

## **O painel que enxerga todas as coisas**

*por José Carlos Procópio e Henrique Santos*

É notável, ao longo de 120 anos de trajetória, que de tempos em tempos surgem evoluções significativas nas soluções para distribuição elétrica em média tensão. Toda essa evolução nos faz refletir e revisar conceitos e hábitos. Soluções consideradas relevantes para épocas passadas, frente à evolução tecnológica, não se mantêm hoje tão relevantes.

O setor elétrico vem vivendo um momento de transformação digital, impulsionado por projetos de redes inteligentes (smart grids), colocando-se na linha de frente da Internet das Coisas (IoT).

Neste contexto, a IoT pode, por exemplo, potencializar os resultados de modelos analíticos para prevenção de falhas técnicas, criar sistemas de iluminação inteligentes por sensores, prover conexões para medição, entre inúmeras outras.

Não somente nestes quesitos técnicos, como também ambientais, através de uma sensível redução na emissão de CO<sub>2</sub> e economia de energia. Em uma subestação de 14 linhas por exemplo, é possível economizar energia equivalente a 150 toneladas de CO<sub>2</sub> por 30 anos de operação do sistema. Isso corresponde a emissões geradas por um veículo europeu de médio porte, numa quilometragem de 1.250.000km.

O setor de energia tem desenvolvido e implementado o conceito de Smart Grids e Indústria 4.0 já há algum tempo, baseado em avanços das tecnologias da computação e comunicações, para atender a requisitos de melhoria da confiabilidade, segurança e eficiência do sistema elétrico. No entanto, cumprir esses objetivos não é possível usando apenas microprocessadores baseados

em dispositivos multifuncionais eletrônicos inteligentes (IEDs) e comunicações. Para a melhoria do retorno sobre o investimento, inclui-se a redução dos custos de capital em equipamentos, bem como o custo de transporte, instalação e manutenção.

Um painel de média tensão precisa atender a muitos requisitos de diferentes tipos de aplicações. Embora seja predominantemente utilizado em subestações de distribuição, também é utilizado em indústrias, instalações comerciais, campus universitários, assim como na interconexão de recursos energéticos distribuídos. O que significa que o painel precisa ser flexível e preciso em uma ampla faixa de correntes e tensões, ao mesmo tempo em que deve ser seguro e confiável, com requisitos mínimos de manutenção.

A combinação da tecnologia do microprocessador, comunicações avançadas, IEC 61850 e sensores de corrente e tensão permite direcionar os painéis de média tensão para a era do Smart Grid e a Indústria 4.0.

### **O painel digital de média tensão**

Considerando o quão conservador o setor de energia elétrica pode ser, é importante desenvolver soluções inovadoras baseadas na combinação de produtos bem estabelecidos e aceitos no mercado, com as últimas tecnologias e padrões disponíveis, para responder a novas aplicações e desafios.

O resultado é uma nova solução digital inovadora para painéis de média tensão que oferece melhorias significativas aos clientes, fornecendo respostas aos mais recentes e exigentes requisitos.

A digitalização do painel de média tensão baseia-se em uma integração otimizada de sensores de corrente e tensão combinada ao mais recente projeto de relés de proteção, bem como com a utilização eficiente dos meios de comunicação IEC 61850 para distribuição de sinais internos e externos do equipamento.

Com os novos requisitos e desafios que as redes de distribuição enfrentam, o painel de média tensão assume um papel cada vez mais importante neste contexto.

A evolução das redes exige, então, um equipamento ainda mais eficiente, seguro, inteligente, confiável, ecológico, fácil de projetar, instalar e operar.

### **Customizações, mudanças e vantagens do painel digital de média tensão**

Preparado para atender aos requisitos da rede: o painel digital de média tensão adapta-se perfeitamente às necessidades, mesmo na fase final de produção do painel. Da mesma forma que ele é preparado para adaptar-se a todos os eventos de mudanças na rede. O uso de comunicações de dispositivos digitais e sensores torna possível aproveitar a flexibilidade para implementar alterações de última hora nos parâmetros, como corrente nominal, ou modificar os esquemas lógicos do projeto elétrico.

Flexibilidade contra fluxos de carga variável: oferece flexibilidade para alterar cargas, fornecida pela energia através do disjuntor do alimentador (transformador de corrente). Os sensores de corrente e tensão, sucessores dos transformadores de corrente e tensão convencional, apresentam características lineares, isto é, podem trabalhar com uma ampla gama de correntes primárias, que permite diferentes correntes de carga e modificação dos parâmetros do relé de proteção de uma solução digital de média tensão. Isso assegura

economia de custos na aquisição e instalação do transformador atual, bem como os custos derivados do tempo de inatividade do painel de distribuição.

Entrega rápida: seus sensores evitam a necessidade de especificar todos os detalhes técnicos necessários para transformadores de corrente convencionais. Isso impacta diretamente nos prazos de início da operação em até 30% em relação a solução padrão. Para ilustrar, só é necessário especificar dois tipos de sensores de corrente e um tipo de sensor de tensão para atender a todos os parâmetros de aplicação de um painel de 7,2 – 17,5kV, 630 – 4000 A, 16 – 50kA.

Minimização de custos durante a vida útil: a solução digital em média tensão usa a energia de maneira eficiente, sem perdas durante o funcionamento do painel. O risco de cortes de energia pode ser minimizado graças à sua alta confiabilidade. Os sensores de corrente e tensão apresentam consumo irrelevante e, por isso, menos energia é necessária para operar o painel. Uma subestação típica com 14 unidades funcionais de alimentadores de distribuição, por exemplo, permite economizar até 250 MWh durante 30 anos de operação em comparação a um painel convencional. Isso representa uma economia de cerca de 13.000 euros.

Tudo isso só se torna possível através do uso de componentes certificados, como sensores de corrente e tensão, IEDs de proteção multifuncional e comunicação digital IEC 61850.

## Por dentro do painel digital de média tensão

Current and voltage sensors



Figura 1 - Sensores de corrente e tensão

Os sensores de corrente possuem design altamente compacto e otimizado para uso em painel digital de média tensão. Cada compartimento pode acomodar até dois conjuntos de sensores de corrente, instalados no compartimento de cabos ou diretamente no compartimento dos barramentos.

Os sensores de corrente e tensão são de alta precisão (classe 0,5), no entanto, quando a medição de faturamento exigir classes de precisão mais altas ou a instalação de transformadores de corrente e tensão para outros fins, o painel digital permite a sua instalação junto a estes sensores (figura 2).

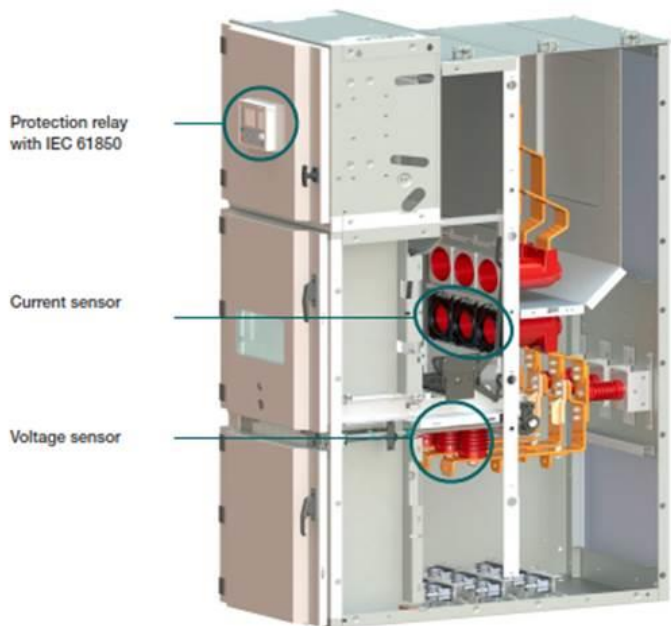


Figura 2 – Componentes de painel de média tensão

Os sensores baseados em princípios de medições avançadas foram desenvolvidos como sucessores dos transformadores de medições e proteções convencionais, a fim de alcançar uma redução significativa nas dimensões, aumentando a segurança e fornecendo maior padronização de classificação, com uma faixa de funcionalidade mais ampla.

Os transformadores de corrente convencionais com núcleos magnéticos são baseados em princípios bem conhecidos e foram utilizados com todas as suas limitações por mais de 120 anos. Diferentemente dos equipamentos conectados (relés de proteção) que vem evoluindo significativamente nos últimos 20 anos.

Os novos relés de proteção colocam requisitos diferentes em equipamentos de medição primária (transformadores de corrente e tensão) em comparação com relés eletromecânicos clássicos.

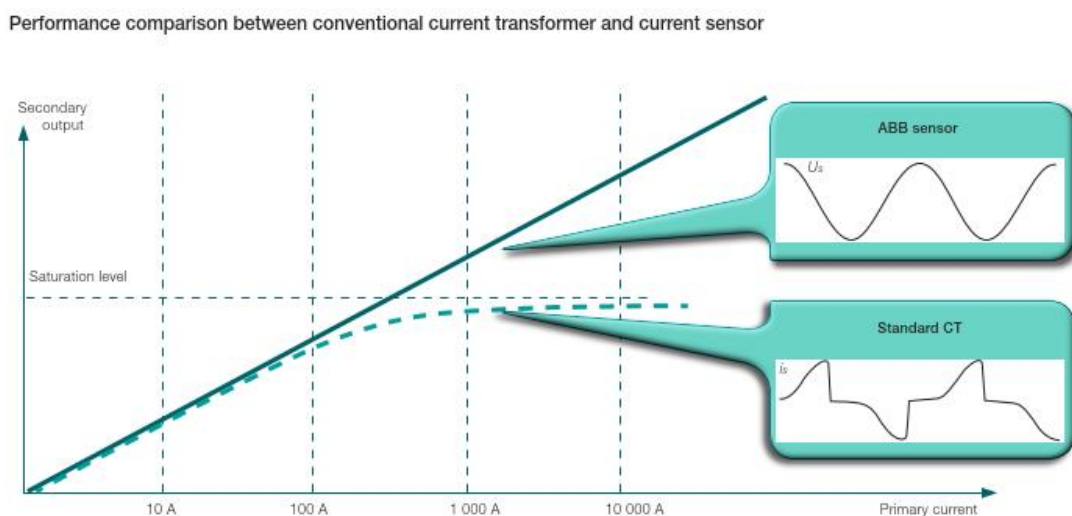
Esses novos requisitos também abrem a oportunidade para a utilização de princípios de medições avançadas, que oferecem uma ampla gama de benefícios adicionais.

Os sensores abrem um caminho para sinais de corrente e tensão necessários para a proteção e monitoramento de sistemas de energia de média tensão. Essas vantagens podem ser totalmente utilizadas em conexão com modernos relés de proteção (figura 1).

Os sensores de corrente e tensão utilizados no Painel Digital MV são projetados sem o uso de um núcleo ferromagnético. O sensor atual é baseado no princípio da bobina de Rogowski, enquanto o sensor de tensão usa o princípio do divisor de tensão resistiva. Esse tipo de tecnologia de sensores traz vários benefícios importantes para o usuário e o aplicativo.

O principal benefício é que o comportamento do sensor não é influenciado por uma curva de magnetização, portanto o resultado é uma resposta linear altamente precisa em uma ampla faixa dinâmica de grandezas (figura 3).

Figura 3 – Comparativo de desempenho entre transformador de corrente convencional e sensor de corrente



A curva característica linear e altamente precisa do sensor em toda a faixa operacional permite que várias classes de medição e proteção possam ser combinadas em um dispositivo específico.

A tecnologia do sensor significa que não há transferência de energia do lado primário para o secundário, sendo assim as perdas insignificantes. Desta maneira, os sensores exibem consumo de energia extremamente baixo, cujo valor é apenas uma fração do que é convertido em calor, em um transformador de corrente convencional.

Este fato contribui para uma economia significativa de energia durante toda a vida útil do sistema, colaborando com os esforços mundiais para reduzir o seu consumo.

Como os elementos do sensor são particularmente pequenos e os mesmos elementos são usados para medição e proteção, os sensores de corrente e tensão podem ser facilmente integrados no painel.

Os sensores atuais baseados no princípio Rogowski Coil fornecem alguns benefícios adicionais, como:

- devido à sua baixa indutância, eles podem responder a correntes de mudança rápida;
- devido à sua linearidade, as bobinas de Rogowski de alta corrente podem ser calibradas ou testadas usando correntes de referência muito menores;
- eles são muito mais seguros que os transformadores de corrente convencionais, porque não há perigo de abrir o enrolamento secundário;
- os custos de construção são mais baixos;
- a compensação de temperatura é simplificada.



Esses fatos permitem que os sensores sejam projetados de uma maneira altamente otimizada, o que contribui para um alto nível de simplificação do painel de média tensão e, portanto, padronização, ao mesmo tempo em que reduz o seu tamanho.

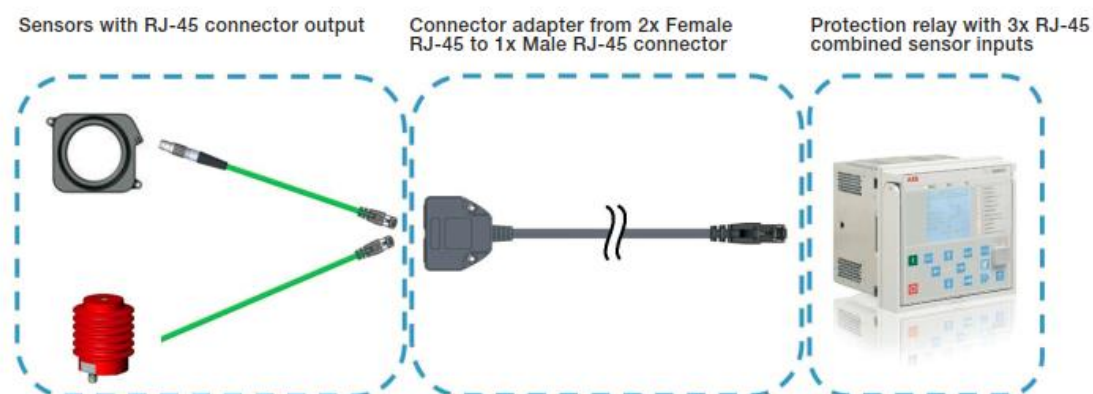


Figura 4 – Sensores com saídas RJ-45

Os sensores são conectados diretamente ao relé de proteção através de cabos com conectores RJ-45. Caso os sensores de corrente e tensão estejam conectados no mesmo IED, um adaptador é usado. Os cabos são conectados a acopladores e estes conectados diretamente a um relé de proteção via cabo RJ-45, como mostrado na figura 4.

### Comunicação IEC 61850

A Norma IEC 61850 foi lançada em 2004 com o objetivo de definir um padrão internacional para as arquiteturas de redes de comunicação e sistemas para automação de energia elétrica. Ela é responsável pela simplificação e potencialização dos controles dos sistemas elétricos atuais. A Norma inclui os requisitos relacionados ao sistema elétrico e o modelo de dados das funções de proteção e controle. Essa modelagem padronizada dos dados das funções de uma subestação, incluindo as interfaces de comunicação, abre caminho

para a utilização em conjunto dos mais variados equipamentos, com garantia de desempenho satisfatório do sistema. Esse é o conceito da interoperabilidade, muito difundido pelo advento da IEC 61850, e que traz grandes benefícios aos usuários finais, pois permite que equipamentos de fabricantes e tecnologias diferentes sejam conectados a uma mesma rede de comunicação e a um mesmo sistema de monitoramento e controle, com confiabilidade assegurada na troca de informações e desempenho das funções.

A IEC 61850 define os chamados Barramento de Estação (Station Bus) e o Barramento de Processo (Process Bus). O Barramento de Estação, IEC 61850-8-1, determina como deve ocorrer a comunicação entre dispositivos (comunicação horizontal) e destes com o sistema (comunicação vertical). Essa comunicação vertical é feita com base no padrão MMS (Manufacturing Message Specification), enquanto a horizontal, em um padrão de mensagens exclusivo da IEC 61850: o GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) que padroniza a comunicação em tempo real entre os dispositivos de proteção e controle. Já o Barramento de Processo, IEC 61850-9-2, define a transmissão de Valores Medidos Amostrados (SMV – Sample Measured Values) obtidos por instrumentos de medição.

Os perfis GOOSE e SMV possibilitam que a comunicação de uma subestação de Média Tensão seja projetada de maneira inovadora e flexível para tornar os dados do processo dos relés de proteção disponíveis para todos os outros relés e dispositivos na rede local em tempo real.

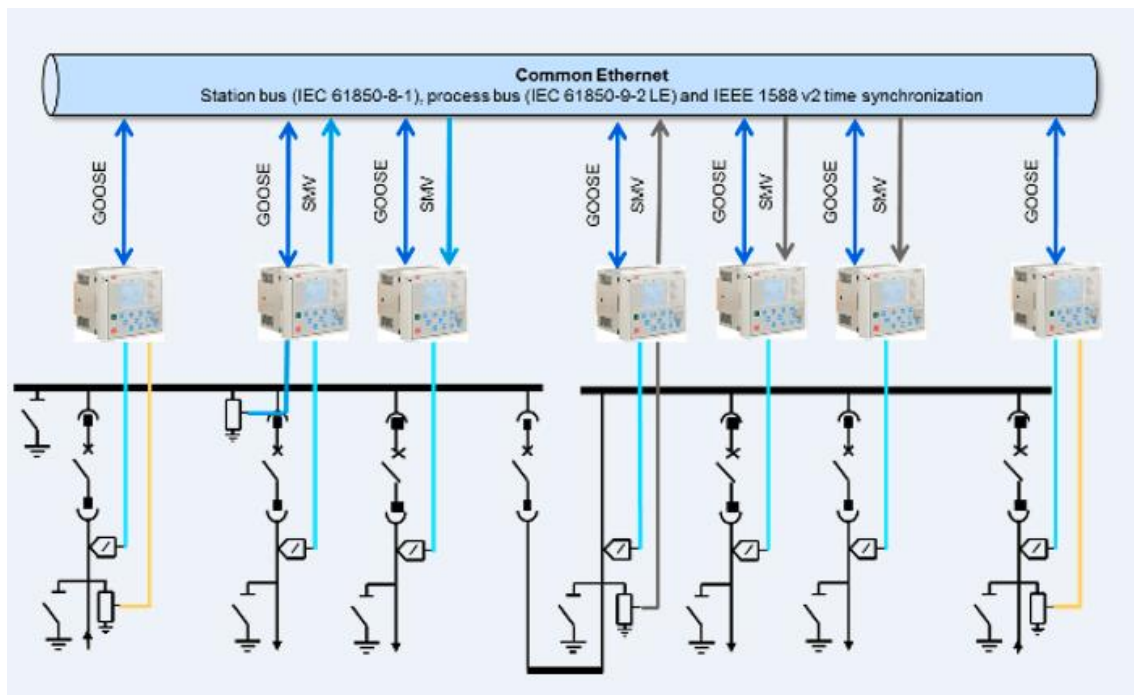
Os relés ou IEDs (Intelligent Electronic Devices) de proteção e controle geram sinais para intertravamento, bloqueio, seletividade lógica e trip entre os diversos cubículos de um painel de Média Tensão, via mensagens GOOSE. Atualmente, o uso de mensagens GOOSE está aumentando em aplicações de subestações e oferece vantagens adicionais, como simplicidade, flexibilidade funcional, fácil escalabilidade, diagnósticos aprimorados e desempenho mais

rápido em comparação com a conexão de cabeamento convencional (hardwire) entre cubículos.

As interfaces de um equipamento de Média Tensão (por exemplo, Sensores de Tensão ou Transformadores de Potencial) estão no nível de Processo. Além da fiação de sinal convencional entre a Interface de Processo e os Relés de Proteção, a IEC 61850 introduziu um conceito que possibilita o intercâmbio desses sinais de processo entre os dispositivos de proteção, controle e monitoramento. Esta comunicação se dá através do Barramento de Processo, conforme IEC 61850-9-2.

Em aplicações de painéis de Média Tensão, os Barramentos de Estação e de Processo podem ser construídos em conjunto, com configurações adequadas, tendo como objetivo a otimização da instalação e a redução do custo.

Ao usar Transformadores de Potencial convencionais (TPs) em um painel de Média Tensão, estes geralmente são instalados nos alimentadores de entrada, com a tensão do barramento medida em qualquer um dos alimentadores de saída ou em um cubículo de medição dedicado. O compartilhamento da tensão do barramento é feito por cabos de interconexão entre os TPs do barramento e os relés de proteção em todos os alimentadores de saída.



O uso de sensores e do conceito da IEC 61850-9-2 tem um efeito significativo no design do painel de Média Tensão. O sinal do sensor que mede a tensão no barramento e está conectado a um dos IEDs de proteção é, então, digitalizado por um elemento integrado no IED, chamado de Merging Unit, e transformado em um valor amostrado (SMV) para ser compartilhado através da rede Ethernet. Este sinal é publicado 80 vezes por ciclo com base na definição de implementação do IEC 61850-9-2 LE. A fiação de interconexão no painel é simplificada, pois são necessários menos cabos para interligação analógica e digital entre os diferentes cubículos. A transmissão das medições de tensão no Barramento de Processo permite uma maior detecção de erros, pois a transmissão do sinal é continuamente supervisionada. E ainda maior disponibilidade é possível usando rede Ethernet redundante sobre a qual os sinais GOOSE e SMV são transmitidos (figura 5).

### **Redundância de rede Ethernet**

A IEC 61850 especifica redundância de rede que melhora a disponibilidade do sistema de comunicação da subestação. Baseia-se em dois protocolos complementares definidos na Norma IEC 62439-3: o Protocolo de Redundância

Paralela (PRP - Parallel Redundancy Protocol) e o Protocolo de Redundância Contínua de Alta Disponibilidade (HSR - High Availability Seamless Redundancy).

Ambos os protocolos são capazes de superar uma falha de um link sem perda de sinal e com tempo de restabelecimento (switchover) igual a zero. Nos dois protocolos, cada nó (ou IED) contém duas portas Ethernet idênticas para a conexão na rede de automação. Eles contam com a duplicação de todas as informações transmitidas e fornecem tempo de recuperação da rede igual a zero, em caso de falha na rede de comunicação, cumprindo assim com todos os requisitos rigorosos da automação de subestações, como por exemplo comunicação em tempo real para mensagens GOOSE e intercâmbio de sinais amostrados, SMV.

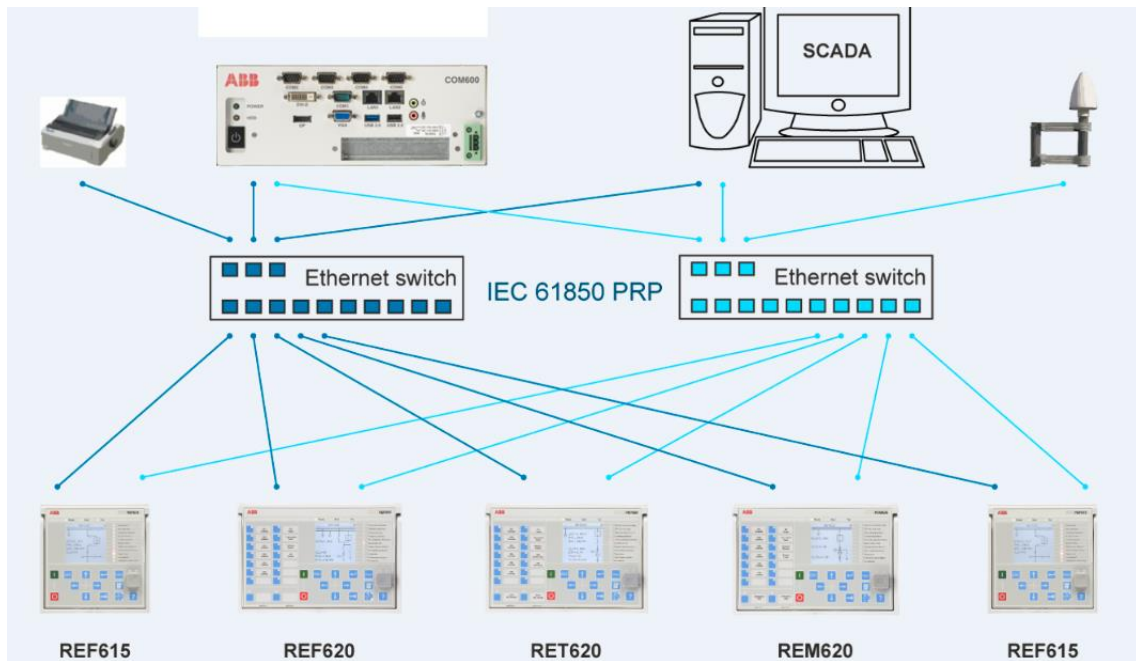
Para este tipo de implementação com GOOSE e SMV, apenas as redundâncias PRP e HSR são aceitas. Outros tipos de redundância de rede existentes no mercado (RSTP, bounding etc.) possuem um tempo de recuperação da rede maior do que zero em caso de falha e, com isso, pode haver perda de sinal durante o restabelecimento da mesma. Essa perda de sinal pode significar a falha em um intertravamento ou trip (quando usadas mensagens GOOSE) ou até mesmo a falha em uma proteção (quando usado o SMV).

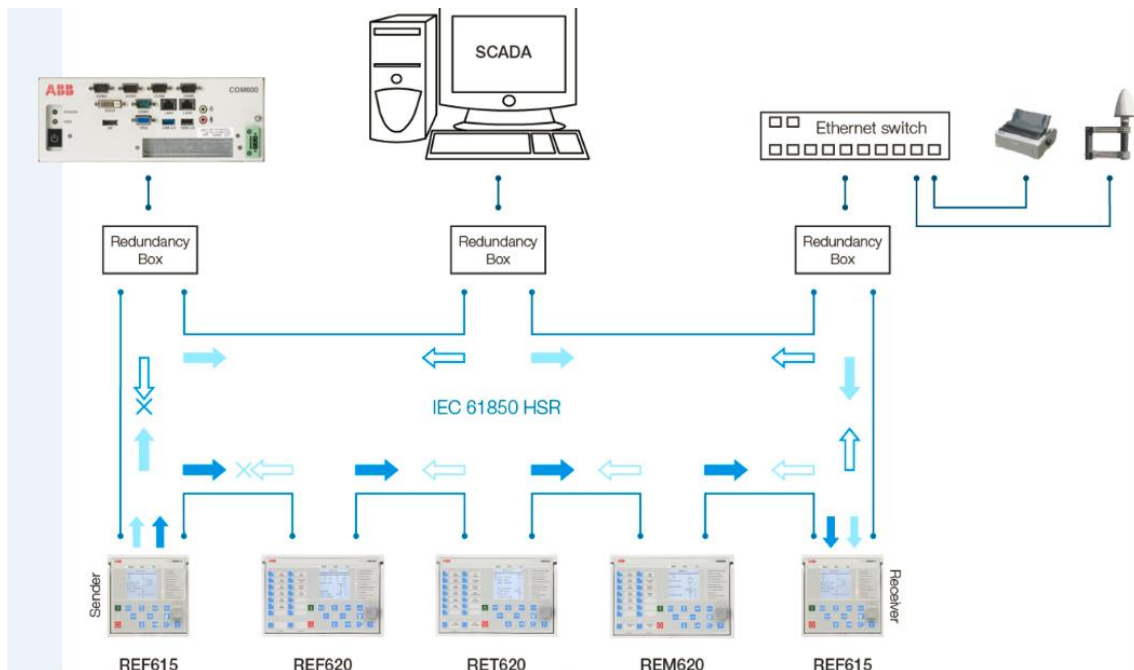
A redundância em PRP e HSR é suportada pelos relés de proteção da ABB e outros fabricantes e a escolha entre esses dois protocolos depende da aplicação específica e da funcionalidade necessária em cada subestação ou planta.

### **Sincronização de tempo**

Quando se utiliza o conceito de Valores Medidos Amostrados (SMV), todos IEDs envolvidos, seja na publicação ou na recepção dos sinais, devem ter seus relógios internos sincronizados. Essa sincronização é feita baseada no Protocolo de Tempo de Precisão (PTP – Precision Time Protocol, conforme definido na Norma IEEE 1588), com precisão de microssegundos.

O método de sincronização PTP permite o uso da rede Ethernet existente para propagar mensagens de sincronização pela rede, o que elimina a necessidade de cabeamento extra na subestação, corroborando com a otimização de instalações e cabeamentos, promovida pela digitalização da rede e uso dos conceitos da Norma IEC 61850 (figuras 6 e 7).





## IEDs de proteção multifuncional

Os IEDs de proteção multifuncional são uma solução compacta e versátil para distribuição de energia em aplicações industriais e de concessionárias. Eles fornecem configurações padrão para aplicações específicas, o que permite ao usuário adaptá-los e configurá-los facilmente.

Um IED de proteção de alimentador, por exemplo, é projetado para a proteção, controle, medição e supervisão de sistemas de distribuição de energia elétrica e industrial, incluindo redes radiais, em loop e em malha, também envolvendo possível geração de energia distribuída. Eles suportam comunicações peer-to-peer baseadas no IEC 61850 e podem publicar ou receber mensagens GOOSE e SMV.

Os IEDs atualmente representam o centro de controle de um painel de Média Tensão e são responsáveis por todo o funcionamento lógico dos cubículos.

Além de sua função principal de proteção, os IEDs permitem o monitoramento e controle remoto dos cubículos e seus componentes.

### **Testando o painel digital de média tensão**

Para garantir que o painel digital de média tensão funcione com sucesso sob condições ambientais desafiadoras, é necessário realizar testes de EMC para os sensores de corrente e de tensão. Os testes precisam ser realizados em um laboratório de testes EMC credenciado, de acordo com os padrões IEC 60044-8 (sensores de corrente) e IEC 60044-7 (sensores de tensão).

Exemplo disto, o Painel Unigear Digital da ABB que comprovou o desempenho superior de EMC do painel, realizando testes específicos em tempo real da EMC, conduzidos no laboratório de alta tensão da Universidade de Stuttgart. Esses testes são ainda mais exigentes em comparação com os padrões IEC mencionados acima.

Além disso, foram conduzidos também testes simulando o arco nos contatos do carrinho do disjuntor durante as operações de comutação, bem como testes na comutação de uma carga do reator com re-ignições. Ambos os testes foram aprovados sem descobertas de arco no ambiente de comutação.

Durante todos esses testes, o tráfego do barramento de processo foi monitorado sem nenhum efeito negativo registrado. Também foi realizado um teste de robustez específico do tráfego Ethernet transmitido pelos fios metálicos, durante



o teste de arco interno do painel nos laboratórios do CESI. Sendo que, nenhuma influência no tráfego GOOSE Ethernet foi registrada.

## **Os benefícios do painel digital de média tensão**

O painel digital de média tensão representa uma solução inovadora que atende a importantes requisitos do futuro:

- flexibilidade;
- maior eficiência do processo;
- menor custo de operação;
- integração maximizada;
- confiabilidade e segurança.

Com essa tecnologia avançada, o usuário não precisa enfrentar muitos dos desafios comuns nas aplicações mais complexas de hoje, podendo se concentrar em atender aos requisitos de aplicativos e criar uma rede elétrica confiável e eficiente, devido ao uso de componentes certificados: sensores de corrente e tensão, proteção e relés de controle com comunicação digital IEC 61850.

O painel deve ser facilmente adaptado às mudanças implementadas em sua aplicação, não havendo a necessidade de substituir equipamentos de potência do painel, mas apenas atualizando os parâmetros ou lógicas do relé de proteção. Isso só será possível através da comunicação digital entre painéis, ao invés de usar sinais tradicionais com fio.

Com suas características lineares, os sensores devem operar em uma ampla faixa de correntes primárias, e havendo uma mudança na corrente de carga da aplicação, o equipamento permanece o mesmo.

O painel digital de média tensão fornece uma solução confiável que minimiza o risco de interrupções e aumenta a disponibilidade dos disjuntores alimentadores, pois os sensores não usam núcleo de ferro e, por isso, são imunes a perturbações na rede, como a ferro-ressonância. Suas dimensões reduzidas fazem com que os sensores tenham menos material de isolamento, o que reduz o risco de degradação no painel. Além disso, aumenta também a segurança do pessoal de operação por suas conexões de baixa tensão, mitigando erros entre o sensor e o relé de proteção, sendo detectados e acionados esquemas de backup imediatamente.

#### **Painéis elétricos e a Indústria 4.0**

A transformação digital é um caminho sem volta e afeta a todos os setores sem exceção. Todos esses movimentos trazem grandes desafios para que as empresas se transformem da mesma maneira, investindo fortemente em seus negócios. É um cenário que incentiva a ruptura do modelo tradicional, promovendo o aumento de sua eficiência operacional, do seu valor agregado e contribui para novas possibilidades baseadas em tecnologia e serviço.

O uso da IoT para a conectividade e sensoriamento de ativos, redes, equipamentos e subestações pode trazer ao negócio informações antes desconhecidas e prover melhorias significativas. É o antever-se com propriedade. É o enxergar todas as coisas de fato.

*\*José Carlos Procópio e Henrique Santos são da ABB.*