



TESTES DE CONFORMIDADE EM RELÉS MULTIFUNCIONAIS BASEADOS NA IEC 61850

Marcelo Eduardo de Carvalho Paulino *

Adimarco Representações e Serviços LTDA
marcelo@adimarco.com.br

Resumo

A integração de IEDs multifuncionais em subestações complexas requer desenvolvimento de um protocolo padrão que reúna as funcionalidades de proteção, controle, monitoramento, registro de dados e medida.

O estabelecimento da norma IEC 61850 para redes de comunicação e sistemas em subestações elétricas possibilita o desenvolvimento de aplicações baseadas em comunicação ponto a ponto de alta velocidade, com medidas distribuídas, controle, proteção e soluções baseadas em amostras de valores analógicos.

O trabalho descreve os princípios de IEDs baseados na IEC 61850. Também discute os requerimentos e princípios dos testes aplicados ao sistema baseados na IEC 61850. A comparação entre o teste funcional de IED convencional e teste de IEDs baseados em redes de comunicação são descritos no decorrer do trabalho.

Palavras-Chave: Comunicação, Subestação, Testes, Interoperabilidade, Protocolo.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de proteção têm evoluído bastante com a utilização de dispositivos numéricos de proteção, utilizando cada vez mais relés microprocessados. Isto impõe desafios às equipes de ensaio e manutenção ^[1] proporcionais às inovações tecnológicas implementadas nas instalações que operam com esses sistemas de proteção.

Rapidamente estes relés estão evoluindo para os Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IED - *Intelligent Electronic Devices*) que, comparados com equipamentos de proteção eletromecânicos e estáticos, apresentam um caráter multifuncional relacionado não apenas com funções de proteção, mas também com muitas funções adicionais. Recentemente, esses IEDs adquiriram ainda capacidade de comunicação e integração das funções de controle.

Uma das características desses IEDs é permitirem a execução de funções de proteção e controle distribuídas sobre uma rede local de subestação (SLAN) devido suas potencialidades internas de alta velocidade.

Os sistemas de controle e proteção de subestação podem ser otimizados usando essa SLAN para aperfeiçoar o controle lógico, diminuindo a fiação da instalação, promovendo desenvolvimentos dirigidos pelas possibilidades tecnológicas e pela constante otimização dos recursos disponíveis. Em outras palavras, a utilização de uma rede local permite a substituição da fiação de comando de cobre rígida por uma instalação de comando digital. Isso permite uma grande melhoria na funcionalidade da proteção sem qualquer aumento no custo. Portanto, esses dispositivos estão começando a ganhar uma larga aceitação, sendo reconhecidos como essenciais para a operação eficiente e gerenciamento de uma subestação moderna.

Este trabalho traz os conceitos utilizados na padronização dos protocolos de comunicação em Sistemas digitais de Automação de Subestações (SAS - do inglês *Substation Automation System*), resultando na IEC 61850 ^[2]. Mostra seus princípios e aplicações. Abrange ainda a questão dos IEDs baseados nessa padronização, descrevendo experiência prática mostrando a interoperabilidade de IEDs. Esta interoperabilidade ou capacidade de operar diferentes funções do sistema entre IEDs de diferentes fabricantes se tornou uma necessidade imprescindível para esses aplicativos obterem sucesso comercialmente. Essa é a razão de se obter a compatibilidade durante a operação dessas funções e a eficiência no aplicativo utilizado pelos fabricantes de IEDs.

Também são abordados testes e ensaios para validação desses IEDs, seus requisitos e necessidades. Apresenta, para as equipes de ensaio e manutenção, soluções onde testes adequados somente são possíveis com a utilização de um equipamento de teste especializado e

* Marcelo Paulino é Gerente Técnico da ADIMARCO Representações e Serviços Ltda. Av. das Américas 500 – Bloco 21 – Sala 336, Barra da Tijuca. CEP22640-100 – Rio de Janeiro – RJ – BRASIL. Fone:21 24947140 E-mail: marcelo@adimarco.com.br ou mecspaulino@yahoo.com.br

com capacidade de reproduzir as características do sistema de comunicação. Isto aponta para novos desafios dentro da área de ensaios, tanto no comissionamento quanto nos testes de rotina. Para a realização de ensaios adequados nesses relés é necessário utilizar um equipamento especializado com capacidades similares de comunicação.

O desenvolvimento e a implantação dos dispositivos baseados na IEC 61850 e dos sistemas de automação da subestação necessitam de uma nova geração de dispositivos de teste e métodos especiais para o ensaio funcional de diferentes componentes do sistema.

2. A APLICAÇÃO DA IEC 61850 EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÃO

Nas últimas décadas, muitos protocolos de comunicação são usados em subestações. Alguns desses protocolos são mostrados como exemplo na figura 1.

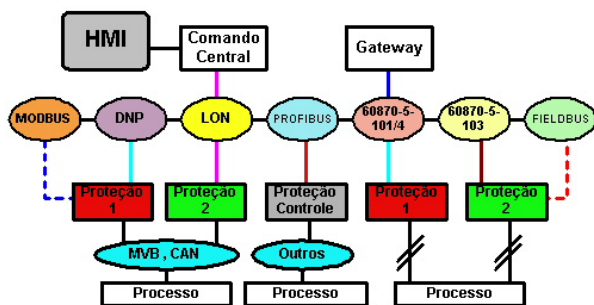


Figura 1: Protocolos usados antes da IEC61850

Alguns protocolos são concebidos para aplicações específicas ou configurações de instalações únicas. Outros são estruturados utilizando-se padrões ou normas internacionais, mas também são ajustados às necessidades de instalações locais. Isto vale muito pouco quando buscamos um protocolo que possa abranger todas as necessidades do SAS.

Se um SAS é fornecido por um fabricante apenas, as comunicações entre o controle e os equipamentos de proteção são naturalmente bem coordenados. Entretanto, um sistema totalmente fornecido por apenas um fabricante é raro. Geralmente observamos que um SAS é constituído por vários equipamentos de diferentes fabricantes.

As empresas fornecedoras desses sistemas de automação têm identificado altas despesas, quando da montagem e manutenção de um sistema, por que a interoperabilidade dos equipamentos é conseguida com êxito somente pelos recursos de muitas conversões de protocolos.

A IEC 61850 define alguns caminhos para o intercâmbio de dados entre IEDs que pode ser usado de diferentes formas no controle distribuído e aplicações de proteção. Esses caminhos introduzem um novo conceito que requer uma abordagem e tecnologia diferente para serem aplicados aos componentes

individuais do SAS, como atendimento a requisitos de desempenho, por exemplo.

Atualmente, as soluções existentes são baseadas nas conexões com fiação fixa entre os equipamentos primários da subestação – transformadores, disjuntores, etc., e o secundário como equipamentos de proteção, monitoração, controle e registro de dados.

Com as características atuais dos IEDs existe uma significativa sobreposição na funcionalidade entre equipamentos de diferentes tipos. Grupos tipicamente diferentes dentro de uma instalação reúnem vários equipamentos capazes de exercer diversas funções, tais como:

- Relés de Proteção
- Medidores
- Equipamentos de controle
- Equipamentos de Monitoração
- Registradores de Eventos
- Monitores de Qualidade de Energia
- Unidade Terminal Remota (UTR)

Cada dispositivo acima necessita ser instalado, conectado ao equipamento de subestação e testado. Considerando os requerimentos para redundância, muitos destes dispositivos necessitam de um elemento principal e outro de backup, dobrando assim, todos os custos relacionados com as atividades acima.

Vale ressaltar que as necessidades da instalação de relés são totalmente diferentes dos dispositivos de medição. Como resultado disto, eles necessitam de seus próprios transformadores, que permitem medição exata de energia ou de outros parâmetros de sistema.

Tomando-se por base os IEDs mais modernos, existentes ou em desenvolvimento, podemos alcançar um aperfeiçoamento significativo na funcionalidade e alguma redução de custo envolvendo proteção, controle, monitoramento e gravação de eventos e sinais, todos integrados na subestação.

3. TESTE DE VALIDAÇÃO DO PROTOCOLO – INTEROPERABILIDADE ENTRE IED'S

Desde o final da década de 90 vários trabalhos e demonstrações mostraram a interoperabilidade do sistema operando com redes de comunicação.

Em 2004, G.Wong, K. P. Brand e T. Rudolph [3] mostraram a validação da interoperabilidade na aplicação da norma IEC61850 através de testes conclusivos.

Usando seus trabalhos de desenvolvimento como base, ABB, AREVA e SIEMENS começaram o teste de interoperabilidade em 2002. Tais testes visavam certificar que a norma estaria disponível para realizar as tarefas na ordem em que fossem requeridas, beneficiando os usuários.

Muito progresso foi obtido com estes testes e os resultados ajudaram no desenvolvimento da norma, mostrando que a IEC6180 cumpre as expectativas e sua aplicabilidade é inquestionável. Os dispositivos de três fabricantes foram conectados a uma rede em anel Ethernet 100 Mbit/s, conforme mostrado na figura 2.

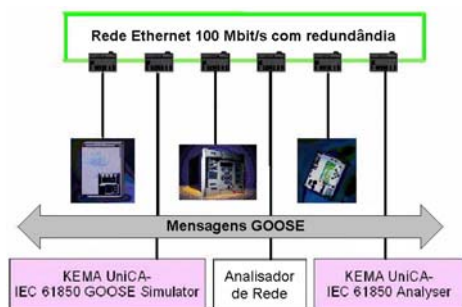


Figura 2: Arranjo para testes de mensagem GOOSE com Equipamentos da ABB, AREVA e SIEMENS.

Um aspecto importante é notarmos que a rede em anel oferece redundância entre as rotinas de mensagens. Este recurso possibilita que no caso de um defeito no cabeamento do anel ou em uma swith da rede Ethernet, a comunicação entre os nós remanescentes permaneceria trabalhando normalmente.

No ensaio, o equipamento de teste OMICRON gera uma mudança de sinal na entrada para uma determinada unidade. Esta unidade provoca uma mensagem com vários trajetos ou arranjos, enviada simultaneamente para outras unidades, caracterizadas como receptores (*receivers*). Esta mensagem é chamada GOOSE.

Um GOOSE é uma sigla derivada do inglês *Generic Object Oriented Substation Event*, ou seja, um Objeto Genérico Orientado pelo Evento de Subestação. Esta mensagem contém o relatório assíncrono dos eventos dos IEDs de proteção e o status dos elementos lógicos de um ponto a outro ponto dos dispositivos. Somente aqueles IEDs registrados para receber uma mensagem GOOSE agirão no status que ela contém.

A vantagem deste tipo de comunicação é que a informação é trocada diretamente entre os IEDs e os dispositivos conectados na rede, mesmo sem mestre ou sem nível de controle de superposição dos dados da mensagem. Isso oferece também redundância para o sistema porque se houver superposição das camadas de falta, interlocando, por exemplo, o sistema continuará funcionando. Este teste foi assistido por um equipamento de análise do KEMA.

3.1 Constatando a Interoperabilidade do Sistema – Linguagem de Configuração da Subestação (SCL)

Um importante aspecto da IEC 61850 é a configuração da linguagem SCL que habilita a configuração da subestação e possibilita facilmente a especificação da relação da comunicação entre as unidades que compõem o SAS, e com a ajuda de testes e ajustes adequados, podem ser implementados imediatamente no projeto. A relação entre o equipamento secundário e o diagrama unifilar é também descrito. Assim, o processo de especificação e implementação oferece um enorme potencial para racionalização das diferentes práticas existentes na implementação dos projetos.

Mensagens GOOSE podem ser flexivelmente compiladas de acordo com a IEC 61850 e esta característica é examinada.

Os resultados do teste são ilustrados na figura 3. Dentre um total de 39 casos de teste, 35 resultaram em sucesso completo. Dois casos de teste foram rejeitados devido a erros de implementação. Outros dois testes foram encerrados por causa da ambigüidade gerada nos documentos padrões. A deficiência descoberta era corrigida e alterações nos documentos eram rapidamente realizadas. Ressalta-se a flexibilidade do sistema, onde as mensagens SCL eram habilitadas e descritas, estabelecendo assim a comunicação.

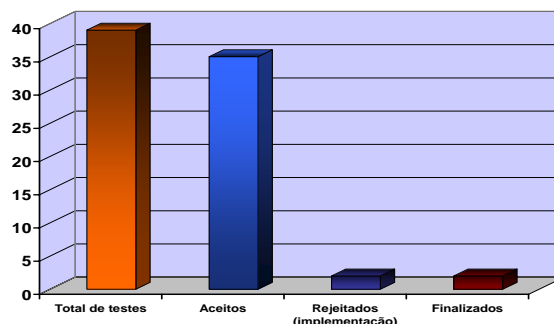


Figura 3: Resultados de teste

Os equipamentos participantes nunca haviam sido conectados juntos antes do teste. Porém, eles comunicaram entre si imediatamente quando o teste foi iniciado e transferência de dados ocorreu corretamente. Como esperado, os equipamentos não configurados não reagiram como os equipamentos configurados.

Os testes realizados mostraram que os equipamentos continuavam a se comunicar de maneira estável apesar da grande quantidade de mensagens, mais de 100, no tempo de 50ms. Em suma, este primeiro teste tem sido considerado como um grande sucesso para a norma IEC 61850.

A figura 4 mostra os testes realizados pelo Comitê de Subestação do IEEE, que se reuniu em Abril de 2003 em Sun Valley, Idaho, USA. Sob organização do UCA International, realizou-se uma sessão de demonstração de 6 horas na qual os fabricantes mostravam seus últimos trabalhos em IEC 61850.

Baseados em testes de interoperabilidade realizados em Berlim, ABB, ALSTOM e SIEMENS mostraram a transmissão de sinais trip sobre a Ethernet usando mensagens GOOSE [4].

O tema da demonstração foi uma função intertripping. Foi realizada a simulação de uma situação real consistindo de três disjuntores, cada um designado para um relé de proteção de um dos fornecedores. Os dispositivos eram conectados via uma rede Ethernet e a comunicação foi configurada de acordo com o IEC 61850.

O equipamento de teste OMICRON simulou um curto-circuito e a corrente foi injetada no relé SIEMENS. Este emitiu um trip local para seu circuito de proteção e, ao mesmo tempo, enviou uma mensagem GOOSE utilizando a rede Ethernet para os relés ABB e ALSTOM para iniciar intertripping. Os relés ABB e ALSTOM independentemente receberam a mensagem GOOSE e cada trip local gerado. Os três trips locais foram indicados pelos respectivos.



Figura 4: Demonstração de Interoperabilidade, Sun Valley, Idaho, USA - 2003.

A figura 4 mostra o layout da demonstração. Os visitantes ficaram impressionados pela transferência rápida de mensagens e pela característica de envio e recepção de sinal que o IEC 61850 forneceu através da Ethernet para alto desempenho de comunicação de subestação.

4. TESTES FUNCIONAIS EM APLICAÇÕES BASEADAS NA IEC61850

Tanto os ensaios ponto a ponto de alta velocidade baseado em sistemas de controle e proteção usando a SLAN, como a comprovação do funcionamento de IEDs baseados na IEC61850 ou UCA2.0 [5], apresentam novos desafios para os engenheiros de proteção.

No caso do ensaio de um relé microprocessado convencional, o equipamento de teste deve simular uma seqüência de estados, realizando mudanças dinâmicas nas grandezas analógicas através de suas saídas de tensão e corrente. Esses ensaios também podem ser realizados através da reprodução de eventos reais ou eventos gerados em softwares de simulação como ATP/EMTP, armazenados em formato COMTRADE ou PL4, configurando um teste transitório.

Ao mesmo tempo, o equipamento teste deve simular os contatos auxiliares de disjuntores e de quaisquer outros dispositivos que podem afetar o desempenho do relé em teste. Ainda, para completar a análise, esse mesmo equipamento de teste deve monitorar as saídas do relé em teste a fim de detectar as mudanças dos estados simulados (disparo, partida, bloqueio, etc.) e avaliar o desempenho desse IED. A figura 5 traz um diagrama, mostrando os requisitos para este teste. A figura 6 ilustra as conexões necessárias.

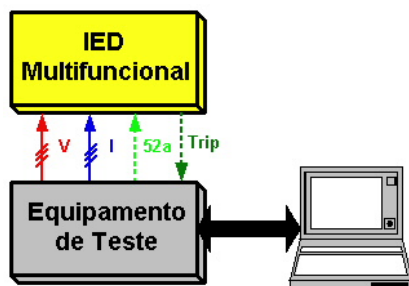


Figura 5: Esquema de ensaio de um relé convencional

Como descrito anteriormente, as mensagens utilizadas no protocolo (por exemplo, as mensagens GOOSE) substituem a sólida instalação elétrica, ou seja, o cabeamento usualmente utilizado, como sinais de do

IED para os disjuntores e outros dispositivos na subestação.

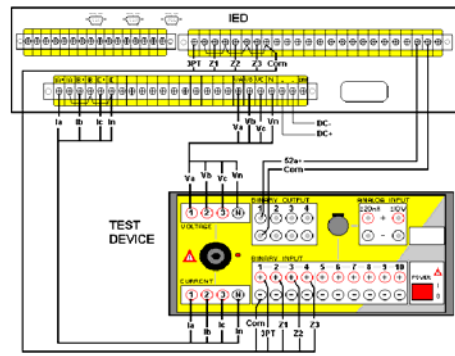


Figura 6: Conexões para teste de um relé convencional

Por outro lado, pode-se conceber uma instalação que tenha, ao mesmo tempo, uma combinação de sinal de cabeamento usual, trabalhando com sinais analógicos, binários, juntamente com eventos com mensagens GOOSE fornecendo um conjunto de sinalizações de estados do sistema.

As configurações de teste com a definição dos requisitos e métodos para o teste funcional baseados nas características dos sistemas de proteção e controle distribuído, definidos por A. Apostolov e B. Vandiver, são apresentadas [6].

Esses sistemas podem ser convencionais ou utilizar comunicação baseada na IEC61850.

A figura 7 mostra uma configuração de teste para uma implementação parcial das soluções com comunicação baseada na IEC61850. Neste caso a conexão do IED multifuncional com o processo é similar aos métodos convencionais, isto é, com cabeamento de sinais entre o objeto sob teste e o equipamento de teste.

As comunicações baseadas em funções distribuídas neste caso usam mensagens GSSE da IEC61850 ou GOOSE. Neste caso todos os equipamentos com interface de comunicação devem ser conectados à rede da subestação com mostrada a seguir.

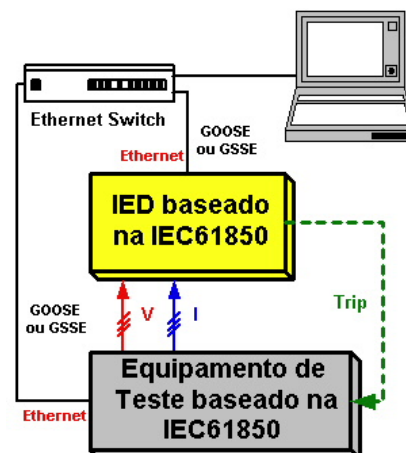


Figura 7: Teste funcional em IED baseado na IEC61850 com mensagens GSSE

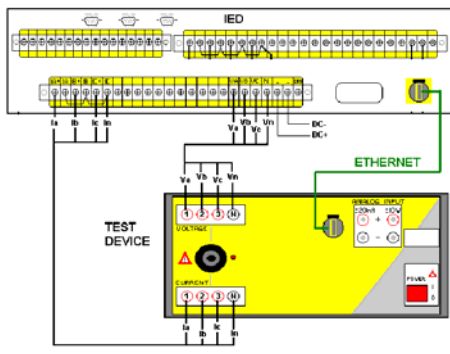


Figura 8: Conexões para IED baseado na IEC61850 com mensagens GSSE

Outra diferença que deve ser assinalada entre os sistemas de teste convencional e o sistema baseado na funcionalidade da IEC61850, é que o processo de simulação deve necessariamente ser capaz de simular, interpretar, enviar e receber mensagens GSSE entre o equipamento de teste e o objeto sob teste. Um exemplo é a indicação dos contatos auxiliares dos disjuntores monitorados pelo IEC testado.

As formas de ondas simuladas em um teste funcional, o registro da operação das saídas do relé e as mensagens de comunicação são mostradas na figura 9.

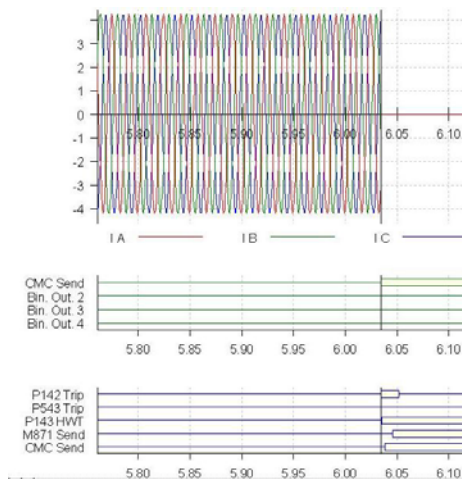


Figura 9: Resultados de Teste funcional em IED baseado na IEC61850 com mensagens GSSE

Nota-se o registro da operação da saída de Trip (HWT) do relé através da fiação convencional e da saída de Trip baseada na mensagem GSSE de forma idêntica e com faixas de tempo inferior a 100µs.

No caso de aplicação de Unidades de Medida baseada na IEC61850 que envia sobre a rede informações sobre os valores analógicos amostrados da subestação. A conexão de teste é similar à configuração mostrada na figura 10.

Neste caso, os sinais analógicos do equipamento de teste serão conectados à Unidade de Medida. O IED baseado na IEC 61850 enviará uma mensagem GSSE para a Unidade de Entrada/Saída (I/O) que irá operar um relé de saída para controlar o processo, por exemplo, o comando de trip para o disjuntor. O equipamento de teste monitora os diferentes sinais e pode analisar sua atuação, medindo, por exemplo, qualquer elemento temporizado.

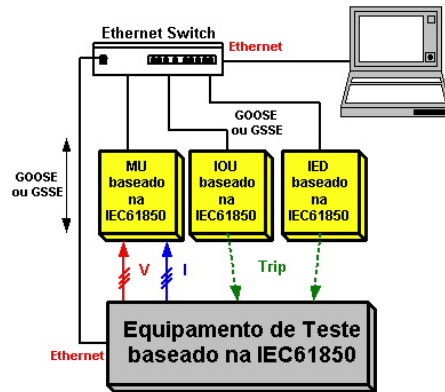


Figura 10: Teste funcional em IED multifuncional com unidades de medida e I/O, baseado na IEC61850 com mensagens GSSE.

Quando o IED multifuncional com a função testada opera, ele enviará uma mensagem GSSE que controlará o processo para a unidade de interface. O equipamento de teste identifica e captura esta mensagem e também detecta a operação da saída binária da unidade de interface.

A diferença entre esses dois eventos pode ser usada para calcular o tempo requerido para enviar a mensagem GSSE sobre a rede, processada na unidade de interface e operar a saída binária.

Se o IED baseado na IEC 61850 testado também possui uma saída binária, o equipamento irá monitorá-la. Isto pode fornecer informação valiosa sobre a avaliação do desempenho do processo.

5. ESPECIFICAÇÃO DE SISTEMA TESTE BASEADO NA IEC61850

Um sistema de teste [7] dever permitir um ensaio apropriado, adequado às exigências do sistema de proteção e comunicação, simulando as características da subestação e do sistema elétrico. Para tal, ele deve possuir as seguintes funções:

- Simuladores de sinal analógico que proporcionam correntes e tensões aos IEDs testados.
- Simuladores de sinal digital que representam as mudanças do status do disjuntor e outro simulador de sinais com controle remoto tal como saídas tradicionais dos IEDs.
- Simuladores de comunicação que geram mensagens GSSE/GOOSE a fim de simular a operação de outros IEDs conectados à rede da subestação local.
- Analisador de mensagem GSSE/GOOSE que monitora e registra o tempo das mensagens recebidas proveniente do IED em teste a fim de avaliar o desempenho/resposta do relé.
- Ferramentas de configuração que permitam ao usuário configurar o dispositivo teste para os requisitos dos IEDs testados e enviar mensagens GSSE/GOOSE simuladas para múltiplos IEDs incluídos no sistema de

proteção, operando com comunicações de alta velocidade ponto-a-ponto distribuídas.

- Software de teste que permite configuração flexível das seqüências de teste solicitadas e simulações que utilizam as funções acima.

6. CONCLUSÕES

A interoperabilidade entre IEDs de proteção proveniente de diferentes fabricantes se torna importante para obtenção de uma operação adequada da interligação dos dados na subestação, seja para funções de proteção, para funções de controle e ainda para melhorar a eficiência das aplicações de relés microprocessados.

Comunicações de alta velocidade ponto-a-ponto entre IEDs conectados à rede da subestação com base na troca de mensagens GSSE/GOOSE podem ser utilizadas com sucesso para diferentes proteções e aplicações de controle tais como a proteção de barramentos distribuídos. O ensaio deste tipo, baseado nos sistemas de proteção e controle, apresenta novos desafios para engenheiros de proteção e técnicos, pois necessitará de uma metodologia adequada e novas ferramentas para obtenção de sucesso no futuro.

Com o lançamento de um padrão abrangente para as interfaces, modelos de objeto e protocolos em uma subestação, os dispositivos de teste de relés de proteção de sistema de potência com redes de comunicação devem ser configurados de forma a adequar-se ao sistema a ser testado e possuir uma interface amigável para o acesso do usuário.

Este conjunto de teste de relés de proteção se tornará no futuro um Dispositivo de Teste Universal (*Universal Test Device - UTD*)^[1]. Conectando o UTD à rede e selecionando um IED adaptável a IEC61850, os comportamentos do sistema elétricos gerados pelo UTD são lidos pelo relé. A análise deste comportamento elétrico é realizada pelo sistema de proteção, segundo sua estrutura de dados e aplicações parametrizadas, usando uma linguagem de configuração de subestação comum para todos os IED.

O desenvolvimento e implementação de equipamentos e sistemas de automação baseados na IEC61850 requerem uma nova geração de equipamentos de teste especializados e métodos para testes funcionais para os diversos componentes de sistema, que devem obedecer aos seguintes diretrizes:

- O ensaio funcional de IEDs baseados na IEC 61850 é uma fase crítica em todo comissionamento e teste de manutenção dos Sistemas de Automação de Subestação - SAS.
- O desenvolvimento e a implantação dos dispositivos baseados na IEC 61850 e dos sistemas de automação da subestação necessitam de uma nova geração de dispositivos de teste e métodos especiais para o ensaio funcional de diferentes componentes do sistema.

- A simulação do processo da subestação e o monitoramento do funcionamento dos dispositivos testados ou do controle distribuído e das funções de proteção são totalmente diferentes. O ensaio convencional necessita de uma sólida instalação elétrica entre o equipamento de teste e o objeto sob teste, enquanto no caso das aplicações baseadas do IEC 61850, podem-se utilizar parcial ou completamente os canais de comunicações.
- Diferentes configurações de ensaio foram analisadas e demonstraram que o estado da arte dos sistemas de teste pode ser implementado com êxito, para o ensaio funcional do controle baseados na IEC 61850 e das funções de proteção em diferentes níveis de implantação de comunicações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. E. C. Paulino, "Sistema Automatizado de Teste de Proteção Elétrica – OMICRON, Novas tecnologias para teste secundário em painéis de comando e proteção", Adimarco – 2002.
- [2] IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations – www.61850.com/index.html.
- [3] G.Wong, K. P. Brand, T. Rudolph, Interoperability Testing and Validation of IEC61850 Protective Relays. Anais do *International Protection Testing Symposium 2004* – Omicron electronics GmbH 2004.
- [4] M. E. C. Paulino, M. Gutierrez, "Avanços Recentes em Testes de Relés Digitais Operando em Redes e Sistemas de Comunicação em Subestações Elétricas". Anais do *SENDI 2004 - XVI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica* – Brasília-DF, Brasil, 2004.
- [5] UCA 2.0 é uma marca registrada de EPRI e usada sob permissão.
- [6] A. Apostolov, B. Vandiver, "Functional Testing of IEC 61850 Based IEDs and Systems". New York – USA, 2004.
- [7] M. Gutierrez, B. Vandiver III, "Recent advances in digital relay Testing", *6th Symposium Iberoamericano*, Monterrey, NL - 2002.

8. BIOGRAFIA



Marcelo Paulino graduou-se como Engenheiro Eletricista na Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI). Possui larga experiência em engenharia de sistemas de potência, particularmente na área de Testes e Ensaios em Equipamentos Elétricos. Atualmente é gerente do Departamento Técnico da Adimarco Representações e Serviços LTDA, no Rio de Janeiro - Brasil. Atua no contato

direto com clientes no fornecimento de equipamentos, pós-venda e treinamento. É instrutor certificado pela OMICRON electronics. Também responsável pela preparação, projeto e execução de prestação de serviço na área de teste de proteção e equipamentos de sistemas elétricos de Usinas e Subestações de 500/345/138/13,8 KV. Instrutor convidado do Curso de Especialização em Proteção de Sistemas Elétricos CEPSE (UNIFEI-SEL-FUPAI) em 2004. Atuou como instrutor externo na Fundação de Pesquisa e Assessoramento a Indústria – FUPAI. Autor e co-autor de trabalhos técnicos em eventos no Brasil e no exterior. Membro do IEEE.