal apresenta MTBF médio de 300 anos, o que significa que a cada 300 unidades, num período de 12 meses, apenas 1 poderá apresentar defeito.
- d. Recursos de autodiagnóstico do relé de proteção e do loop ótico do sistema de detecção de arco, proporcionando alarmes na ocorrência de problemas nas fibras/sensores.
- e. Garantia de dez anos

5.3) Otimização de equipamentos:

- a. Desnecessário a instalação de transformador de corrente adicional (TC) ou ligações em série de circuitos de correntes para alimentar as entradas de equipamento adicional, caso o detector de arco seja instalado fora do relé de proteção;

5.4) Otimização de softwares :

- a. Utilização de software único para configuração de detector de arco e do relé de proteção. Facilidade para a equipe de manutenção que habitualmente parametriza os relés de proteção microprocessados como o SEL-751A.

5.5) Otimização de Itens sobressalentes:



- a. Redução dos itens sobressalentes, que neste caso será somente o relé principal.

6. Conclusões

O sistema de proteção contra arco voltaico já é consagrado pelas indústrias de grande porte como o mais eficiente sistema de proteção para a segurança pessoal, aparelhagem e equipamentos. Foi apresentado a filosofia de um sistema de detecção de arco voltaico extremamente rápido (detecção em cerca de ± 2 ms) com possibilidade de integração em rede de alta confiabilidade e que otimiza recursos em painéis.

7. Bibliografia

- Manual do relé SEL-751A, versão 20090109, propriedade Schweizer Engineering Laboratories, Comercial LTDA;
- Mark Zeller and Gary Scheer, "Add Trip Security to Arc-Flash Detection for Safety and Reliability", September/08
- G. Benmouyal and S. E. Zocholl, "The Impact of High Fault Current and CT Rating Limits on Overcurrent Protection," proceedings of the 29th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2002.