



GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

NOVA FILOSOFIA DE SISTEMA CENTRALIZADO DE PROTEÇÃO E CONTROLE (CPC) BASEADO EM UM ÚNICO IED MULTIFUNCIONAL PARA SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO

MARCELO ZAPELLA(1), CARLOS E. F. PIMENTEL(1), CHEE-PINP TEOH(2)
GE GRID SOLUTIONS BRASIL (1)
GE GRID SOLUTIONS UK (2)

RESUMO

O sistema centralizado de proteção e controle centralizado (CPC) traz uma nova filosofia para o setor que combina a função de vários dispositivos em um único hardware. Isso permite um uso mais eficiente da capacidade de processamento e reduz os custos, reduzindo o número de dispositivos usado. Embora seja importante pensar-se na economia de custos, o CPC não pode comprometer a estabilidade e negligenciar a confiabilidade oferecida pela solução convencional. Portanto, é importante encontrar um equilíbrio entre o custo benefício e a importância da operação do sistema de energia.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção e Controle, Centralizado, Barramento de Processo, Multifuncional

1.0 INTRODUÇÃO

A crescente adoção de *process bus* e o desejo por uma subestação digital estão levando a um novo interesse no conceito de proteção e controle centralizados, onde todas as funções de proteção para uma subestação são combinadas em um único dispositivo. Ao considerar as implementações desta solução, é importante lembrar que este dispositivo será instalado em uma subestação e deve atender a todos os requisitos ambientais e de desempenho esperados para aplicação em subestações. É importante ressaltar que um dispositivo de proteção centralizado deve ser uma solução tecnologicamente madura, possuir plataforma robusta com auto supervisão, utilizando algoritmos de proteção comprovados, escaláveis para qualquer tamanho de subestação e em hardware com vida útil esperada de 20 anos.

Este artigo descreve uma implementação real específica de tal sistema para subestações de distribuição, com base em um relé de proteção de classe de transmissão existente. Este sistema centralizado aproveita os recursos já desenvolvidos para plataformas aplicadas em sistemas de transmissão, incluindo:

- Algoritmos de proteção comprovados para proteção de alimentadores, barramentos e transformadores;
- Uma implementação robusta de segurança cibernética;
- Suporte para vários protocolos SCADA;
- Suporte para IEC 61850, incluindo recebimento de *Sampled Values*;
- Numerosos portos de comunicação para suportar conexões separadas para *station bus*, *process bus* e redes de engenharia simultaneamente

Um requisito crescente para subestações de distribuição é a capacidade de se integrar a sistemas de monitoramento, proteção e controle de área ampla. Como o dispositivo é baseado em uma plataforma de relé utilizado a nível de transmissão, essa capacidade é rapidamente atendida por incluir várias Unidades de Medição Sincrofasoriais e R-GOOSE para fornecer eventos entre subestações e indicações de controle.

1.0 - SISTEMA CENTRALIZADO DE PROTEÇÃO E CONTROLE (CPC)

O sistema CPC (*Centralized Protection and Control System*, Sistema de Proteção e Controle Centralizado) é um conceito que combina a função de vários IEDs em um único hardware. Isso permite um uso mais eficiente do poder de processamento e consegue economizar custos reduzindo o número de hardware utilizados. Embora a obtenção da economia de custos seja importante, a utilização do CPC não deve comprometer a estabilidade ou negligenciar a confiabilidade oferecida pela solução convencional. Portanto, é importante encontrar um equilíbrio de economia sem deixar de lado a criticidade da operação do sistema protegido.

O CPC não se limita a um único dispositivo de proteção centralizada, pois este dispositivo sozinho não trará os benefícios esperados pelo usuário. O CPC é um sistema que envolve a digitalização a nível de processo e uma IHM da subestação toda, juntamente com interfaces para monitoramento e controle de área ampla como mostrado na Figura 1. Ter todas as funções em execução em um hardware centralizado abre alguns novos requisitos, como a necessidade de maior cuidado com segurança cibernética nas unidades CPC, sistema redundante para garantir operação quando da falha do dispositivo, bem como sincronização de tempo do sistema.

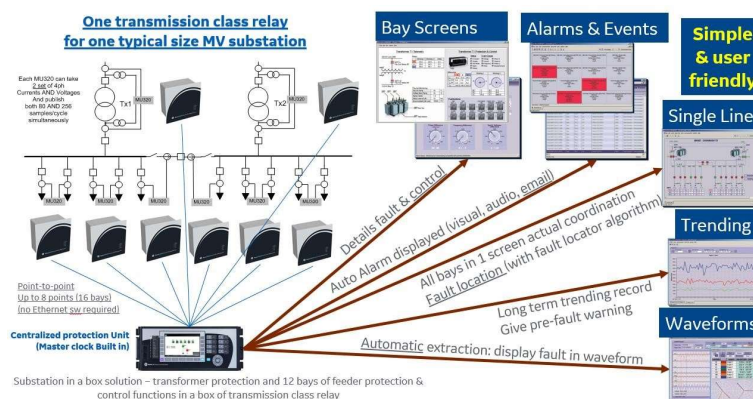


FIGURA 1: Arquitetura do CPC.

2.0 - DIGITALIZAÇÃO DO NÍVEL DO PROCESSO

O nível de processo é a interface de entradas e saídas para equipamentos primários. A digitalização ocorre em dispositivos de I/O que convertem medidas analógicas em mensagens digitais usando os modelos de dados e formatos da IEC 61850. Em 2004, o grupo de usuários da UCA lançou a IEC 61850-9-2LE, determinando um padrão de interface do barramento do processo para a transmissão de amostras de corrente e tensão. A IEC 61850-9-2LE define duas taxas de amostragem distintas para o barramento de processo com base em SV (*Sampled Values*, Valores Amostrados), sendo elas de 80 e 256 amostras por ciclo nominal de frequência do sistema.

A taxa de 80 amostras por ciclo é suficiente para satisfazer a maioria das funções de proteção comuns, enquanto a taxa de 256 amostras por ciclo é usada para funções que demandam alta resolução, como monitoramento de qualidade de energia ou de registrador de perturbações.

O barramento de processos desta maneira facilita a flexibilidade e adaptabilidade, fornecendo todos os dados básicos para status e controle da subestação ao barramento de estação para integração dos dispositivos de proteção, automação e de controle. O uso de barramento de processos transforma a fiação de campo do equipamento primário limitada com dispositivos únicos de entrada/saída e elimina a necessidade de fiação a dispositivos de controle, relés de proteção e, especialmente, ao dispositivo de proteção centralizado.

Unidade de I/O Remota (RIO)

Para aquisição de informações binárias de status e de controle, a RIO (Remote Input/Output unit, RIO) é equipada com uma alta capacidade de entradas e saídas para monitorar os sinais binários de disjuntores e seccionadoras, bem como para envio de sinais de trip ou comando a equipamentos primários. A comunicação entre as diversas RIO e outros dispositivos é realizada pela troca de mensagens IEC 61850 GOOSE. Uma RIO pode ser equipada com saídas de contato de alta velocidade do tipo High Speed High Break (HSHB) para envio de sinais de trip diretamente aos equipamentos de campo sem a necessidade de relés repetidores.

Unidade de interface de processo (PIU)

A sigla PIU utilizada neste texto se refere como uma *Merging Unit* multifuncional, cobrindo assim todas as funções de interfaceamento com os equipamentos primários de um bay da subestação. Os limites para as funções embarcadas em uma PIU são definidos pelos fabricantes das mesmas. Uma PIU bem definida terá vários conjuntos de entradas de TC e TP para se conectar tanto aos enrolamentos de classe de proteção quanto aos de classe de medição. Uma PIU também deve suportar o envio de vários fluxos de SV com diferentes taxas de transmissão. Uma PIU também pode ter contatos HSHB para envio de trip aos equipamentos primários.

O objetivo da PIU é de otimizar o dispositivo de modo que uma PIU seja suficiente para realizar todo o interfaceamento necessário em um bay, como mostrado na figura 2. A digitalização do barramento de processo deve permanecer o mais simples e robusta possível, e deve focar na obtenção da maior quantidade de dados de campo para serem digitalizados, fornecendo assim capacidade de se projetar, construir, comissionar e operar uma subestação de forma mais rápida e eficiente, mesmo em situações em que se façam necessárias trocas ou

atualizações de equipamentos primários. Uma vez que o bay e a PIU são comissionados, o bay ficará pronto para atualizações futuras, pois qualquer dispositivo ou aplicação que suporte IEC 61850, quando conectado a esse barramento de processo, poderá subscrever aos dados e interoperar sem impactar os dispositivos existentes no processo.

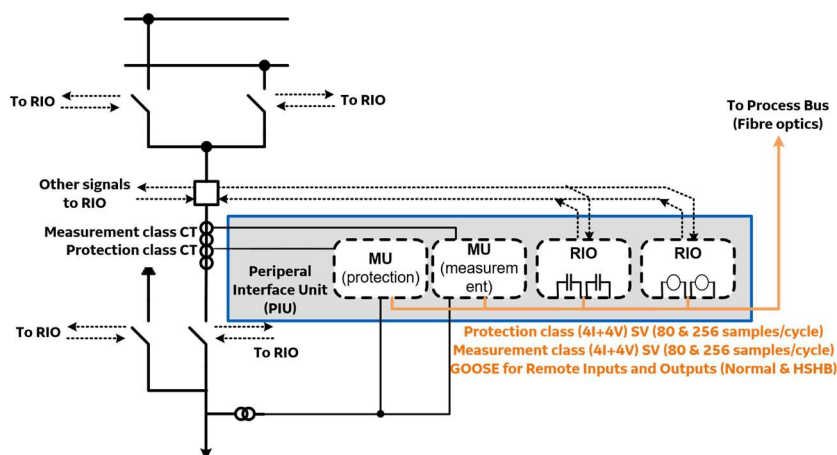


FIGURA 2: Arquitetura conceitual de uma PIU.

O objetivo da PIU é ilustrado na Figura 3: as mensagens SV e GOOSE da interface da PIU são disponibilizadas para qualquer dispositivo na subestação, fornecendo dados apropriados nas taxas apropriadas para as aplicações. O CPC Main 1 (bays 1-20), o CPC Main 1 (bays 21-40), o CPC Main 2 (bays 1-20) e o CPC Main 2 (bays 21-40) representam o esquema centralizado de proteção e controle. O medidor de faturamento em geral é um medidor homologado e independente usado pela concessionária utilizado somente para a medição de faturamento. O Registrador de Perturbações (RDP) e o medidor de Qualidade de Energia são dispositivos independentes, para que se possa manter na subestação dispositivos dedicados apenas para monitorar a performance do sistema de proteção e controle perante a falhas ou problemas de qualidade de energia de maneira independente das aplicações de proteção e controle.

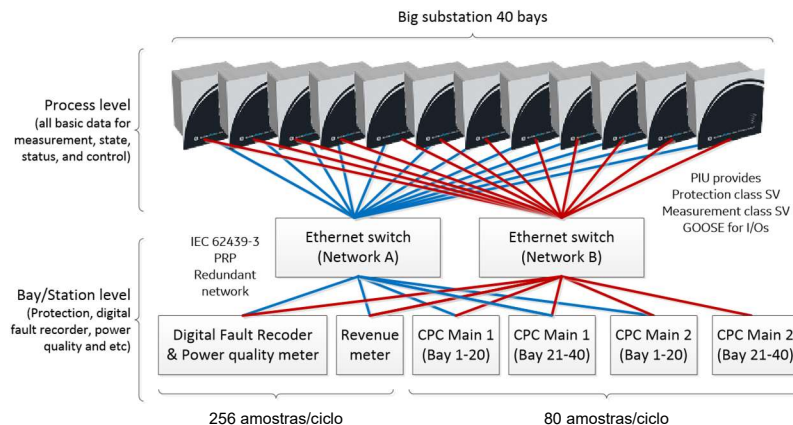


FIGURA 3: Arquitetura de comunicação do barramento de processo.

3.0 - SOLUÇÕES DE PROTEÇÃO CENTRALIZADA ATUAIS

Existem muitas variações de como a proteção e controle centralizados podem ser implementados. Sistemas para prova de conceito em geral são baseados em computadores industriais, devido mais às necessidades de desenvolvimento de software do que aos verdadeiros requisitos do dispositivo de proteção.

Computadores industriais são comumente utilizados em subestações para executar aplicativos baseados em software, como serviços de SCADA, funções de controle, gerenciamento, IHM, detecção e isolamento de falhas em área ampla ou sistêmicas, bem como para integração e controle de *microgrid*. No entanto, as funções de proteção em geral requerem um tempo de atuação rápido, consistente e determinístico em tempo real na faixa de 10 ms a 40 ms.

O desafio para implementar funções de proteção em um computador industrial é ter um sistema operacional em tempo real para executar os algoritmos de proteção. A preocupação se deve, em parte, a considerações técnicas sobre a execução de sistemas operacionais em tempo real e convencionais no mesmo dispositivo por 24 horas por dia, 365 dias por ano para uma vida útil de 20 anos.

Além disso, o sistema CPC precisa proteger um alto número de *bays*, por exemplo, 24 para uma subestação de tamanho típico. Isso exige que o computador processe um grande número de mensagens SV, incluindo filtragem, *re-sampling* e manuseio de amostras ausentes de forma determinística. Relés convencionais usam *Field Programmable Gate Arrays* (FPGA) para gerenciar dados, mas os FPGA não estão tipicamente disponíveis em computadores industriais.

É importante também lembrar que os dispositivos de proteção centralizados serão instalados em subestações e devem atender a todos os requerimentos esperados em subestações. O dispositivo deve passar por todos os testes ambientais especificados nas normas IEEE 1613 e IEC 61850-3, incluindo interferência eletromagnética, imunidade de surto e transitórios rápidos.

Para que um CPC seja uma solução bem-sucedida, as transmissoras e distribuidoras devem ter confiança na plataforma, tanto no hardware, quanto software ou firmware.

4.0 - SOLUÇÃO DE PROTEÇÃO CENTRALIZADA COM PLATAFORMA DE RELÉ DE TRANSMISSÃO

Uma abordagem realista de CPC é basear o design do hardware em relé de classe de transmissão já utilizado como relé convencional. Uma vez que os relés se tornam otimizados para aplicação em barramento de processo, a única limitação para o número de zonas de proteção é o número de fluxos SV que ele suporte se inscrever e as capacidades do processador para lidar com os dados e a funcionalidade. Os relés de proteção de barras que estão sendo disponibilizados ao mercado aceitam até 24 fluxos SV, de modo que a proteção completa de pequenas subestações em uma única plataforma se torna viável.

Uma boa prova de conceito do CPC é começar com a proteção de uma subestação de distribuição completa. Isso envolve um número limitado de funções de proteção necessárias, menor risco em caso de problemas de desempenho e uma integração mais fácil no sistema de energia. O dispositivo CPC, portanto, usa algoritmos de proteção já desenvolvidos para a plataforma do relé, simplesmente implementando mais instâncias dessas funções já consolidadas.

Algoritmos de proteção para proteção de alimentadores, barramentos e transformadores

Ao se utilizar a capacidade ociosa de processamento de relés de proteção de classe de transmissão, a implementação de algoritmos já consolidados para proteção de alimentadores, transformadores e de barramentos se dá de maneira simples, já que os algoritmos são já consolidados e o hardware o qual executará estas funções é de relés de classe de transmissão com histórico de operação bem sucedida em subestações. Este tipo de dispositivo pode executar várias instâncias de uma zona inteira de proteção, usando algoritmos existentes e comprovados, rodando no mesmo sistema operacional e hardware comprovados.

Plataforma de hardware

Um relé de proteção de classe de transmissão é um hardware personalizado, especificamente projetado e testado para o mais alto requisito de ambientes de subestações. É parte do desenvolvimento do hardware testes abrangentes de diagnóstico do dispositivo tanto na sua inicialização como continuamente durante o tempo de operação para testar suas funções principais e hardware crítico. Esses testes monitoram condições que podem afetar a segurança e disponibilidade da proteção, e apresentam o status do dispositivo através das comunicações SCADA e display do painel frontal. O monitoramento contínuo e a detecção precoce de possíveis problemas ajudam a melhorar o tempo de disponibilidade do sistema e evitar qualquer falha causar operação indevida do dispositivo. O relé de proteção também tem um portfólio completo de opções de hardware, como abaixo:

- Opção de fonte de alimentação redundante;
- O uso de proteção especial para ambientes severos nas placas de circuito impresso;
- Opção de comunicação por fibra óptica entre subestação para teleproteção via C37.94;
- RTD para monitoramento de temperatura do transformador ou motor;

O custo do hardware de relés de proteção de classe de transmissão é comparável ao de computadores industriais. No entanto, a plataforma de relés é projetada para operar no ambiente de subestação por mais de 20 anos, com histórico comprovado de confiabilidade. Isso excede a vida útil em geral mais curta de uma computação industrial.

Segurança Cibernética

A plataforma de relé possui embarcada requisitos de segurança cibernética que atendem aos requisitos do setor elétrico. Como esta plataforma é continuamente atualizada para novos requisitos e recursos, o CPC se beneficia

destes avanços automaticamente. A plataforma de relés atende às normas NERC CIP, NIST, ISO, fornece autenticação remota, autenticação sem senhas, RBAC, syslog e acesso criptografado.

Suporte para múltiplos protocolos SCADA (IEC 61850 e protocolos legados)

Relés de classe de transmissão suportam nativamente os protocolos padrão da indústria, permitindo fácil integração em sistemas SCADA, como IEC 61850 Ed. 1 e Ed. 2 Station Bus, IEC 61850-2-2LE/IEC 61869 Process Bus, IEC 61850-90-5, DNP 3.0, Ethernet Global Data (EGD), IEC 60870-5-103 e IEC 60870-5-104, Modbus RTU e Modbus TCP/IP.

Número grande de portas de comunicação

Um relé de classe de transmissão é projetado para suportar as diferentes arquiteturas de rede de comunicação existentes. Isso inclui portas suficientes para cada rede para suportar métodos de redundância de comunicações padrão do setor, como PRP e HSR. Para pequenas subestações de distribuição, é conveniente ter até 8 portas de barramento de processo para permitir comunicações simples ponto-a-ponto, sem necessidade de criação de uma rede ou utilização de switches, como mostrado na Figura 4.

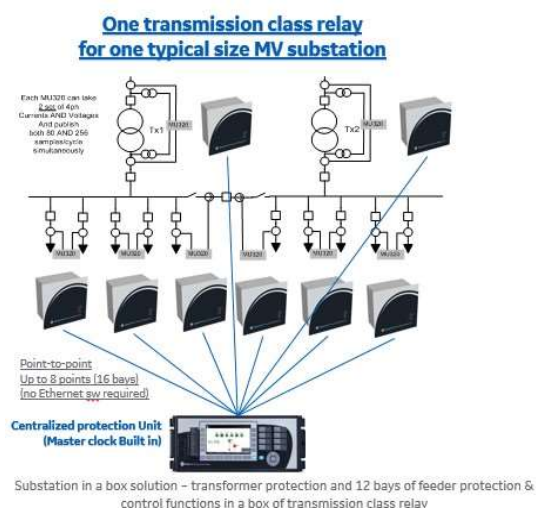


FIGURA 4: Arquitetura do CPC com comunicação ponto-a-ponto.

Monitoramento e controle de área ampla

O uso de um relé de proteção de classe de transmissão como CPC traz automaticamente outros recursos de transmissão que podem ser interessantes para distribuição, como o uso de sincrofasores. O dispositivo pode atuar como unidade de medição sincrofasorial (PMU), enviando seus dados conforme IEEE C37.118, usando R-GOOSE ou R-SV conforme definido na IEC 91850-90-5. Isso significa que o CPC pode facilmente se integrar em esquemas de monitoramento e proteção de ampla área (*Wide Area Measurement System, WAMS*), bem como prover sinais entre subestações.

Solução escalável

À medida que o sistema elétrico se torna cada vez mais complexo, percebe-se que o número de *bays* nas subestações também aumenta para acomodar as novas linhas, transformadores, reatores ou capacitores conectados. Portanto, a solução CPC deve ser escalável. A unidade CPC pode se estender facilmente, pois usa apenas cabos de fibra óptica para recepção dos sinais, independente de quantos *bays* existem na subestação. Cada unidade CPC se conecta à rede assina apenas as mensagens SV e GOOSE das PIU necessárias. Portanto, não há fiação de campo complexa para conectar, apenas configuração no dispositivo, e praticamente não se tem limite no número de *bays*. No entanto, um CPC será tão escalável quanto o número de fluxos de SV que o dispositivo suporta receber. Uma vez que esse limite é atingido, vários dispositivos CPC se tornam necessários.

5.0 - REDUNDÂNCIA

Redundância de hardware Principal 1 / Principal 2 de CPC

Quando se utiliza proteção centralizada, a proteção redundante pode ser necessária para fins de confiabilidade. Isso pode tomar a forma de proteção Principal 1 / Principal 2. As duas unidades se conectam com 2 pares de fibra, se comunicam às mesmas PIU e usam os mesmos dados. As figuras 5 e 6 mostram um exemplo de arquitetura com proteção Principal 1 / Principal 2 para arquiteturas em PRP e HSR.

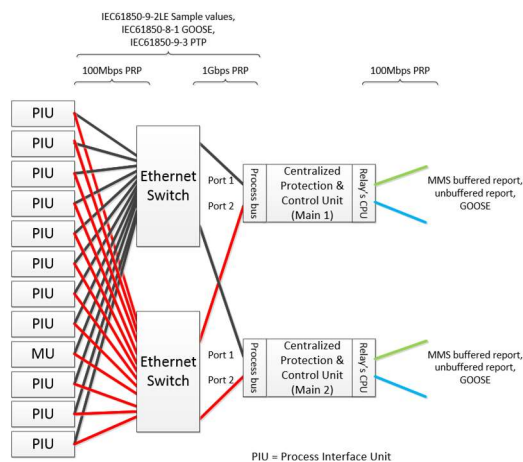


FIGURA 5: CPC Principal 1 / Principal 2 em topologia PRP

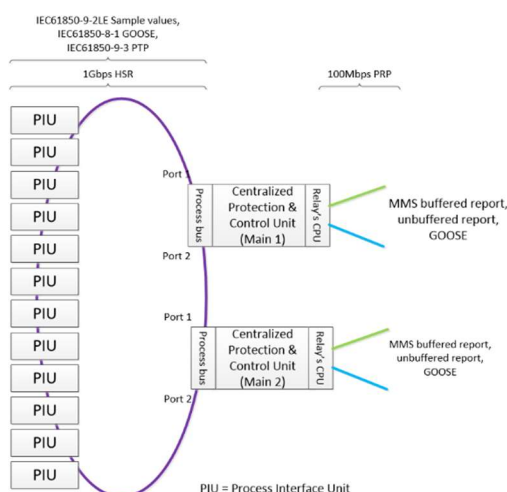


FIGURA 6: CPC Principal 1 / Principal 2 em topologia HSR

Fontes de SV redundantes

Uma vez que a PIU pode ter múltiplas entradas analógicas, é possível de se realizar a conexão de TC e TP de mais de um bay em uma PIU de maneira cruzada, realizando a redundância a nível de conexão física, conforme mostrado na figura 7. Essa topologia permite que se possam realizar a publicação de SV redundantes de um mesmo bay em PIU distintas.

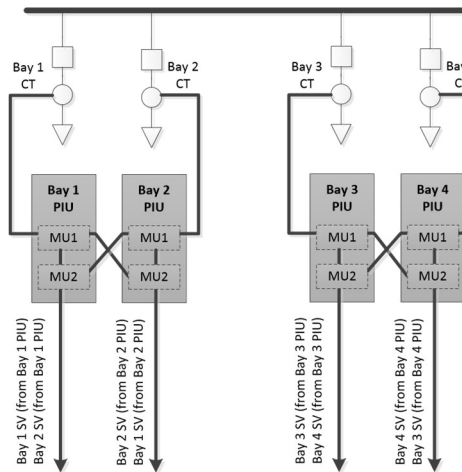


FIGURA 7: Conexão cruzada entre PIU para redundância de publicação de SV.

Por exemplo, caso a PIU do *bay 1* falhe, a PIU do *bay 2* continuará publicando os dados de medição do TC do *bay 1* através de um fluxo de SV, de maneira que o CPC que recebe os dados para proteção do *bay 1* possa garantir a proteção do *bay* enquanto a PIU do *bay 1* estiver em falha. Este esquema de proteção em sistemas convencionais não era possível sem custo adicional significativo e projeto complexo. Por outro lado, como uma PIU possui capacidade de diversas entradas analógicas, nesta nova topologia é possível realizar esquemas de conexão cruzada para redundância de publicação de SV sem um aumento significativo na complexidade do projeto, fiação ou custo de implantação.

Há uma preocupação prática em se utilizar fontes de SV redundantes, em que a unidade CPC tem um número fixo de assinaturas para fluxos de SV. Cada fonte de SV redundante reduz o número de *bays* que podem ser protegidas por uma unidade CPC. Assim, um sistema com fontes de SV totalmente redundantes poderá proteger metade do número de *bays* que uma fonte sem redundância protegerá. No entanto, graças a solução de relé escalável, a inclusão de novos CPC pode mitigar essa limitação.

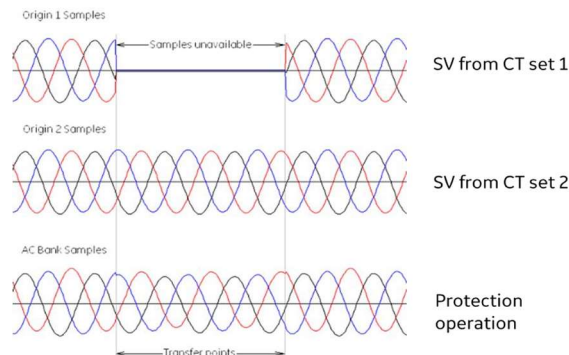


FIGURA 8: Exemplo de *switchover* de fontes de SV no CPC.

Arquitetura completamente redundante

A mesma discussão do tópico anterior pode ser estendida para uma arquitetura completamente redundante, onde uma rede HSR dupla, com enrolamentos distintos dos TC, PIU e CPC redundantes são usados. A unidade CPC pode funcionar como proteção Principal 1 / Principal 2, com cada CPC assinando dados SV de diferentes PIU. Com PIU redundantes, medindo as mesmas correntes, e CPC Principal 1 / Principal 2, a unidade CPC pode ter proteção totalmente redundante e medição totalmente redundante. A Figura 9 mostra dois conjuntos de TC e PIU conectadas a dois anéis HSR independentes. Os 2 anéis HSR independentes oferecem um verdadeiro esquema redundante. Este esquema exige que cada unidade central se conecte a ambos os anéis HSR de forma independente e, portanto, requer que as unidades tenham 4 interfaces de fibra óptica. É importante ressaltar que estas são conexões independentes para redundância e não são uma segmentação QuadBox ou *Linkage* conforme definido na Cláusula 5 da IEC 62439-3.

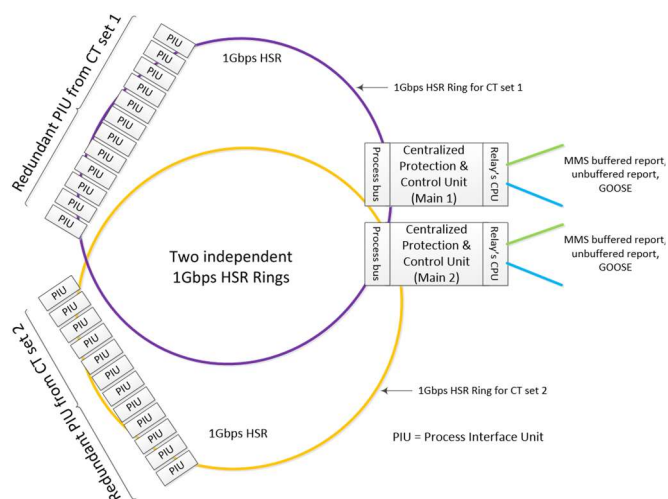


FIGURA 9: Arquitetura com redundância de PIU, CPC e de anéis HSR.

A arquitetura mostrada na figura 9 oferece uma alternativa redundante na qual cada componente do sistema possui redundância e é incluído com o intuito de evitar qualquer operação indevida devido à falha do dispositivo. A unidade CPC pode ter verificação de consistência para monitorar a consistência de ambos os fluxos de SV das duas PIU, como mostrado na Figura 10.

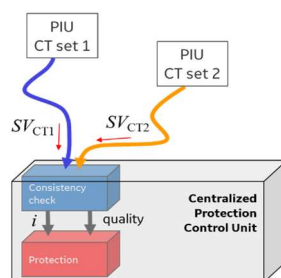


FIGURA 10: O CPC pode assinar e fazer verificação de consistência para a alternativa com redundância completa.

Arquitetura com Sistema A e Sistema B independentes

Uma arquitetura do tipo Sistema A e Sistema B independentes também pode ser construída, conforme ilustrado na figura 11. O CPC pode ser configurado para que, se a PIU do Sistema A falhar, a proteção do sistema A detecte a falha e alarme, e usando uma configuração preferencial, o Sistema A pode alternar a entrada de medição para o sistema B automaticamente e continuar fornecendo proteção. Isso fornece benefícios adicionais em comparação com um sistema convencional Sistema A e Sistema B independentes, sem o barramento digital.

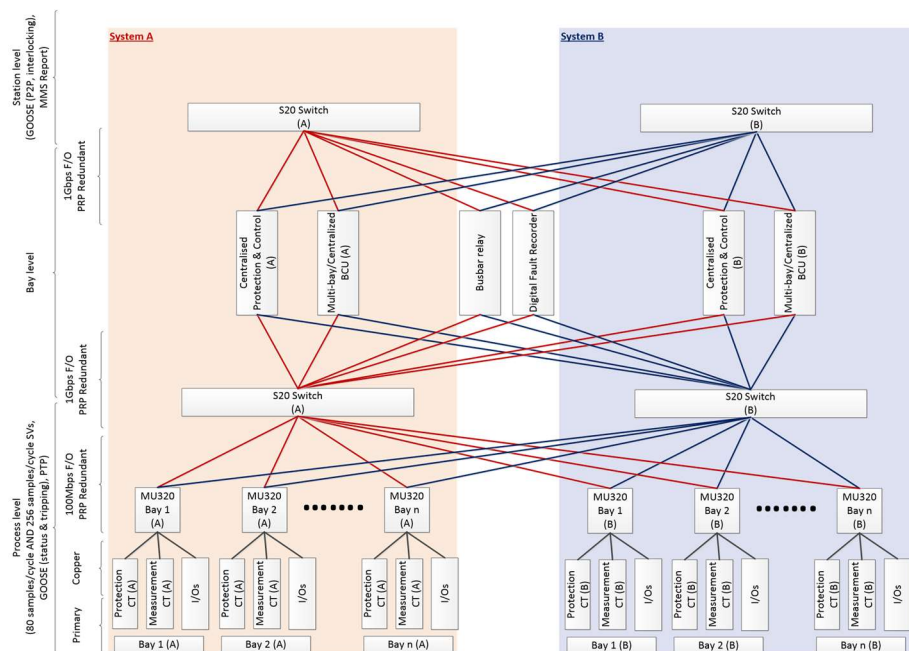


FIGURA 11: Exemplo de arquitetura com filosofia Sistema A e Sistema B independentes.

6.0 - CONCLUSÃO

A utilização de relés de proteção de classe de transmissão não só oferece uma boa alternativa à solução de CPC baseada em computador industrial, mas é também uma solução muito mais madura pela utilização de hardware projetado para funções de proteção. Além disso, uma proteção de classe de transmissão foi projetada para ambiente severo, testada de acordo com a IEEE 1613 e IEC 61850-3. O uso do relé de classe de transmissão como CPC oferece muitos outros benefícios, como PMU IEC 61850-90-5 e R-GOOSE, teleproteção, relógio mestre IEEE 1588 embutido, protocolos de comunicação legados que atualmente carecem em CPC baseado em computador industrial. Um relé de classe de transmissão foi projetado para operar por 20 anos em ambientes de subestação, tempo esse em geral significativamente maior que o tempo de vida útil de computadores industriais para estes ambientes. Os MU e PIU de barramento de processo são *future-proof* e facilitam a flexibilidade e adaptabilidade, fornecendo todos os dados básicos para o barramento de estação.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Chee Pinp TEOH, Rich HUNT, 2018, CEPST conference, Process bus busbar protection – a stepping stone to digital substation
- (2) Rich HUNT, Chee Pinp TEOH, 2019, PACWorld conference, Digital substation of the future
- (3) IEEE Power System Relaying Committee working group K15, Centralized Substation Protection and Control
- (4) Adam THOMPSON, 2016, Master Thesis Virginia Polytechnic Institute and State University “The Future of Substations: Centralized Protection and Control
- (5) Sushil JOSHI, 2019, PACWorld conference, Future of Protection Relays
- (6) Bruno DE OLIVEIRA E SOUSA, 2017, CIRED conference, Viability assessment for centralized protection and control system architectures in MV substations
- (7) Bastian FISCHER, 2017, PACWorld conference, Software defined substations automation based on centralized protection and control architecture
- (8) “Implementation Guidelines for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-92”, UCA International Users Group, Raleigh, NC, 2004.

- (9) IEEE Standard 1588-2008, "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems", IEEE, New York, NY, 2008.

DADOS BIOGRÁFICOS



Marcelo Zapella é gerente de produto na GE Grid Solutions por mais de 6 anos, com experiência em soluções de comunicação Ethernet, sincronismo temporal e sistemas de automação para subestações. Marcelo é graduado em engenharia elétrica pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e se especializou em Sistemas Elétricos de Potência se tornando mestre pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).



Carlos Eduardo Ferreira Pimentel é nascido em Guarapuava, PR, possui graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e atualmente cursa pós-graduação MBA na Universidade de São Paulo campus ESALQ (USP/ESALQ). Exerceu atividades de projeto, engenharia, comissionamento e suporte técnico dos produtos da linha Reason entre 2013 e 2019, tendo atuado principalmente com as soluções de TWFL, PMU, redes Ethernet e Subestações Digitais. Atualmente é Engenheiro de Aplicação de Serviços na GE Grid Automation, atuando com serviços na linha GE Reason, linhas industriais (Load Shedding / Motor Health), e proteção sistêmica (SIPS/WAMPACS).



Chee-Pin TE OH é gerente de produto de soluções de subestação digital com sede em Stafford, Reino Unido. Ele tem um B.Eng (Hons) e MBA. Ele também é um especialista sênior no programa GE Expert, membro do IET, membro corporativo da IEM, representante do Reino Unido para o grupo de trabalho CIGRE B5.