



IX Seminário Técnico de Proteção e Controle

1 a 5 de Junho de 2008

Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil

Diretrizes para Ensaios de Interoperabilidade e Testes Funcionais em Relés Multifuncionais Baseados na Norma IEC61850

Marcelo E. de C. Paulino	Iony P. de Siqueira	Allan Cascaes Pereira
Adimarco	Chesf	UERJ/ONS
marcelo@adimarco.com.br	ioniy@chesf.gov.br	allancascaes@ons.gov.br

Palavras-chave

Comunicação,
IEC 61850,
Interoperabilidade,
Protocolo,
Subestações,
Testes.

Resumo

Neste trabalho são descritos os testes funcionais, de interoperabilidade e de sistema, que executam a verificação das características de IEDs ou Sistemas através de dispositivo capaz de simular as condições de teste correspondente aos dados técnicos de operação do sistema sob teste. O objetivo do teste é determinar se o elemento sob teste, já conforme com a IEC61850, tem o comportamento esperado sob diferentes condições reais de teste.

1. Introdução

A utilização da norma IEC 61850 permite a operação otimizada de todos os componentes integrados a um sistema de automação de subestação. Este processo ocorre devido à melhoria e desenvolvimento dos IEDs, onde podem ser agregadas funcionalidades específicas como a execução de funções de proteção e controle utilizando a rede local, alta velocidade nos dispositivos de comunicação, capacidade para aquisição de dados e medição, dentre outras. Algumas dessas funcionalidades não estão disponíveis em reles convencionais.

Em uma instalação convencional, a troca de dados entre os dispositivos de subestação nos níveis de vão e de processo 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 a norma IEC 61850 e a utilização da rede Ethernet, os sinais analógicos e digitais via fiação metálica são substituídos por dados que trafegam na rede. Pacotes de mensagens ou telegramas podem ser enviados pela rede em tempo real como valores amostrados na

rede ou mensagens GOOSE, sigla derivada de *Generic Object Oriented Substation Event*, ou seja, um Evento de Subestação Genérico Orientado a Objeto.

Os requisitos para o teste e validação de IEDs e redes de IEDs integrados baseados na norma IEC 61850 possuem diferentes abordagens e ferramentas de teste apropriadas. A execução dos testes requer a utilização 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.

Este trabalho descreve os tipos de teste em fábrica e em campo, bem como os escopos de teste aplicados em cada caso. Também apresenta as descrições de testes de conformidade, testes funcionais e testes de sistema. Estas descrições e definições, baseadas no texto da norma IEC 16580 e em relatórios de comitês de estudo do CIGRÉ fornecem importantes informações para os engenheiros responsáveis tanto pelo projeto quanto pela validação do sistema de automação de subestação.

2. A Norma IEC 61850 em Sistemas de Automação de Subestação

A estrutura de comunicação em uma instalação implica na utilização de elos físicos constituído por cabeamento rígido ou cabos óticos e no emprego de protocolos de comunicação que possam ser entendidos pelos equipamentos que estão se comunicando. Alguns protocolos são concebidos para aplicações específicas ou configurações de instalações únicas. Outros são estruturados utilizando-se padrões ou normas internacionais. Isto é insuficiente quando buscamos um protocolo que possa abranger todas as necessidades do SAS. A figura 1 mostra exemplos da ligação física e de protocolos que têm sido utilizados para a comunicação local em subestações.

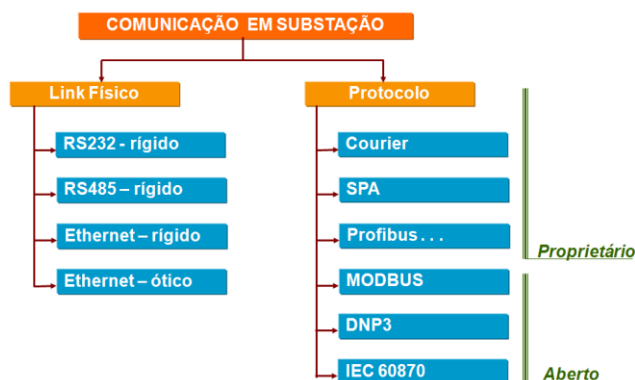


Figura 1- Exemplos de comunicação física e comunicação utilizando de protocolos

As necessidades de um mercado global somente são atendidas com a aplicação de um padrão também global, que reúna diversas filosofias a fim de atender às diferentes aplicações existentes. Esse padrão deve prever a existência de uma mistura de dispositivos, com comunicação convencional via cabeamento rígido e com a utilização da rede Ethernet. A necessidade de padronização dos protocolos de comunicação em Sistemas digitais de Automação de Subestações (SAS) levou o desenvolvimento da norma IEC 61850. Após mais de 10 anos, a última seção da norma, a IEC 61850-10 foi finalmente liberada para utilização. Isto ocorreu quando IEC e EPRI, juntamente com fabricantes de relés de proteção digital e sistemas SCADA, bem como concessionários de energia elétrica concordaram em ter uma única norma para a comunicação dentro da subestação.

Desde o final da década de 90 vários trabalhos e demonstrações mostraram a interoperabilidade entre os dispositivos dos sistemas operando com redes de comunicação e empregando a norma IEC61850. Isto possibilitou que as concessionárias de energia que utilizavam o UCA 2.0 começassem a migrar para a norma IEC 61850.

A norma IEC 61850 define um padrão para o intercâmbio de dados entre IEDs que pode ser usado de diferentes formas no controle distribuído e em aplicações de proteção. Esse padrão introduz um novo

conceito de projeto que requer uma abordagem e tecnologia diferentes da convencional para serem aplicadas aos componentes individuais do SAS.

A norma está dividida em 14 partes, reunidas em 10 capítulos. Com ela o uso do relé multifuncional deixou de ser utilizado como um elemento único, passando a constituir uma rede de IEDs que se comunicam e utilizam o conceito de funcionalidades distribuídas para modelar o sistema. Com o novo modelo de dados e a utilização da comunicação via rede, a norma IEC 61850 estabelece a utilização de três níveis hierárquicos:

- *Nível estação*: definido pela parte 8-1 da norma, com o mapeamento das camadas de comunicação (TCP/IP), mensagens GOOSE/GSSE (link) e sincronização de tempo (SNTP).
- *Nível vão*: definido pelo modelo de dados e aplicação das funções do sistema (capítulo 7)
- *Nível processo*: definido pelo capítulo 9 da norma, com os valores analógicos de tensão e corrente amostrados trafegando pela rede (Parte 9-2) e mensagens GOOSE/GSSE (Parte 9-1), também com a realização de sincronização de tempo (SNTP).

A configuração da comunicação em subestações é definida pelo capítulo 6 da norma IEC 61850. É utilizada para definir a Linguagem de Configuração de Subestação (SCL). Esta linguagem facilita a especificação da comunicação entre as unidades que compõem o SAS. Um dos principais objetivos do formato do formato da SCL é a uniformização da nomenclatura utilizada através de um modelo único de descrição de dados, criando um vocabulário comum.

Assim, o novo padrão utiliza a abordagem orientada a objeto e subdivide as funções em objetos denominados *nós lógicos* que se comunicam entre si. *Nó lógico* é um grupamento funcional de dados. É também a menor parte de uma função ou subfunção que pode intercambiar dados com outros objetos. Cada *Nó Lógico* possui seu próprio conjunto de dados. Os dados são compartilhados entre os nós lógicos segundo regras que são chamadas serviços. Os nós lógicos são agrupados em dispositivos lógicos (funções) – *Logical Devices* (LD) os quais estão contidos em dispositivos físicos (IEDs ou Servidores).

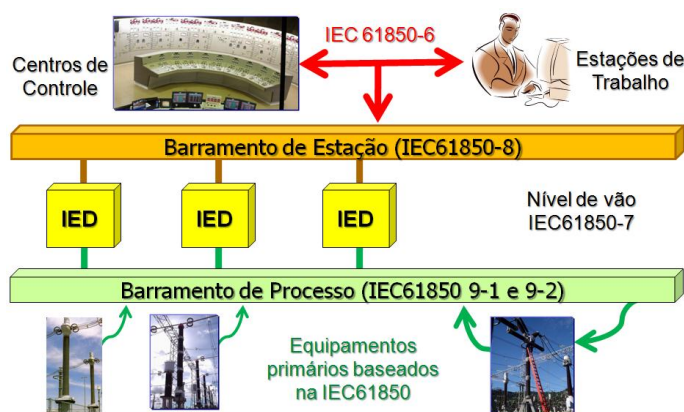


Figura 2- Aplicação da norma IEC61850 com representação dos barramentos de processo e estação

3. A Decomposição Funcional

A norma IEC61850 faz a decomposição funcional que é usada para entender a lógica da relação entre componentes de funções distribuídas. Para a comunicação é estabelecido o fluxo de dados correspondente à troca de informação entre componentes de funções distribuídas e são definidos os requisitos de desempenho.

Torna-se possível a modelagem da informação através da sintaxe e a semântica abstrata para a troca de informação e estão presentes como classes de objeto e tipos, atributos, métodos de objetos abstratos (serviços) e suas relações. Isto cria a hierarquia do modelo de dados, conforme mostra a figura seguir. As informações de controle incluem as mensagens GOOSE. Essas mensagens são utilizadas para comunicação em tempo real entre os IEDs. Cada IED pode enviar e receber mensagens GOOSE

utilizando os modos editor e assinante (respectivamente *publisher* e *subscriber*), mas somente aqueles IEDs registrados para receber uma mensagem GOOSE agirão no status que ela contém.

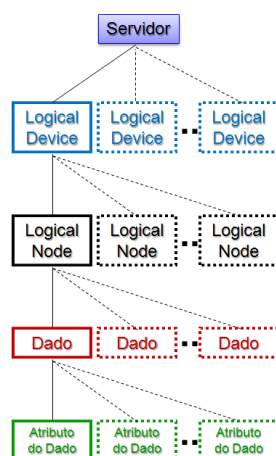


Figura 3 - Hierarquia do modelo de dados

O IED que envia (publica ou edita) uma mensagem é chamado de IED editor. Essa mensagem de comunicação não depende de um sinal de confirmação, sendo, porém, repetida várias vezes para aumentar sua confiabilidade. Isto substitui a fiação metálica que era utilizada para a troca do sinal de controle entre IEDs para interligação e funções de proteção, permitindo o envio de mensagens de alta velocidade e confiabilidade através da rede da subestação.

Além da possibilidade de transmitir as mensagens de comando e controle através da rede da subestação, a norma IEC61850 prevê a transmissão de valores analógicos amostrados na rede. Esse é um grande diferencial de uma aplicação completa da norma.

4. Os ensaios em relés multifuncionais baseados na norma IEC61850

Para assegurar que os modelos e serviços de um IEC ou SAS baseado no padrão IEC61850 sejam executados corretamente, a norma, em sua Parte 10, estabelece os procedimentos e as ferramentas para os testes de conformidade a serem realizados.

4.1. Teste de Conformidade

O objetivo do teste de conformidade é assegurar que um determinado IED fabricado segundo a IEC 61850 tenha seus modelos de dados e serviços executados corretamente e que todos os requisitos da norma sejam atendidos.

Isto melhora as possibilidades para a interoperabilidade entre os dispositivos individuais integrados no sistema, fornecendo o máximo de confiança ao cliente de que o dispositivo interoperará com outros dispositivos certificados, além de realizar um teste de tipo da interface de comunicação de um SAS.

O Teste de Conformidade deve incluir o seguinte:

- documentação e controle de versão, conforme IEC 61850 Parte 4, contendo os arquivos PICS, MICS e PIXIT;
- configuração (SCL), conforme IEC 61850 Parte 6;
- modelo de objeto de dados, conforme IEC 61850 Partes 7-3 e 7-4;
- serviços de comunicação, conforme IEC 61850 Partes 7-2, 8-1, 9-1 e 9-2.

A parte 10 da IEC 61850 não comenta sobre as entidades de conformidade, mas essas entidades são qualificadas pelo *UCA International Users Group*. Os IEDs submetidos a testes de interoperabilidade e testes funcionais devem passar pelo teste de conformidade e serem declarados conformes com a IEC 61850.

Todos os outros testes pressupõem que os IEDs ou sistemas submetidos a posteriores validações estão conformes com a norma citada.

4.2. Testes Funcionais

Com o propósito de definir corretamente os métodos para teste de sistemas de automação da subestação complexos baseados no protocolo IEC 61850 é importante definir corretamente o conceito de sistema. Deve-ser também considerar conhecidos os métodos existentes para o teste de sistema.

Os modernos sistemas de automação de subestações possuem softwares complexos para aplicações distribuídas baseados na troca de informações através da rede local da subestação. Pode-se também identificar similaridades significativas entre o teste de ferramentas complexas de software e sistemas de automação de subestações.

Testes de dispositivos e sistemas de automação de subestação baseados no padrão IEC 61850 requerem um bom entendimento da norma e das características funcionais do sistema testado, tais como:

- As condições nas quais os elementos estarão operando
- A funcionalidade do sistema
- A hierarquia do sistema
- Os dispositivos utilizados
- A arquitetura de comunicação
- Os princípios de operação ou algoritmos utilizado
- Os princípios do sistema de teste
- A funcionalidade das ferramentas de teste

O teste funcional executa a verificação das características de IEDs ou Sistemas através de dispositivo capaz de simular as condições de teste correspondente aos dados técnicos de operação do sistema sob teste (SUT - *System Under Test*). O objetivo do teste funcional é determinar se o elemento testado tem o comportamento esperado sob diferentes condições de teste reais.

4.3. Testes de Interoperabilidade

A interoperabilidade é a habilidade de trabalharem em conjunto um ou vários IEDs do mesmo fabricante ou de um ou vários fabricantes diferentes. Isto implica que os IEDs que compõem o sistema sob teste sejam capazes de exportar informação e usar a informação de outros IEDs para realizar suas funcionalidades.

Para o teste de interoperabilidade devem ser conectados à LAN dois ou mais IEDs, devendo ser geradas e transmitidas mensagens no padrão IEC 61850. Para isto, o equipamento de teste deve ser capaz de simular estas mensagens. Quando possível, uma solução mais realista será utilizar os próprios equipamentos do SAS para gerar as mensagens, desde que se disponha de um analisador compatível com a norma IEC 61850 capaz de analisar as mensagens GOOSE e demais mensagens geradas pelos IEDs.

O teste de interoperabilidade é usado para detectar qualquer problema potencial de interoperabilidade entre os elementos funcionais e/ou subfunções que são integradas no IED ou no sistema sob teste.

A figura 4 a seguir apresenta um possível arranjo para o teste de interoperabilidade, mostrando seus principais componentes.

4.4. Testes de Sistema

O teste de sistema tem por objetivo registrar o desempenho sob o ponto de visto de um observador externo. Considera-se que cada elemento funcional está operando corretamente e testa-se o desempenho de todo sistema. Um exemplo desta aplicação é o teste ponta a ponta em linhas de transmissão. O procedimento implica na utilização de sinais transitórios gerados por programas de

simulação de redes elétricas ou adquiridos por meio de registrador de perturbações, sincronizados por sinais de satélite do sistema de posicionamento global (GPS). A injeção do sinal de falha é realizada em todo sistema envolvendo os relés de proteção, dispositivos de comunicação e fiação do painel.

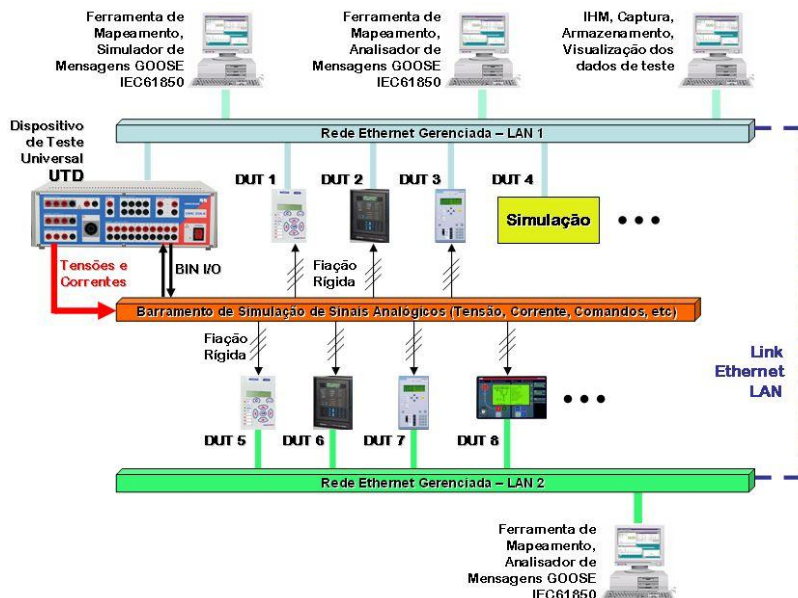


Figura 4 – arranjo para teste de interoperabilidade

5. Aplicações Quanto a Complexidade e Local de Aceitação do IED ou Sistema Testado

Dependendo da complexidade do sistema, seus componentes podem ser elementos funcionais simples, subsistemas ou uma combinação dos dois. Um subsistema é definido como um conjunto de elementos, que é um sistema próprio, e também uma parte de todo o SUT.

A hierarquia de sistemas complexos é mostrada na figura 5, usando-se um diagrama UML. Pode ser visto que o sistema pode conter de uma a muitas funções, que podem ter diversas camadas cada uma a muitas subfunções e assim em diante – a subfunção pode conter de uma a muitos elementos multifuncionais. Os elementos funcionais correspondem aos nós lógicos da IEC 61850.

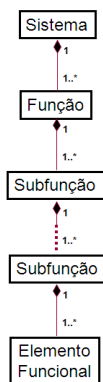


Figura 5 - Hierarquia de sistemas complexos usando-se um diagrama UML

O equipamento de teste deve ser capaz de realizar automaticamente o teste completo no sistema de automação de subestação integrado, em um subsistema ou em uma função distribuída. Seu objetivo é avaliar se a funcionalidade e interoperabilidade do sistema estão de acordo com as exigências requeridas.

Os testes funcionais de qualquer função ou subfunção necessitam que o programador do teste selecione o ajuste das entradas válidas ou inválidas e determine a saída esperada para cada condição de

teste definidas no plano de teste. Isto irá servir para definir o critério de avaliação para determinar se o teste é APROVADO ou REPROVADO.

O teste pode ser feito de cima para baixo ou de baixo para cima. Isto depende da proposição do teste. Se o teste é uma aceitação em fábrica (FAT) seria uma boa idéia usar a abordagem de cima para baixo. Se tratar-se de testes de comissionamento ou manutenção (SAT) deve-ser usar a abordagem de baixo para cima.

5.1. Teste de aceitação em fábrica (FAT)

O teste de aceitação em fábrica (FAT) é realizado em fábrica e tem por objetivo provar que o modelo de dados, os serviços de comunicação e o desempenho definido como padrão estão de acordo com a especificação de projeto. Neste caso o teste inicia primeiro com as partes individuais do sistema – os elementos funcionais. Eles são então agrupados para formar subfunções ou funções, que estão em fila ligados dentro de funções mais complexas até que o sistema completo seja testado.

5.2. Teste de aceitação local (SAT)

O teste de aceitação local (SAT) é realizado com os equipamentos já instalados em sua posição definitiva e objetiva verificar que cada dado, os pontos de controle e as funcionalidades estão corretos. Verifica ainda a funcionalidade do SAS e seu ambiente de operação na planta instalada. Esse teste é realizado com a parametrização e ajustes finais de operação do sistema testado. O SAT é uma pré-condição para a colocação em operação do sistema. Neste caso, seja em testes de comissionamento ou manutenção, é considerado que os elementos funcionais individuais estão operando corretamente, especialmente se não existem alarmes em nenhum dos IEDs incluídos no sistema de teste. Neste caso uma abordagem sistêmica é indicada, desde que o objetivo seja a verificação do funcionamento correto das funções do sistema.

6. Diretrizes para 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 analógico de correntes e tensões aos IEDs testados;
- 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;
- Simulação de mensagens GSSE/GOOSE a fim de verificar a operação de outros IEDs conectados à rede da subestação.
- Análise de mensagem GSSE/GOOSE que monitoram e registram o tempo das mensagens recebidas proveniente dos IEDs em teste a fim de avaliar o desempenho/resposta dos relés.
- Simulação de rede, com ferramentas de configuração que permitam ao usuário configurar o equipamento de 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.
- Simulação de processo, com ferramenta de teste que permita a configuração flexível das seqüências de teste solicitadas e simulações que utilizam as funções acima, com inserção das correntes e tensões correspondentes a estados de pré-falta, falta e pós-falta, em regime permanente ou transitório.
- Contadores de tempo e registradores de eventos.
- Ferramenta de teste com modelos de carga, modelos de configuração e modelos de rede, capazes de comparar e avaliar os dados de modelo com os resultados dos testes.

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. Esses equipamentos devem obedecer às seguintes diretrizes:

- A simulação do barramento de 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 fiação de cobre entre o equipamento de teste e o objeto sob teste, enquanto no caso das aplicações baseadas no padrão IEC 61850, podem-se utilizar parcial ou completamente os canais de comunicações;
- O equipamento de teste deve estar apto a atender à simulação do processo convencional com sinais analógicos (tensões, correntes, sinais lógicos binários);
- O equipamento deve simular sinais de falta em regime permanente ou transitório, fornecendo para o sistema sob teste sinais analógicos ou digitais amostrados na rede segundo a norma IEC 61850 9-2;
- O equipamento de teste deve simular, mapear, capturar, ler, medir, comparar e checar os sinais de comunicação, sejam eles sinais convencionais binários utilizando fiação rígida ou mensagens GSSE/GOOSE via rede Ethernet. Essas funções devem ser realizadas pelo equipamento de teste e não por dispositivos de controles acoplados ao sistema.

7. Concepção de Conjunto Completo de Teste

O teste completo das funções dos barramentos de processo e estação baseadas 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 unidades de Conformação de Dados (*Merging Units* baseadas na IEC 61850 9-2) e outros IEDs (interface IEC 61850 8-1).

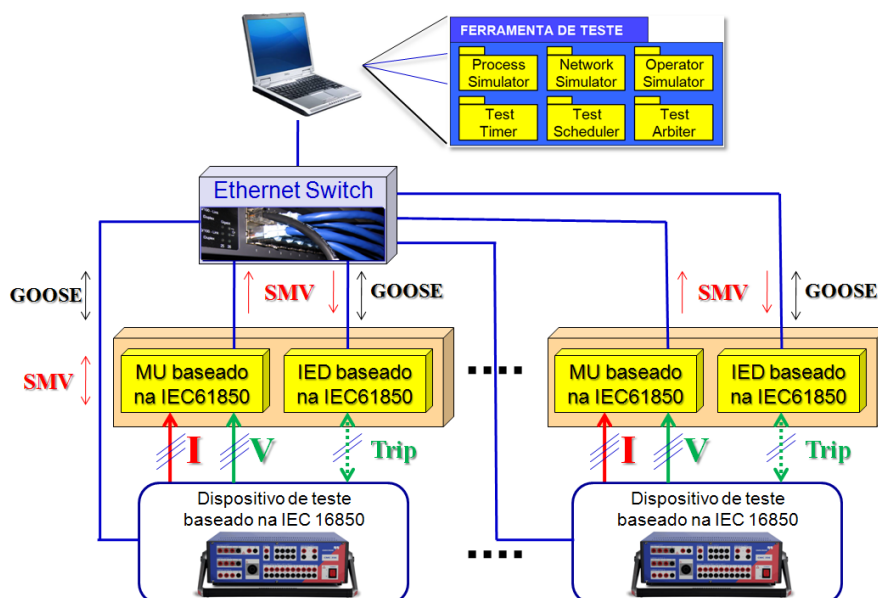


Figura 6 - Um diagrama de bloco simplificado deste sistema do teste

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.

8. Considerações Finais

Os métodos de teste necessitam corresponder à hierarquia funcional do sistema de automação da subestação. Neste trabalho são descritos os testes funcionais, de interoperabilidade e de sistema.

O teste funcional executa a verificação das características de IEDs ou Sistemas através de equipamento de teste capaz de simular as condições de teste correspondente aos dados técnicos de operação do sistema sob teste.

O teste de interoperabilidade ou teste de integração é usado para detectar qualquer problema potencial de interoperabilidade entre os elementos funcionais e/ou subfunções que são integradas no IED ou no sistema sob teste. Não testa somente a compatibilidade durante a operação dessas funções e a eficiência no aplicativo utilizado pelos fabricantes dos IEDs do sistema, mas também observa as trocas de dados entre os diferentes componentes integrados no sistema. Finalmente é descrito o teste de sistema, onde é verificado o desempenho completo do sistema sob o ponto de vista de um observador externo (por exemplo, o Teste Ponta a Ponta).

Para a execução dos testes mencionados, o trabalho caracteriza a utilização de testes dinâmicos e transitórios. Também mostra a utilização de um conjunto completo de teste com o uso de sinais binários e analógicos, enviados e recebidos via rede Ethernet.

9. Referências bibliográficas

[1] International Standard IEC 61850 – Communication Networks and Systems in Substations – Part 10: Conformance Testing, 2005

[2] PAULINO, M. E. C. “Testes de IEDs operando com redes de comunicação baseados na IEC 61850” . In: ERIAC, 12. 2007. Anais eletrônicos. Foz do Iguaçu:Itaipu Binacional, 2007. CD-ROM.

[3] PAULINO, M. E. C., PEREIRA, A. C.; CACERES, D.; BIONDI, L.; SILVA, E.; ALEXANDRE, R.T.S. “Procedimentos de Teste de Conformidade e Interoperabilidade à Luz da Norma IEC 61850 Aplicados a Subestações” . In: XIX SNPTEE. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro, 2007. CD-ROM.

[4] PAULINO, M. E. C. “Sistemas de automação de subestações baseados na IEC61850”. Revista GTD, Edição 21, p. 18-29. São Paulo, SP. setembro 2007.

[5] PAULINO, M. E. C. “Testes de Conformidade em relés multifuncionais baseados na IEC 61850”. In: SPTC, 8. 2005. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro:2005.