



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - XV

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS – GTL

TESTES DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO E CONTROLE COM INTERFACES DE COMUNICAÇÃO

M. E. C. Paulino *
Adimarco

RESUMO

Este trabalho discute os padrões de teste e comissionamento que avaliam a funcionalidade e as características de proteção e controle operando com interfaces de comunicação. O trabalho aborda o protocolo existente na norma IEC61850 e testes de dispositivos baseados nela. O trabalho ainda mostra aplicações de testes funcionais, testes de interoperabilidade e testes de sistema.

PALAVRAS-CHAVE

IEC61850, testes, GOOSE, SV, proteção, automação de subestação, redes de comunicação.

1.0 - INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência consiste de uma extensa e complexa malha devido à interligação de grandes centros de geração e consumo de energia elétrica. No caso de linhas de transmissão, o sistema de proteção com esquemas de teleproteção é concebido utilizando-se IEDs (dispositivos eletrônicos inteligentes), um em cada ponta da linha de transmissão, e um sistema de comunicação entre eles.

Além disso, a evolução tecnológica impõe mudanças, onde em uma instalação convencional, a troca de dados entre os IEDs é realizada por conexões com fiação metálica, tanto para os sinais analógicos quanto para os sinais binários e comando dos equipamentos de manobra e alarmes (entradas e saídas digitais). Além da maior quantidade de material utilizado, o número de entradas e saídas estava limitado aos terminais de hardware disponíveis. Com o uso de IEDs e a utilização da rede Ethernet, principalmente com o advento da norma IEC61850, os sinais analógicos e digitais via fiação metálica são substituídos por dados que trafegam na rede. Os requisitos para o teste e validação de IEDs e os sistemas de comunicação das redes de IEDs integrados possuem diferentes abordagens e necessitam de ferramentas de teste apropriadas.

Estas ferramentas de teste devem estar preparadas para avaliar os componentes individuais do sistema, bem como o desempenho da operação conjunta das diferentes funções habilitadas no sistema testado. Quando o sistema de proteção e automação é composto por uma estrutura de comunicação, a validação do sistema deve prover o teste dos IEDs individuais e do sistema de comunicação em conjunto. Este trabalho discute os padrões de teste e comissionamento que avaliam a funcionalidade e as características de proteção e controle testando os IEDs individualmente e os testes sistêmicos, ou seja, testes que avaliam todo o sistema de proteção e comunicação associadas. A aplicação desses testes é possível com o uso de um método capaz de testar o sistema completo.

Esse trabalho mostra exemplos de aplicação, inclusive envolvendo o trabalho coordenado de equipes técnicas de várias empresas, evidenciando a complexidade do planejamento, coordenação e execução dos testes, não apenas pelas dificuldades técnicas inerentes.

Ainda abordando os sistemas de comunicação aplicados aos dispositivos de proteção, o trabalho aborda o protocolo existente na norma IEC 61850 que possibilita novas formas de realizar ensaios nos IEDs de uma subestação através de linguagem de configuração de subestação e da arquitetura de comunicação. Enquanto esta realidade ainda não está totalmente implantada, uma solução alternativa de arquitetura de teste remoto para

aplicação nos sistemas baseados na IEC61850 é discutida neste artigo. A principal vantagem na realização de ensaios remotos de IEDs e sistemas é o fato de o especialista estar distante do local do ensaio eliminando o tempo de espera do deslocamento até o local do problema, melhorando a desempenho de atendimento.

2.0 - SISTEMA DE PROTEÇÃO, AUTOMAÇÃO E CONTROLE COM COMUNICAÇÃO

Os sistemas simples ou complexos de proteção, automação e controle distribuídos utilizam recursos de comunicação onde as funções podem estar localmente na subestação ou podem ser dispostas e acionadas em diferentes níveis hierárquicos desses sistemas. Elas podem ser iniciadas pelos elementos de monitoramento, baseados na mudança de estado dos equipamentos ou variação dos parâmetros do sistema. A figura 1 mostra vários níveis do sistema de proteção automação e controle (PAC) que usa IEDs de proteção multifuncionais como dispositivos nos níveis de monitoramento e execução do sistema.

Todas as interfaces de comunicação utilizadas no sistema podem ser baseadas em diferentes protocolos e usar diferentes tipos de links de comunicação. A norma IEC 61850 desempenha um papel cada vez mais importante devido aos benefícios significativos que as mensagens ponto-a-ponto de alta velocidade desempenham na aplicação dos diferentes elementos funcionais do esquema de proteção, automação e controle.

O conhecimento da hierarquia funcional do sistema e das interfaces entre seus componentes desempenha um papel importante para determinar os requisitos de teste funcional de dispositivos e aplicativos distribuídos. Eles determinam o limite funcional necessário para descrever o comportamento da subfunção (SF), da função (F) ou do sistema completo testado. O comportamento do sistema, ou de cada um dos seus componentes, precisa ser descrito como a relação entre um conjunto de estímulos aplicados as suas entradas e a alteração do estado das saídas da função, subsistema ou sistema testado [1].

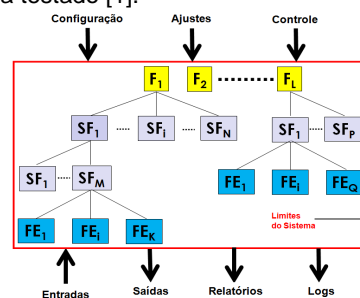


FIGURA 1 – Diagrama de blocos simplificado da hierarquia do sistema de PAC

2.1 Componentes de Sistema para Eliminação de Falhas

Os IEDs de proteção não são o único componente de um sistema de eliminação de falha. Eles são responsáveis pela detecção de uma condição de falha, pela determinação da causa da falha e pela decisão das medidas específicas para eliminar ou reduzir o seu impacto no sistema elétrico de potência e seus componentes. Entretanto não são o único elemento que exige testes para garantir a segurança do sistema sob diferentes condições de operação. Se analisarmos os componentes de um sistema típico de eliminação de falha, conforme mostrado na Figura 2, a falha potencial de cada elemento individual pode levar ao fracasso de operação ou uma operação indesejada sob condições normais ou na fronteira entre a operação normal ou a falha. Em especial o sistema de comunicação utilizado pelos dispositivos de proteção e automação.

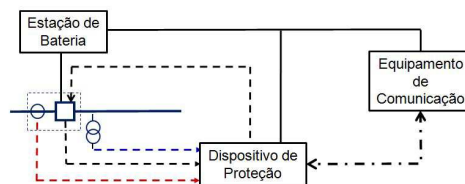


FIGURA 2 – Sistema de eliminação de falha

Se o sistema de proteção utiliza comunicações entre as duas extremidades de uma linha de transmissão protegida, os componentes do elo de comunicação entre os relés também fazem parte do sistema de eliminação de falha que precisam ser considerados quando da determinação dos requisitos para os testes de validação. Por último, mas não menos importante é o dispositivo de proteção em si, com seus módulos de entrada binária, analógica e saídas de relé, estruturas de medição e funções de proteção. Quando discutimos os requisitos para o teste do sistema de PAC devemos fazer isso dentro do contexto do sistema de eliminação de falha e não como dispositivos isolados. Ao mesmo tempo, precisamos analisar as razões para o teste, uma vez que irá determinar que tipo de testes deva ser realizado e que equipamentos de teste e ferramentas serão mais adequados para o teste.

3.0 - REQUISITOS DE COMUNICAÇÃO ESTABELECIDOS PELA NORMA IEC 61850

A parte 5 da norma IEC61850 define os requisitos para comunicação das funções implementadas nos diversos níveis do sistema de automação da subestação e para os modelos dos dispositivos [2]. As funções são estabelecidas e determinadas de acordo com as tarefas a serem executadas na subestação, como monitoramento, controle e proteção dos equipamentos na subestação. A figura 3 mostra as interfaces lógicas e os níveis da subestação. O modelo de dados da IEC61850 especifica automaticamente todos os dados obrigatórios para a

descrição dessas funções. Esses dados obrigatórios compõem uma lista mínima de sinais que pode ser controlado com a ajuda de Nós Lógicos, LN. Os dados necessários para sua configuração das funções distribuídas estão contidos na especificação de cada função. A razão, o como e porque esses dados sejam comunicados pelos IEDs está fora das especificações das funções, mas dentro da solução proposta por parte dos fornecedores e do sistema integrador. A norma IEC61850 estabelece o modelo de dados de comunicação. A função de proteção fica a cargo do fabricante do IED. A descrição dessas funções e a nomenclatura dos nós lógicos podem ser obtidas através da leitura do texto da norma na parte 7-4 da norma IEC 61850 [3].

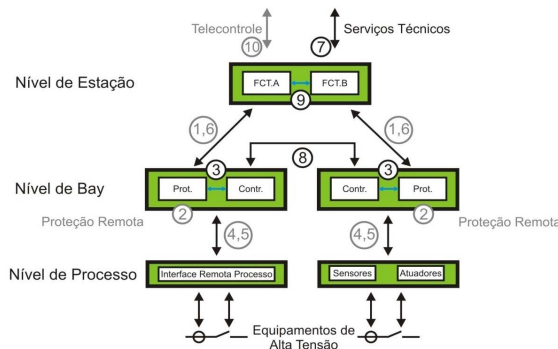


FIGURA 3 – Interfaces lógicas e os níveis da subestação [2].

3.1 Modelo de Dados e Modelo de Comunicação da Norma IEC 61850

A comunicação entre dois sistemas normalmente utiliza-se um conjunto de regras que define o tipo das mensagens e a ordem que elas devem ser trocadas. Esse conjunto de regras é conhecido como um protocolo. Quando a comunicação exige um grande número de protocolos esses são agrupados em funcionalidades formando uma camada e o conjunto de camadas forma uma pilha de protocolos.

O objetivo principal de um protocolo (ou uma pilha de protocolos) é fazer com que sistemas (ou equipamentos), mesmo que tenham arquiteturas internas distintas, falem a mesma regra de comunicação e assim consigam trocar informações. Conforme já descrito anteriormente, a norma IEC 61850 especifica o conjunto de funções e protocolos. O protocolo na norma IEC 61850 define dois modelos: o modelo de dados e o modelo de comunicação. O modelo de dados define funções, os nós lógicos, que modelam as funções de automação e controle de uma subestação que possuem atributos e serviços seguindo a técnica de orientação a objetos. A norma abandona o paradigma de equipamento físico e especifica funções (LN) que são hospedadas no hardware (IED).

O modelo de comunicações da norma IEC 61850 é baseado no conceito de definição abstrata. A interação entre o modelo de dados e modelo de comunicação é realizada pelo *Abstract Communication Service Interface* (ACSI). Para se tornar parte do mundo real devem-se mapear estes serviços sobre um protocolo real. O ACSI é responsável por realizar o mapeamento para os protocolos ISO 9607 (MMS) e IEEE 802.3. A figura 4 mostra a interface abstrata que descreve a comunicação entre um cliente e um servidor remoto e a interface de comunicação para sistemas cujo tempo de troca de dados é um fator crítico, como funções de proteção.

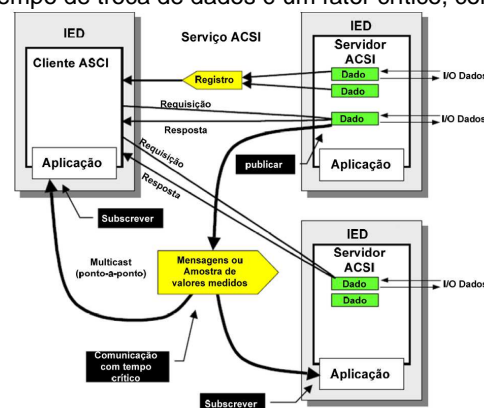


FIGURA 4 – Interface abstrata que descreve o método de comunicação ACSI [3].

3.2 Mapeamento dos Serviços de Comunicação da Norma IEC 61850

A parte 8.1 da norma IEC 61850 define o serviço de mapeamento específico (SCSM) para os protocolos ISO 9506-1 e ISO 9506-2 (MMS) e ISO/IEC 8802-3 [5] e utiliza a filosofia de cliente e servidor. Este tipo de aquisição normalmente é realizada para atender os sistemas de aquisição de dados (SCADA) dos centros de controles ou outras funções que não necessite de requisitos de tempo. Os clientes emitem solicitações de serviço e recebem confirmações do serviço que foi processado no servidor. Um cliente também pode receber indicações de relatório de um servidor. Todas as solicitações de serviço e respostas são comunicadas pela pilha de protocolo que está sendo usada por um mapeamento de serviço de comunicação específico.

Existem vários serviços explicitados na parte 7-2 da norma IEC61850 que são mapeados para protocolos e perfis de comunicação que não fazem uso da norma ISO 9506 (MMS, devido a informações com restrições crítica de

tempo [4]). De acordo com a parte 7-2, os serviços são mapeados em quatro diferentes combinações:

- *Cliente/Servidor*: núcleo de serviços ACSI com o uso do conjunto de protocolos MMS
- *Time Sync*: realiza o sincronismo de tempo com o protocolo Simple Network Time Protocol - SNTP
- *Sampled Values (SV)*: valores amostrados de corrente e tensão transmitidos na rede
- *GOOSE (generic object oriented substation events)* e *GSSE (generic substation status event)*: mensagens da classe GSE (generic substation event)

No modelo OSI apenas as duas primeiras camadas, física e de enlace, são comuns a todos os serviços e suas respectivas mensagens sendo que na camada física utilizam-se dados do tipo Ethernet. Com o objetivo de permitir a cobertura de diferentes requisitos no sistema de comunicação da subestação, as mensagens definidas na parte 5 da norma IEC61850 são classificadas conforme o desempenho.

As classes de desempenho são definidas de acordo com as funcionalidades requeridas na subestação. A norma IEC 61850 especifica dois tipos de mensagem para atender aplicações com requisitos de tempo críticos: GOOSE e GSSE. A mensagem GOOSE manipula grande quantidade de dados organizados em *Data Set* (blocos de dados) e a mensagem GSSE manipula estado da subestação organizado em par de bits.

Cada IED da rede de comunicação deve determinar o emissor da mensagem e se o dado recebido é de seu interesse. Isto caracteriza uma mensagem como *multicast* e a mensagem GOOSE enviada pode ser recebida e utilizada para diferentes dispositivos na rede, ou para um destinatário apenas. É também realizada uma filtragem pelo endereço MAC para aumentar o desempenho de recepção das mensagens multicast.

No caso de valores amostrados, definidos na parte IEC-61850-9.2 LE, cada mensagem tem amostras de corrente e tensões trifásicas. Tendo em vista que o objetivo é eliminar qualquer tipo de latência no processo de transmissão da mensagem, a comunicação é do tipo editor (*Publisher*) e assinante (*Subscriber*). Neste tipo de comunicação não existe nenhum tempo gasto estabelecendo conexão ou de negociação para iniciar uma seção de comunicação. O emissor publica as mensagens e os usuários subscritos capturam a mensagem que tem interesse.

3.3 A Merging Unit e o Barramento de processo

O barramento de processo definido na parte 9-2 da norma IEC 61850, especifica o uso da conexão digital entre os IED de proteção, controladores de vão ou medidores que estão ao nível. Isso promove a digitalização da conexão entre esses IEDs e os transformadores de corrente e potencial. Essa conexão utiliza a rede ethernet e as informações são trocadas utilizando o nível de enlace (camada 2 do modelo OSI).

A conexão digitalizada do barramento de processo utiliza dispositivos chamados de *Merging Unit* para realizar a função de interface entre os TC/TP convencionais ou não convencionais e os IEDs alocados no nível de vão. Os valores de tensão e corrente provenientes dos TC/TP são processados (amostrados) e em seguida são gerados e distribuídos valores de saída chamados "analog sampled value" ou valores analógicos amostrados, em conformidade e padronizado de acordo com a norma IEC 61850-9-2. A figura 5 ilustra a mensagem SV emitida pelo publicador. A comunicação adotada para a *Merging Unit* (MU) é serial e *multidrop*, onde a MU pode-se conectar a mais de um elemento, além de ser simplex e ponto a ponto.

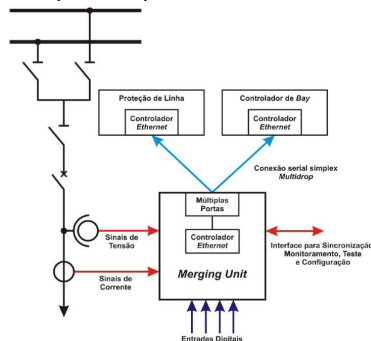


FIGURA 5 – Exemplo de utilização de um link ponto a ponto multidrop serial unidirecional [6]

4.0 - REQUISITOS PARA UM DISPOSITIVO DE TESTE UNIVERSAL

Um dispositivo de teste deve permitir um ensaio apropriado, adequado às exigências do sistema de proteção e comunicação a ser testado, simulando as características da subestação e do sistema elétrico. Para tal, deve possuir as seguintes funções:

- Simulação de sinais analógicos de correntes e tensões aos IEDs testados e simulação de sinais amostrados na rede (SMV) de acordo com IEC 61850 9-2;
- Simulação dos sinais digitais que representam as mudanças do estado do disjuntor e dos sinais de controle remoto, tais como saídas tradicionais para os IEDs e simulação de mensagens GOOSE;
- Análise de eventos binários e mensagens GOOSE, com monitoramento e registro do tempo dos dados proveniente dos IEDs em teste a fim de avaliar seu desempenho. O dispositivo de teste deve ser capaz de mapear as mensagens de diferentes IEDs de vários fabricantes ao mesmo tempo;
- Simulação de rede elétrica, com ferramentas de configuração que permitam ao usuário configurar o equipamento de teste para as necessidades de validação dos sistemas e IEDs testados e prover o envio de mensagens GOOSE simuladas para múltiplos IEDs incluídos no sistema de proteção;
- Simulação de processo de teste, com ferramenta de teste que permita a configuração flexível das

seqüências de teste necessárias para a validação dos IEDs sob teste, com a aplicação de correntes e tensões correspondentes a estados de pré-falha, falha e pós-falha, em regime permanente ou transitório.

- Dispositivos de sincronização de tempo que atendam aos requisitos do sistema sob teste.

O desenvolvimento e implementação de equipamentos e sistemas de automação baseados na norma IEC61850 requerem uma nova geração de equipamentos de teste especializados assim como de métodos para testes funcionais para os diversos componentes de sistema.

4.1 Concepção de Conjunto Completo de Teste

O teste completo das funções dos barramentos de processo e estação baseados somente em comunicação (IEC 61850 8-1 ou IEC 61850 9-2) será realizado de forma similar ao teste de IEDs individuais. A diferença principal é que neste caso haverá múltiplos dispositivos de teste com simuladores virtuais ou saídas analógicas. A simulação do ambiente da subestação e do sistema irá requerer a simulação de múltiplas *Merging Units* baseadas na IEC 61850 9-2 e outros IEDs (interface IEC 61850 8-1). A avaliação do desempenho das funções distribuídas neste caso estará baseada na subscrição dos componentes do sistema de teste para as mensagens GOOSE dos diferentes IEDs envolvidos. Se estes dispositivos tiverem também relés de saída com fiação rígida para os dispositivos de teste, sua operação deverá ser monitorada também a fim de avaliar o desempenho do sistema testado. Se necessário, deve comparar os resultados utilizando rede de comunicações e os dados obtidos com fiação rígida. Um diagrama de bloco simplificado deste sistema do teste é mostrado na figura 6.

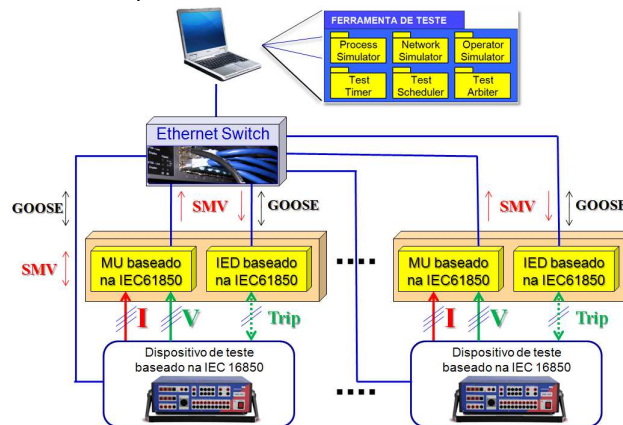


FIGURA 6 – Diagrama de bloco simplificado de um conjunto completo de teste

5.0 - TESTES FUNCIONAIS DE SISTEMAS COM INTERFACES DE COMUNICAÇÃO

Os procedimentos de teste funcionais podem ser divididos em várias categorias. Eles estão relacionados com a complexidade da funcionalidade dos dispositivos individuais. Esses dispositivos são usados em diferentes níveis hierárquicos do sistema, além de possuírem diferentes tipos de funções distribuídas implementadas.

Deste ponto de vista são apresentados os métodos de teste mais utilizados:

- Teste do elemento funcional
- Teste de interoperabilidade
- Teste de integração e sistema

5.1 Teste de Elemento Funcional

O objetivo do teste de um elemento funcional é determinar se o elemento testado tem o comportamento esperado sob diferentes condições de testes reais, enquanto os testes de sistema olham o desempenho completo do sistema sob um ponto de vista de um observador externo. Os elementos funcionais no teste do sistema são considerados unidades, ou seja, os menores componentes do sistema que tem interface visível e comportamento definido.

O teste funcional deve ser realizado com equipamento de teste capaz de simular sinais analógicos de correntes e tensões e sinais amostrados na rede (SV). Devem também simular e subscrever sinais binários convencionais e mensagens GOOSE via rede Ethernet de vários IEDs simultaneamente, independentes do fabricante. Um diagrama de bloco simplificado deste sistema do teste é mostrado na figura 7.

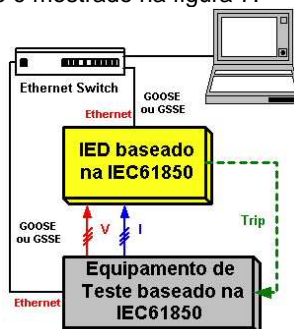


FIGURA 7 – Diagrama de bloco simplificado de um sistema do teste

A seguir é descrita a arquitetura de teste remoto de um IED utilizando a rede de comunicação da empresa para realizar ensaios à distância entre o ponto em que se encontra o especialista e o ponto de localização do IED e do equipamento de teste [7]. São mostrados os resultados de testes realizados entre cidades distantes 800 km. No cenário de teste tem-se a cidade do Camaçari-BA como ponto de localização do especialista que comandará o teste e a cidade do Recife-PE como ponto de localização do IED e do equipamento de teste. Foi utilizado um equipamento de teste OMICRON CMC356 capaz de injetar simultaneamente 10 sinais analógicos, sendo 4 tensões de 0 a 300 V e 6 correntes de 0 a 32 A em cada canal a escolha do usuário. O equipamento também é capaz de simular e subscrever sinais GOOSE via rede Ethernet, ao mesmo tempo em que é capaz de efetuar a leitura de sinais binários convencionais através de contatos via cabeamento rígido. Foi também utilizado um IED Areva P443, habilitado com uma proteção de distância. A figura 8 mostra o arranjo do teste. A figura 9 mostra o cenário do teste com a descrição e localização de cada IP dos pontos da rede utilizada.

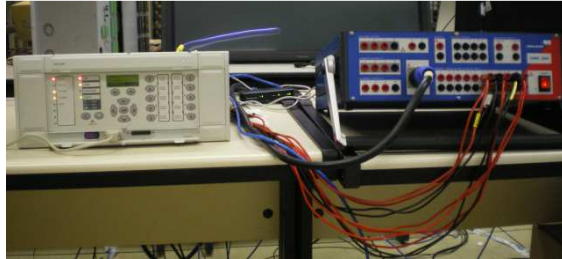


FIGURA 8 – Arranjo do teste com Equipamento OMICRON CMC356 e IED P443 em Recife-PE [7]

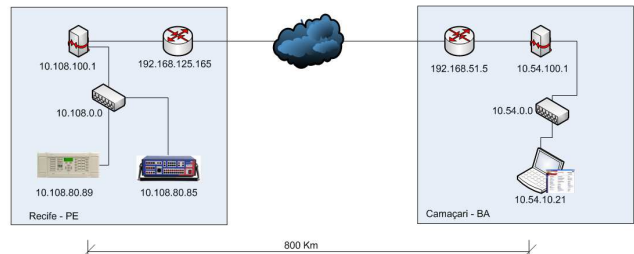


FIGURA 9 – Cenário de teste entre Recife-PE e Camaçari-BA [7]

Foi parametrizada uma função de distância no IED com tempo de zona 1 como instantâneo e tempo de zona 2 com 200ms. O equipamento de teste foi ajustado para injetar uma falta de forma a sensibilizar a atuação de primeira zona da proteção. O procedimento adotado implicou na realização da injeção da falta descrita, repetida 40 vezes. O primeiro grupo de 40 testes foi realizado pelo operador remoto, localizado em Camaçari. O segundo grupo de 40 testes, utilizando a mesma configuração de teste, foi realizado pelo operador local, localizado junto ao equipamento de teste. A figura 10 mostra o resultado de um dos testes realizados com a oscilografia dos sinais de tensão e corrente e a resposta do IED.

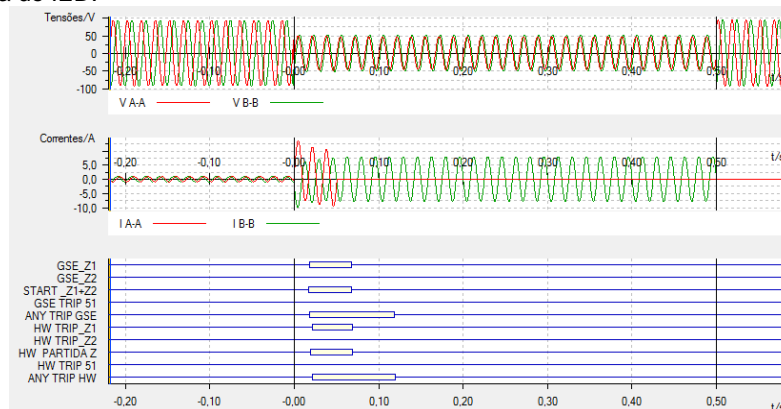


FIGURA 10 – Resultado de teste – Omicron NetSim [7]

Os resultados obtidos não mostraram diferenças importantes entre valores de atuação do IED para o teste remoto e para o teste local. Isto correu porque a leitura da resposta do IED foi feita pelo equipamento de teste e não pelo computador que estava gerenciando o teste. Este computador serve apenas como uma interface para o usuário acessar os resultados lidos pelo equipamento de teste. É imperativo que o equipamento de teste comporte-se como um IED e possua um GOOSE Data-Set para subscrever e simular as mensagens GOOSE. Nessas condições, a localização do operador ou usuário responsável pelo teste não influencia no resultado do teste.

5.2 Teste de Interoperabilidade

Um teste de interoperabilidade de um dispositivo é necessário para aceitação desse produto antes de ele ser aceito para uso em um sistema de PAC. Ele destina-se a verificar o comportamento correto de qualquer dispositivo quando integrado como parte de um sistema. Isso é feito para garantir que este dispositivo interoperará corretamente com outros dispositivos já utilizados no sistema. Esses dispositivos existentes não serão, necessariamente, do mesmo fabricante ou tecnologia do novo dispositivo.

Esses testes de interoperabilidade devem ser limitados a simulação que resultará no envio e recebimento de diferentes tipos de mensagens necessários para aplicações distribuídas entre dispositivos individuais tais como mensagens GOOSE da norma IEC 61850. O teste de interoperabilidade é realizado no laboratório no início do processo de concepção do sistema e é usado para garantir que todos os dispositivos sejam capazes de trocar corretamente os tipos de mensagens utilizados. A seguir é mostrado um exemplo de teste de interoperabilidade em uma estação de teste montada na CHESF, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, em Recife-PE. Trata-se de

uma instalação preparada para colocar em operação vários IEDs, contando com um Switch e Simulado de Bay [8]. No exemplo descrito foram parametrizados e monitorados os relés Siemens 7SJ62 e o relé Areva P442. Para sensibilizar o esquema de proteção foram aplicados simultaneamente 3 canais de tensão e 6 canais de corrente (analógicos ou SV) no sistema. Durante 500 ms foram aplicados sinais de pré-falta, e depois foram aplicados e mantidos sinais relativos a uma falta no ponto da carga 1, mostrado na figura 11. O IED P442 envia o trip para o disjuntor via mensagem GOOSE. Com a manutenção da falta por mais de 2 segundos, o P442 envia a partida de falha de disjuntor para o IED 7SJ62 também por mensagem GOOSE, e este por sua vez atua instantaneamente enviando trip via Cabeamento Rígido para o disjuntor entre a barra 1 e 2.

O esquema de teste mostrado na figura 12 foi concebido com CMC356 da Omicron, permitindo mapeamento e subscrição simultâneos de sinais analógicos e mensagens SV pela rede, bem como sinais binários e mensagens GOOSE Diagrama de bloco. No primeiro teste o IED Areva P442 recebe sinais de tensão e corrente analógicos. No segundo teste o IED P442 é substituído por outra unidade P442, onde os sinais de corrente e tensão são recebidos através de sinais SV pela rede. O sistema de teste utilizado, CMC356 da Omicron, pode mapear e subscrever simultaneamente sinais analógicos e mensagens SV pela rede, bem como sinais binários e mensagens GOOSE.

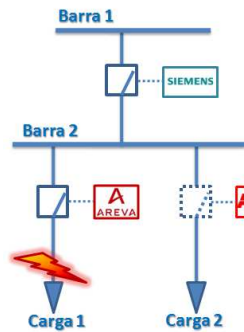


FIGURA 11 – Esquema do sistema elétrico testado [8]

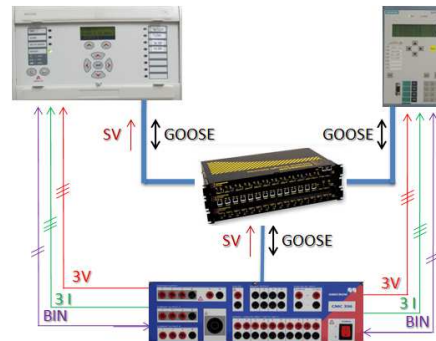


FIGURA 12 – Esquema de teste CMC356 da Omicron e IEDs [8]

Os tempos de atuação do sistema testado, com sinais analógicos ou com o sistema híbrido são mostrados nas figuras a seguir, mostrando que os sistemas foram aprovados.

Avaliação do Tempo					
	Nome	Parar	Tnom	Treal	Tdesv
1	TEMPO TRIP P442	TRIP P442 GSE 0>1	500,0 ms	538,6 ms	38,60 ms
2	TEMPO PARTIDA BF	BF P442 GSE 0>1	2,000 s	2,037 s	37,40 ms
3	TEMPO TRIP 7SJ62	TRIP 7SJ HW 0>1	2,000 s	2,051 s	51,20 ms
4	TEMPO PARTIDA BF APÓS TRIP P442	BF P442 GSE 0>1	1,500 s	1,499 s	-1,200 ms
5	TEMPO TRIP 7SJ62 APÓS PARTIDA BF	TRIP 7SJ HW 0>1	20,00 ms	13,80 ms	-6,200 ms

FIGURA 13 – Tabela de medida dos tempos de atuação dos IEDs atuando somente com sinais analógicos [8]

Avaliação do Tempo					
	Nome	Parar	Tnom	Treal	Tdesv
1	TEMPO TRIP P442	TRIP P442 GSE 0>1	30,00 ms	32,60 ms	2,600 ms
2	TEMPO PARTIDA BF	BF P442 GSE 0>1	1,500 s	1,532 s	32,00 ms
3	TEMPO TRIP 7SJ62	TRIP 7SJ HW 0>1	1,500 s	1,546 s	46,00 ms
4	TEMPO PARTIDA BF APÓS TRIP P442	BF P442 GSE 0>1	1,500 s	1,499 s	-600,0 μs
5	TEMPO TRIP 7SJ62 APÓS PARTIDA BF	TRIP 7SJ HW 0>1	20,00 ms	14,00 ms	-6,000 ms

FIGURA 14 – Tabela de medida dos tempos de atuação dos IEDs atuando com SV e sinais analógicos [8]

5.3 Teste de integração e sistema

Teste de integração é usado para garantir que os componentes individuais do sistema não só interoperem corretamente, mas também é usado para garantir o atendimento aos requisitos de desempenho de acordo com a especificação do sistema de proteção, automação e controle. Neste caso eles irão incluir testes dos dispositivos nas duas extremidades de um link de comunicações. Os procedimentos e ferramentas utilizadas estão na categoria de testes ponta a ponta e teste de subsistema.

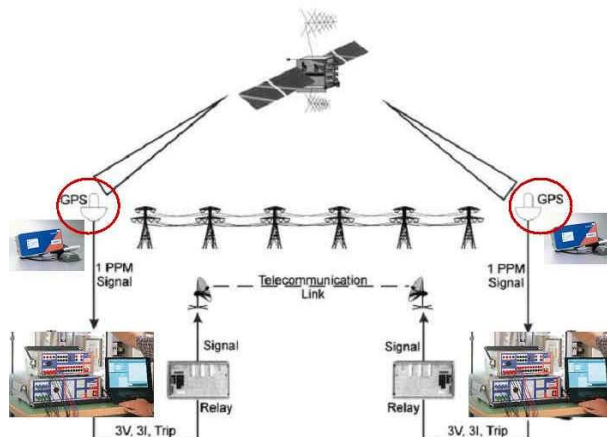


FIGURA 15 – Esquemas de teste ponta a ponta em linha de transmissão [9]

No caso de proteção de linhas de transmissão, deve-se suportar o teste dos IEDs em cada ponta da linha de transmissão e da interface de comunicação, simulando as condições reais de atuação de todo sistema de proteção. Este método consiste no teste ponta a ponta, sincronizado por sinais de satélite do sistema de posicionamento global (GPS) ou pelo sinal IRIG-B, utilizando sinais transitórios gerados por softwares de simulação de rede ou

obtidos por sistemas de armazenamento de dados, como os registradores de perturbação. Com determinada condição de falta aplicada nos IEDs nas pontas da linha de transmissão, sincronizadamente, pode-se verificar a completa funcionalidade de todo esquema de proteção da linha.

Para execução de teste na proteção são utilizados conjuntos de teste de injeção secundária, largamente usados para executar testes de comissionamento e rotina com todos os tipos de relés, mostrado na figura 15. Assim este procedimento é capaz de testar o sistema completo como uma unidade, isto é, testar os relés em cada ponta da linha de transmissão e o link de comunicação, com um teste simulando as condições reais de atuação de todo sistema de proteção.

6.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

As funções de proteção e controle baseadas em interfaces de comunicação requerem uma abordagem diferente e ajustes de ferramentas próprias de teste dos componentes individuais do sistema, assim como a avaliação do desempenho das funções distribuídas por todo sistema de comunicação.

O teste funcional deve ser realizado com equipamento de teste capaz de simular sinais analógicos de correntes e tensões e sinais amostrados na rede (SV). Devem também simular e subscrever sinais binários convencionais e mensagens GOOSE via rede Ethernet de vários IEDs simultaneamente, independentes do fabricante.

Um teste de interoperabilidade de um dispositivo deve ser realizado para verificar o comportamento correto de qualquer dispositivo quando integrado como parte de um sistema, independente do fabricante ou da tecnologia dos dispositivos que compõe o sistema. É imperativo que o sistema de teste utilizado seja capaz de simular e registrar as informações simultaneamente de todos os dispositivos testados.

Teste de integração e sistema deverá incluir testes dos dispositivos individuais operando com os links de comunicações para garantir o atendimento dos requisitos de desempenho de acordo com a especificação do sistema de proteção, automação e controle.

No trabalho foram mostrados exemplos dos testes descritos.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PAULINO, M. E. C., APOSTOLOV, A. "Testes de Sistemas de Automação de Subestação Complexos Baseados na IEC 61850", In: Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, VII SIMPASE, Salvador, 2007.
- (2) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC-61850, part 5: communication requirements for functions and device models. 2003. IEC 61850-5:2003(E)
- (3) —. IEC-61850, part 7-4: basic communication structure for substation and feeder equipment – compatible logical node classes and data classes. 2003. IEC 61850-7-4:2003(E)
- (4) —. IEC-61850, part 7-2: basic communication structure for substation and feeder equipment – abstract communication service interface (ACSI). 2003. IEC 61850-7-2:2003(E)
- (5) —. IEC-61850, part 8-1: specific communication service mapping (SCSM) – mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3. 2004. IEC 61850-8-1:2004(E)
- (6) —. IEC-61850, part 9-1: specific communication service mapping (SCSM) – sampled values over serial unidirectional multdrop point to point link. 2003. IEC 61850-9-1:2003(E)
- (7) Paulino, M. E. C., Carmo U. A. "Solução de Arquitetura para Testes Automatizados a Distância de IEDs Utilizando Equipamento de Teste", In: Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, VIII SIMPASE, Rio de Janeiro, 2009.
- (8) Paulino, M. E. C., Carmo U. A. e Lellys D. "Validação de Sistema de Proteção e Controle com Implementação Completa da Norma IEC61850 – Teste de Interoperabilidade com Barramento de Estação e Barramento de Processo" in Proc. 2010 IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conf., São Paulo, SP, Brazil, 2010.
- (9) Paulino, M. E. C., Aoun G. M. "Teste Ponta a Ponta em Sistemas de Transmissão de 500kV Utilizando Sinais Transitórios Sincronizados por GPS", In: 5th Latin-American Congress: Electricity Generation and Transmission – São Pedro – SP; 2003.

8.0 - SOBRE O AUTOR



Marcelo Eduardo de Carvalho Paulino é engenheiro eletricista e especialista em Manutenção de Sistemas Elétricos pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá, MG. É instrutor certificado pela OMICRON Eletronics. Membro atuante do Cigré-Brasil, como representante brasileiro no WG B5.32, WG B5.06 e membro do A2-23. É Secretário do CE-03:057.01 - ABNT/CB-03 – COBEI (Comitê Brasileiro de Eletricidade). Representante brasileiro no TC57 da IEC. Autor e co-autor de mais de 50 trabalhos técnicos em eventos no Brasil e no exterior. Professor convidado em diversos cursos de pós-graduação. Atualmente é gerente técnico da Adimarco Representações e Serviços Ltda, no Rio de Janeiro. (marcelo@adimarco.com.br ou mecpaulino@yahoo.com.br).