

Monitoramento de Cubículos De Média Tensão Utilizando Relés de Proteção

Paulo Lima e Nivaldo Silva, *Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Resumo—Os relés de proteção com tecnologia digital ou dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs), possuem uma grande quantidade de recursos que, se bem utilizados, podem fornecer informações valiosas para as equipes responsáveis pela manutenção de cubículos de média tensão.

Este trabalho inicia apresentando as principais características e componentes dos cubículos de média tensão, assim como os principais pontos de falha que requerem monitoramento. Em seguida, são apresentados os recursos e funções disponíveis nos modernos relés de proteção que permite um monitoramento contínuo e de baixo custo.

Também é apresentada uma solução para detecção de arco elétrico incorporada no relé de proteção que permite redução dos níveis de energia incidente de maneira rápida e segura. Isto aumenta segurança pessoal nas instalações elétricas e reduz os danos materiais causados por estes eventos.

A utilização dos recursos apresentados neste trabalho permite reduzir os custos com manutenção através da detecção prematura de falhas e a utilização dos recursos materiais e pessoais de forma mais inteligente e assertiva, além de reduzir os riscos nas instalações elétricas.

Palavras chaves—cubículos de média tensão, monitoramento, manutenção, relés de proteção.

I. INTRODUÇÃO

Os cubículos de média tensão são componentes essenciais e representam boa parcela dos ativos do sistema elétrico em uma planta industrial. A confiabilidade destes equipamentos está estreitamente relacionada com a confiabilidade do próprio processo industrial. Falhas nos componentes internos de um cubículo de média tensão muitas vezes estão relacionadas com altos níveis de energia, que podem causar danos não só em outras instalações, mas também apresentam um alto risco para segurança pessoal. Desta maneira, o monitoramento e identificação preventiva de defeitos nos cubículos de média tensão e seus componentes é de alta importância para a desejada continuidade de serviço, bem como, para a segurança operacional.

Relés com tecnologia digital têm sido amplamente utilizados em novas instalações industriais e são a escolha natural para aplicações de retrofit de relés eletromecânicos ou analógicos. Além de realizarem as funções de proteção, os relés digitais possuem diversos outros recursos de monitoramento incorporados que permitem um diagnóstico avançado dos pontos de falha dos equipamentos do sistema elétrico.

Por meio de protocolos de comunicação, pode-se disponibilizar os alarmes gerados pelas funções de monitoramento para um sistema de supervisão e controle dedicado ou para o sistema de supervisão e controle existente. Dependendo da severidade da falha detectada, além dos

alarmes, pode-se bloquear a operação do cubículo promovendo o comando de abertura do disjuntor.

Visto que os recursos de monitoramento já estão disponíveis na maioria dos modernos relés de proteção, a implementação de um avançado sistema de monitoramento representa um baixo custo, permitindo a detecção prematura de falhas e evitando a manutenção corretiva. Assim, garante-se maior confiabilidade para o processo industrial e maior segurança para os profissionais de operação e manutenção.

II. CARACTERÍSTICAS, COMPONENTES E PONTOS DE MONITORAMENTO EM CUBÍCULOS DE MÉDIA TENSÃO

Regidos pela NBRIEC62271-200, desde 2007 os cubículos de média tensão estão classificados pela continuidade de serviço desejada para o projeto (LSC- Loss of Service Continuity), periodicidade de manutenção exigida pela aplicação e suportabilidade ao arco interno (IAC- Internal Arc Cubicle). Assim, os seus compartimentos passaram a ser classificados quanto a acessibilidade oferecida, ou seja, compartimento acessível ao operador, compartimento de acesso especial ou compartimento não acessível.

Dentre as classificações recomendadas pela NBRIEC62271-200 encontramos as combinações abaixo:

- LSC1-PM, LSC1-PI, LSC1-PM IAC
- LSC2A-PM, LSC2A-PI, LSC2A-PM IAC
- LSC2B-PM, LSC2B-PI, LSC2B-PM IAC
- Outras designações

O acesso ao compartimento de um cubículo de média tensão se deve à intenção de promover a investigação de um possível ponto de falha, tal operação aumenta significativamente a exposição do operador a uma situação de risco, visto a retirada da barreira mecânica oferecida pelo invólucro do cubículo. Esta situação pode ser mitigada com a utilização das funções de monitoramento oferecidas pelos relés de proteção.

Para um melhor entendimento na Fig. 1 detalharemos as compartimentações de um cubículo LSC2B-PM-IAC-AFLR.

Estes cubículos são compostos por quatro compartimentos independentes que juntos compõem uma unidade funcional. Na classificação (LSC2B-PM – conforme NBRIEC 62271-200) toda a separação entre estes compartimentos é constituída de barreiras metálicas e aterradas.

Da mesma forma, a fim de garantir a melhor segurança de operação, as guilhotinas móveis entre compartimentos também são assim constituídas.

A seguir, serão descritas as principais características de cada um dos compartimentos mostrados na Fig. 1.

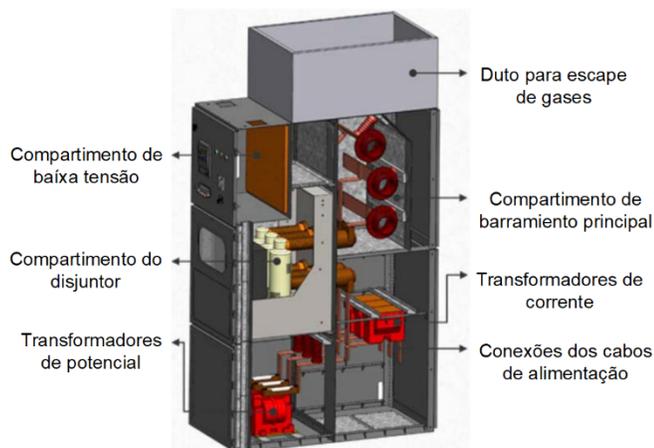


Fig. 1. Ilustração de cubículo LSC2B-PM-IAC-AFLR.

A. Compartimento de Barramento Principal

Normalmente disposto na parte traseira superior do cubículo este compartimento possui acesso restrito. Segundo as premissas de projeto pode ser segregado, sendo equipado com tampas de despressurização para alívio de uma eventual sobre pressão interna, característica de uma corrente de defeito.

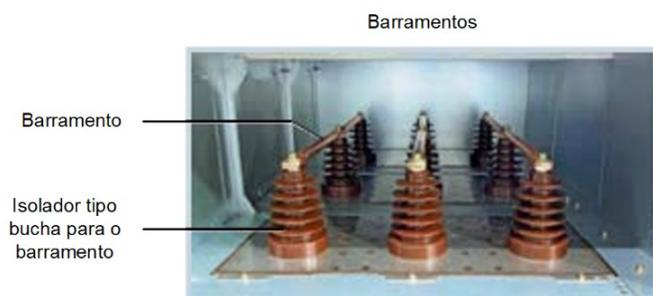


Fig. 2. Barramento principal.

Abriga o barramento principal do conjunto que é devidamente dimensionado para suportar, sem nenhum dano, os esforços térmicos e dinâmicos das correntes de curto circuito e/ou arco interno.

A incidência de falhas neste compartimento está associada ao arco elétrico, cuja a origem está na falta ou perda de torque nas conexões, corpos estranhos ao projeto do cubículo, ou sobretensões.

B. Compartimento do Aparelho de Manobra (Disjuntor ou Contator)

Normalmente situado ao centro do cubículo (LSC2B-PM – conforme NBRIEC 62271-200), este compartimento visa proporcionar uma melhor ergonomia para o operador quando do manuseio do equipamento de manobra no ato de inserção ou extração, sempre executado com ferramenta própria e porta fechada. Alguns projetos oferecem este ato de forma motorizada.

Dentre suas características está a acessibilidade pela parte frontal do cubículo através de uma porta bloqueada para não permitir sua abertura com o equipamento de manobra fora da posição “extraído”. Ainda é equipado com guilhotinas metálicas e aterradas, cuja função é garantir o não toque acidental com partes energizadas dos compartimentos de barras

e de cabos quando o equipamento de manobra estiver removido. O acionamento desta guilhotina é automático através do movimento de inserção, teste e extração.



Fig. 3. Guilhotinas fechadas em um cubículo LSC2B-PM e detalhe o Disjuntor.

Assim como o compartimento de barramento, o compartimento do aparelho de manobra é equipado com tampas de despressurização para alívio de sobre pressão interna. A incidência de falha neste compartimento também está associada a falta ou perda de torque nas conexões, no caso, junto ao equipamento de manobra, além de corpos estranhos ao projeto do cubículo e sobretensões.

Um ponto de atenção e supervisão recomendada é o contato móvel promovido pelas pinças ou tulipas. Por uma característica mecânica, estes elementos perdem pressão de contato ao longo do tempo, aumentando o valor de sua resistência. Um fator de início de defeito é o aumento de temperatura nesta região.

C. Compartimento de Baixa Tensão

O compartimento de baixa tensão está localizado na parte frontal superior do cubículo e se integra ao volume geral do mesmo. Nele estão instalados todos os equipamentos necessários ao comando e controle, disjuntores para circuitos auxiliares e de medição, régua de bornes, tomadas, conjunto de iluminação e termostato.

Em sua porta podemos encontrar medidores, sinalizadores, chaves seletoras, blocos terminais de teste e o relé de proteção. Seu acesso é feito com a simples abertura da porta frontal, mesmo com os cabos e o jogo de barras energizados.

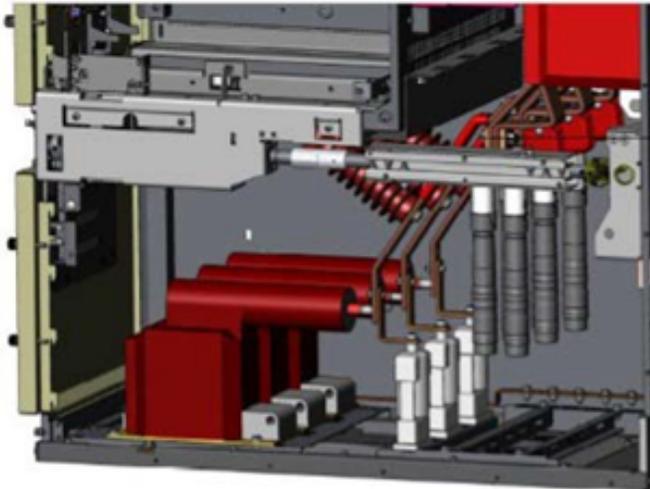
D. Compartimento de Cabos

Segundo o projeto, este compartimento contém as barras para conexão dos cabos, chave de aterramento, os transformadores de corrente, os transformadores de potencial e para raios. Seu acesso geralmente é pelas partes frontal inferior e traseira.

Assim, como o compartimento de barramento e o do equipamento de manobra, é equipado com tampas de depressurização para alívio de sobre pressão interna.

Nos projetos onde a utilização de transformadores de potencial se faz necessário, podemos encontrar para a proteção do primário destes equipamentos a utilização de fusíveis “padrão DIN” e para o secundário, instalados no compartimento de baixa tensão, mini disjuntores termomagnéticos.

Um ponto de atenção deste circuito é a falta de tensão de medição para o IED pela abertura do mini disjuntor ou dos fusíveis primários, podendo levar funções de proteção que dependem da tensão a atuarem de maneira indevida. No item 3 será apresentado um método de detecção de perda de potencial por estes motivos.



Transformador de corrente

Transformador de tensão

Fig. 4. Compartimento de cabos e detalhe dos TCs e TPs.

Não diferente dos demais compartimentos, a incidência de falha neste compartimento também está associada a falta ou perda de torque nas conexões, corpos estranhos ao projeto do cubículo e sobretensões

III. RECURSOS EM RELÉS DE PROTEÇÃO PARA MONITORAMENTO DE CUBÍCULOS

A seguir serão descritas as principais funções de monitoramento disponíveis nos relés digitais modernos e como estas funções podem ser utilizadas para aprimorar a detecção de falhas e manutenção dos de cada componente do cubículo apresentado anteriormente.

A. Monitoramento do Disjuntor

As funções de monitoramento de disjuntor auxiliam no agendamento das manutenções do disjuntor, assim como na detecção de falhas que poderiam levar a uma má operação deste dispositivo. A seguir descreve-se as principais funções disponíveis.

1) Monitoramento do Desgaste dos Contatos e Contador de Operações

O monitoramento de desgaste é baseado nas informações de manutenção disponibilizadas pelo fabricante do disjuntor. Estas informações listam o número de operações de abertura/fechamento que são permitidas com um determinado nível de corrente interrompida. A Fig. 5 mostra um exemplo de curva de desgaste dos contatos do disjuntor.

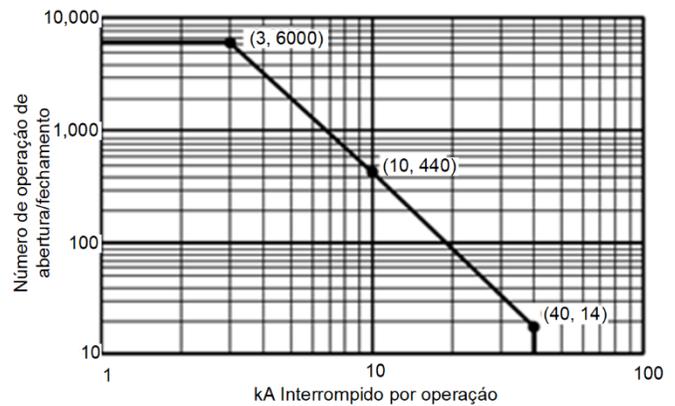


Fig. 5. Curva de desgaste dos contatos do Disjuntor.

A Fig. 6 mostra um exemplo de relatório de desgaste dos contatos do disjuntor com a soma da corrente interrompida e desgaste acumulado. Pode-se programar um alarme para um determinado nível de desgaste.

```

=>BRE <Enter>
SEL-751                               Date: 12/04/2010  Time: 14:26:57
FEEDER RELAY                           Time Source: External

Trip Counters

Rly Trips (counts)      32
Ext Trips (counts)      0

Cumulative Interrupted Currents

Rly Trips (kA)  IA  IB  IC
Ext Trips (kA)  0.0 0.0 0.0

Breaker Contact Wear

Wear (%)  A  B  C
          48 37 36

LAST RESET  11/25/2010 11:16:21
=>

```

Fig. 6. Relatório de Desgaste dos Contatos do Disjuntor.

2) *Monitoramento das Bobinas de Abertura e Fechamento*

Uma falha na bobina de abertura do disjuntor leva o equipamento a deixar de operar em um momento crítico. A Fig. 7 mostra um esquema simples para monitoramento da bobina de abertura do disjuntor.

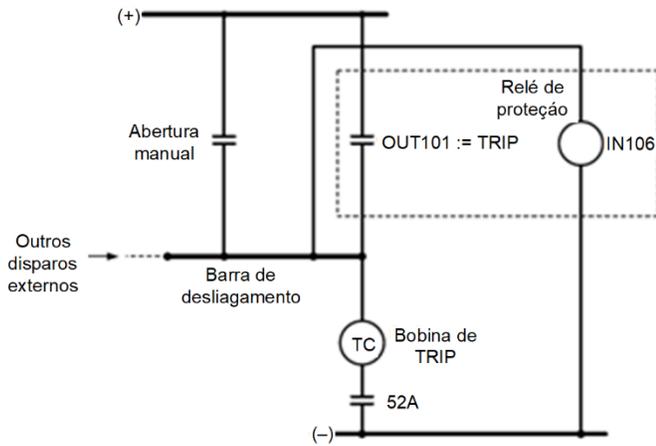


Fig. 7. Esquema para monitoramento de Bobina de Abertura.

Quando o disjuntor está fechado (52A=1) e não há defeito na bobina de abertura, a entrada digital IN106 possui valor lógico 0, uma vez que esta estará curto-circuitada. No caso de falha na bobina de abertura, toda diferença de potencial Vcc ficará sob o contato IN106, que assume valor lógico 1. Uma associação do contato do 52A do disjuntor com a entrada IN106 detecta condição de falha na bobina de abertura (52A AND IN101 = 1).

O mesmo esquema e filosofia pode ser adotado no monitoramento da bobina de fechamento.

3) *Tempo de Abertura e Fechamento Mecânico e Elétrico*

Através do monitoramento do contato auxiliar normalmente aberto do disjuntor (52A) pode-se medir o tempo de abertura e fechamento mecânico. A contagem de tempo é iniciada com os comandos de TRIP ou fechamento e finalizado com a mudança de estado do contato 52A, conforme mostrado na Fig. 8.

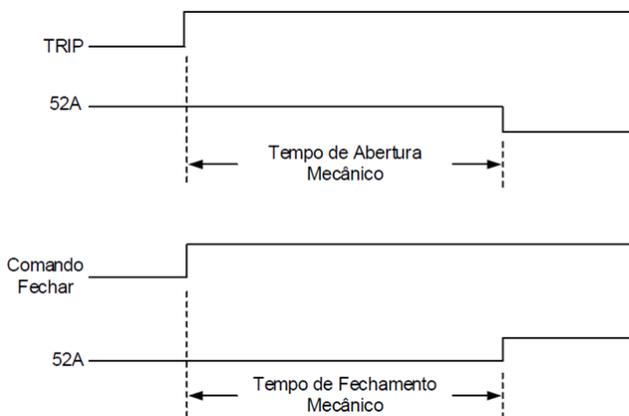


Fig. 8. Esquema para monitoramento de Bobina de Abertura.

Para monitoramento do tempo de abertura e fechamento elétrico, deve-se utilizar um sensor de corrente ao invés do contato auxiliar do disjuntor. Os tempos de abertura elétrico e mecânico também podem ser observados na oscilografia.

B. *Monitoramento da Tensão Auxiliar do Banco de Baterias*

A conexão da tensão Vcc do serviço auxiliar no IED permite implementar um monitoramento contínuo desta grandeza e programar alarmes de subtensão e sobretensão. A Fig. 9 mostra um exemplo de implementação das funções de subtensão e sobretensão.

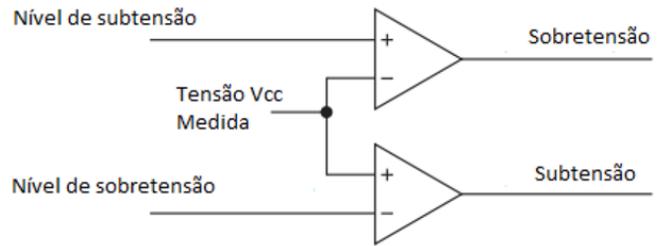


Fig. 9. Função de sub/sobretensão Vcc.

Muitas vezes o banco de baterias está apresentando tensões dentro do padrão durante operação com baixa carga, porém, quando é requisitada uma alta carga, ocorre um afundamento da tensão. Estas altas cargas normalmente estão relacionadas com eventos de abertura e fechamento, onde é requisitada uma alta potência pelas bobinas de abertura ou fechamento do disjuntor. Assim, faz-se necessário o monitoramento durante estes eventos também.

Para isso, pode-se programar a detecção de subtensão não só para gerar alarmes, mas também para ocasionar um disparo de registro de oscilografia pelo IED, permitindo assim uma análise mais detalhada do perfil da tensão durante as manobras. A Fig. 10 mostra um caso real, onde há atuação da proteção para disparo de abertura do disjuntor.

Pode-se observar que antes da atuação para abertura do disjuntor a tensão Vcc estava saldável, próxima ao valor nominal de 110 Vcc. Porém, durante o acionamento da bobina, a tensão vai abaixo de 70 Vcc. Um afundamento desta magnitude poderia levar relés auxiliares e o próprio disjuntor a ficarem inoperantes e causar falha de abertura.

Este afundamento na tensão auxiliar Vcc pode levar outros equipamentos com retenção magnética, e que estejam conectados ao mesmo sistema de serviço auxiliar, a abrir intempestivamente. Por exemplo, abertura de contatores de média tensão.

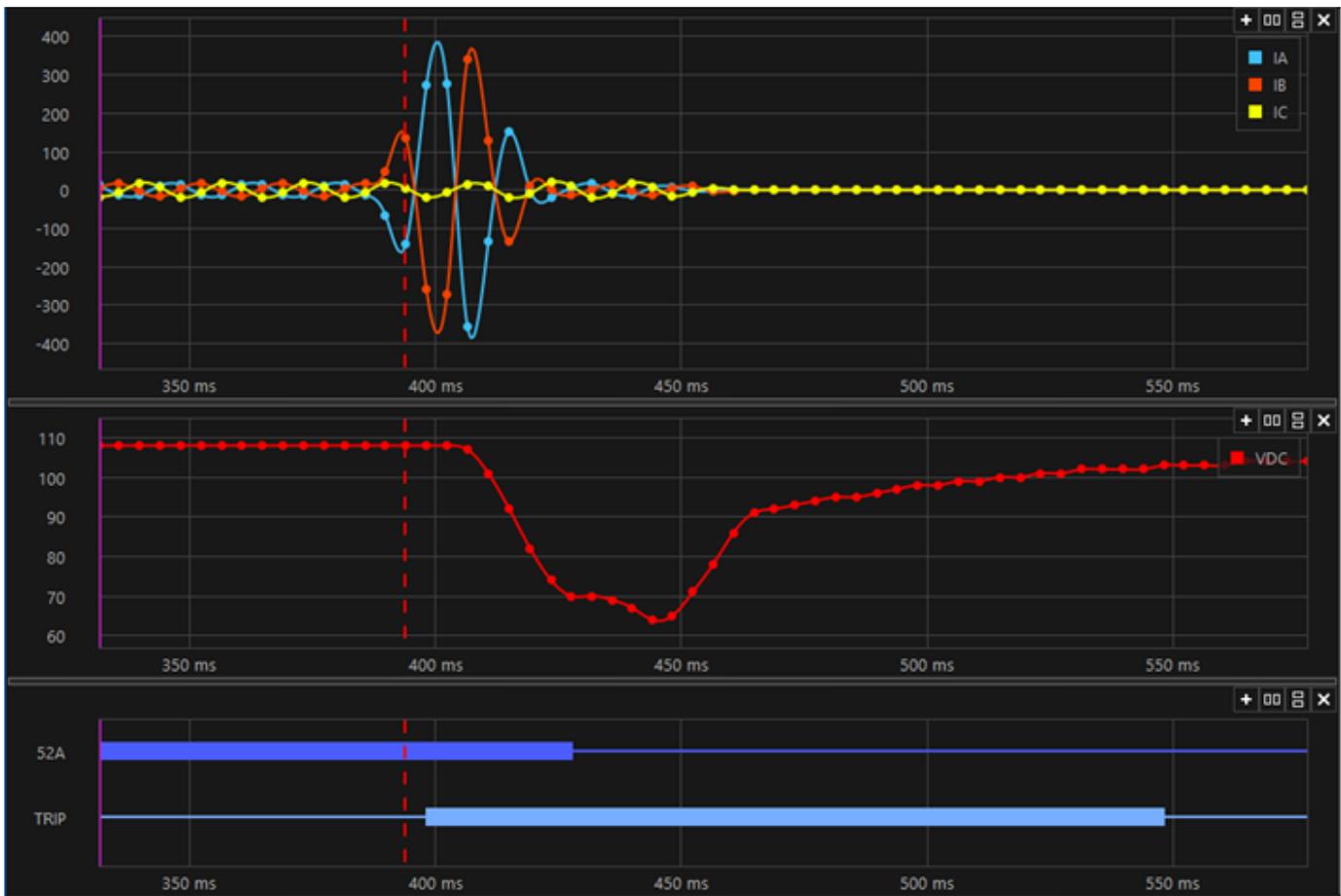


Fig. 10. Registro da tensão Vcc durante comando de abertura do Disjuntor.

C. Monitoramento do Transformador de Potencial e Transformador de Corrente

1) Monitoramento de Perda de Potencial

As medições de tensão que são disponibilizadas aos relés de proteção podem ser interrompidas por rompimento do elo fusível ou por operação dos mini disjuntores instalados no secundário destes dispositivos.

Como as medições de tensão são essenciais para algumas funções de proteção, como subtensão e direcional, a detenção da perda de potencial é necessária para supervisionar estas funções.

Os relés de proteção modernos incorporam funções de detecção de perda de potencial (LOP) automaticamente, sem necessidade de qualquer parametrização ou informação adicional. Os relés diferenciam esta condição de uma condição de falta através da comparação da variação das grandezas de tensão e corrente.

A Fig. 11 mostra a lógica de detecção de perda de potencial implementada em um relé digital. Se há uma variação no módulo da tensão de sequência positiva V1 e não há uma correspondente variação no módulo ou ângulo das correntes de sequência positiva I1, corrente de sequência negativa I2 ou

corrente de sequência zero I0, é declarada uma condição de perda de potencial (LOP=1).

A variável LOP é então utilizada para supervisionar as funções de proteção que dependem da medição de tensão e também pode ser utilizada para gerar um alarme para as equipes de manutenção e operação

1) Inversão de Ligação de TPs

Uma inversão de fases na ligação dos TPs pode ser identificada através das medições de tensão de sequência negativa V2. Espera-se que esta grandeza esteja próxima de zero ou seja significativamente menor que a tensão de sequência positiva V1. Uma maneira simples de detectar a presença de ligação invertida nos circuitos de tensão é avaliar a relação V1/V2.

2) Inversão de Ligação de TCs

Uma inversão de fases na ligação dos TCs pode ser identificada através das medições de corrente de sequência negativa I2. Espera-se que esta grandeza esteja próxima de zero ou seja significativamente menor que a corrente de sequência positiva I1. Uma maneira simples de detectar a presença de ligação invertida nos circuitos de corrente é avaliar a relação I1/I2.

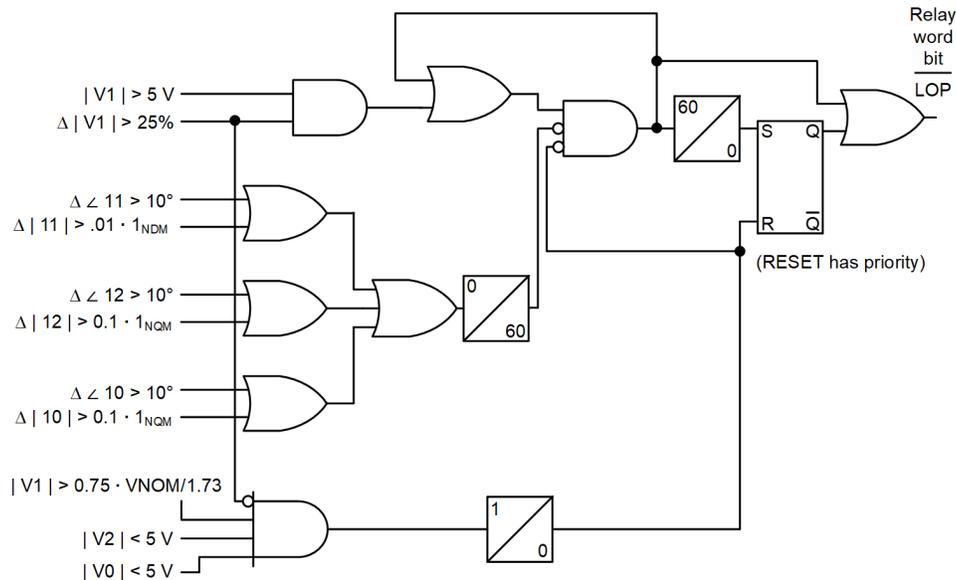


Fig. 11. Lógica de detecção de perda de potencial.

3) Monitoramento de Temperatura

Os relés de proteção com tecnologia digital podem incorporar a medição de temperatura através de sensores RTD. Em um relé de média tensão, pode-se conectar diversos sensores diretamente no IED ou ainda utilizar um módulo externo para aquisição das temperaturas.

Múltiplos sensores RTD podem ser alocados nos diferentes compartimentos do cubículo. No exemplo mostrado na Fig. 1, poderiam ser alocados um ou mais sensores de temperatura em cada compartimento do cubículo – compartimento de barramento principal, compartimento de transformadores de corrente, compartimento de transformadores de potencial e compartimento do disjuntor.

O objetivo aqui não é fazer uma medição direta do ponto sujeito ao aquecimento, que está eletricamente ativo. Mas sim, fazer uma medição de temperatura do ambiente interno do compartimento.

Permite-se assim um monitoramento contínuo da temperatura de cada compartimento do cubículo. Uma indicação de alta temperatura em um destes compartimentos indicará a necessidade de intervenção da equipe de manutenção para uma inspeção termográfica, identificando a fonte de aquecimento.

Com este monitoramento contínuo de maneira indireta, dispensa-se a necessidade de intervenções periódicas que oneram as atividades de manutenção e prolongam o período de exposição dos profissionais a uma situação de risco.

D. Detecção de Arco Elétrico

Os relés de modernos podem incorporar também funções de detecção de arco elétrico que combinam a tecnologia de detecção de luz com a proteção de sobrecorrente rápida. A Fig. 12 mostra um relé digital que possui sensores de arco incorporados.

A combinação dessas tecnologias em uma única plataforma propicia abertura de alta velocidade durante eventos com arco voltaico sem dar trip indevido para faltas externas.

Adicionalmente, o mesmo dispositivo fornece proteção completa para alimentadores e motores.



Fig. 12. Relé de proteção com sensor de arco elétrico incorporado.

A Fig. 13 mostra a lógica de detecção de luz com supervisão de sobrecorrente. Este elemento de supervisão de sobrecorrente deve ser independente das funções de sobrecorrente convencionais, pois deve ser de alta velocidade, garantindo tempos de atuação da ordem de poucos milissegundos, tipicamente menor que 5ms. Estes recebem uma designação AF para deixar claro que são dedicados para supervisão da detecção de luz.

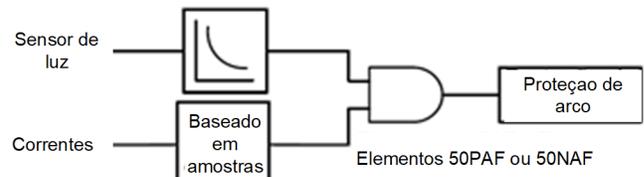


Fig. 13. Lógica de detecção de arco com supervisão de corrente.

Pode-se utilizar sensores do tipo pontual ou regional. As Fig. 14 e Fig. 15 mostram um exemplo de sensor pontual e regional, respectivamente.

Normalmente sensores regionais são instalados no compartimento do barramento, permitindo detecção de faltas ao longo de todo o barramento. Sensores pontuais podem ser instalados nos compartimentos de cabos e disjuntor. A Fig. 16 ilustra os locais típicos de instalação dos sensores (setas e detalhes em verde).

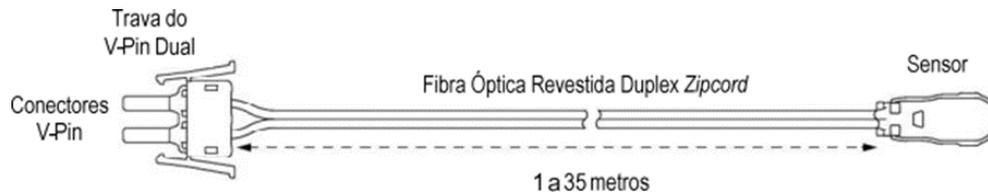


Fig. 14. Sensor pontual.

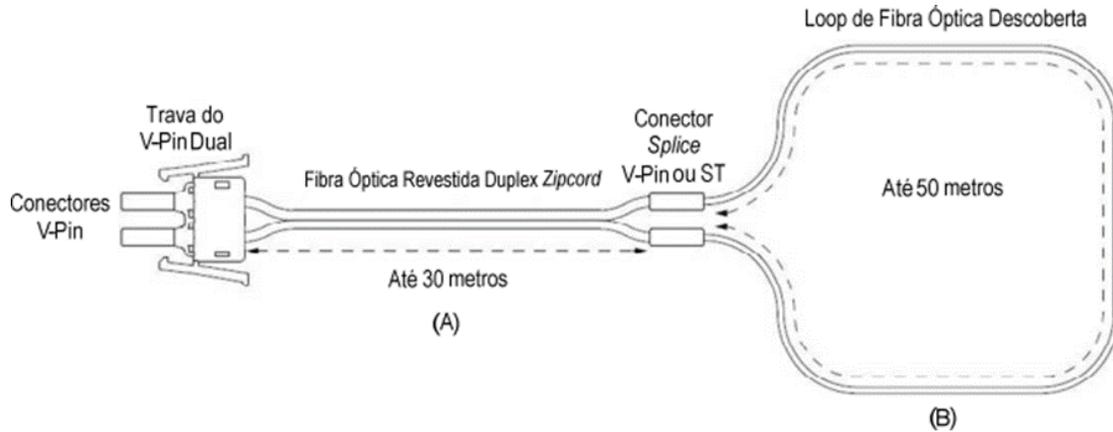


Fig. 15. Sensor regional ou fibra descoberta em loop.

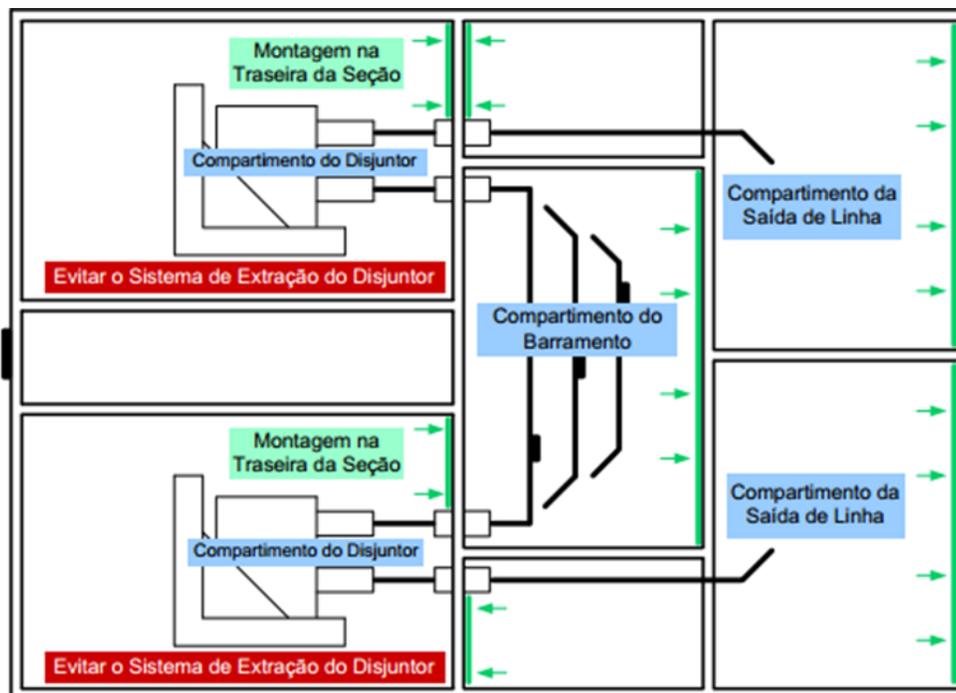


Fig. 16. Locais típicos de instalação de sensores indicados por setas.

IV. CONCLUSÕES

Os relés de proteção com tecnologia digital incorporam diversas funções de proteção, controle e monitoramento. A utilização destas funcionalidades permite a implementação de um sistema de monitoramento completo para os cubículos de média tensão com baixo custo.

Funções de monitoramento do disjuntor e banco de baterias permitem otimizar os recursos de manutenção e aumenta a confiabilidade do sistema elétrico industrial de maneira geral.

A função de monitoramento de temperatura permite um rastreamento contínuo da condição térmica dos compartimentos, identificando assim o início de falhas que poderiam evoluir para faltas mais graves, como um arco elétrico.

A função de detecção de arco elétrico reduz significativamente a energia incidente em eventos com arco, aumentando assim a segurança pessoal e reduzindo os prejuízos materiais e de parada de produção.

V. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR IEC 62271-200:2007, 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.
- [2] AG2011-01, Usando SEL-751 e SEL-751^a para detecção de arco voltaico, disponível em www.selinc.com.

VI. BIOGRAFIA

Paulo Lima recebeu o diploma de Engenharia Elétrica com ênfase em sistemas elétricos de potência em 2012 pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, e se especializou em automação de sistemas elétricos pelo Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL. Desde 2013 atua como engenheiro de aplicação na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. e suas atribuições incluem consultoria e suporte técnico em proteção e automação de sistemas elétricos de indústria, geração, distribuição e transmissão para clientes em todo Brasil. É instrutor na Universidade SEL de cursos de filosofias de proteção de sistemas elétricos e análise de oscilografias.

Nivaldo Silva recebeu o diploma de Engenharia Elétrica com ênfase em sistemas elétricos de potência em 1996 pelo Centro Universitário Salesiano de São Paulo, e em 1981 o diploma de Técnico em Eletrotécnica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR, Entre 1980 e 1985 ele trabalhou na área de engenharia de painéis da INEPAR Indústria e Construções e entre 1985 e 2016 trabalhou na Schneider Electric Brasil onde desenvolveu atividades de projeto e desenvolvimento de painéis de média e baixa tensão, marketing, suporte técnico e gerenciamento das áreas de engenharia, ofertas e contratos para painéis e soluções em eletrocentros. Desde 2017 atua como engenheiro de vendas na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. e suas atribuições incluem o desenvolvimento e comercialização de soluções para a proteção, comando e controle de sistemas elétricos do mercado industrial Brasileiro.