



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPC/09

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO -V

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

**FACILITANDO AS ETAPAS DE TESTES E COMISSIONAMENTO EM SUBESTAÇÕES
ATRAVÉS DAS NOVAS METODOLOGIAS PROPOSTAS PELA IEC61850**

**Elias Bencz(*)
GE**

**Igor Cruz
GE**

**Héctor León
GE**

RESUMO

A IEC 61850 vem trazendo a modernização as subestações traçando uma linguagem comum para que os dispositivos se comuniquem entre si. Parte desta padronização é destinada a procedimentos de teste, cada informação publicada por um equipamento tem uma qualidade associada que indica se o dado deve ser usado com propósitos operacionais ou está passando por algum procedimento de teste. Ainda há outras informações na qualidade que possibilitam diagnóstico de falhas e indicam de qualidade das amostras que estão fora do contexto deste trabalho.

Na parte de comissionamento o *Sampled Values* e *GOOSE* simulados implementam de maneira lógica a injeção de tensão e corrente com uma mala de testes, porém sem a necessidade de desconectar os demais equipamentos.

Há também a mudança das referências externas operacionais e referência externa de teste do equipamento, algo que necessitava de circuitos auxiliares para mudança de referência pode ser feita a nível lógico.

Depois dos desafios de criação destes conceitos feitos na IEC 61580 e de implementação tem-se o desafio de aplicação, este trabalho tem como objetivo exemplificar a aplicação do modo de teste e de *Sampled Values* simulados.

PALAVRAS-CHAVE

IEC-61850, Comissionamento, GOOSE-Simulado, Sampled-Values-Simulado, Mode-de-Teste

1.0 - INTRODUÇÃO

O método tradicional para a realização de testes e comissionamentos em subestações é feito através da isolamento dos dispositivos, de modo que estes não interfiram no restante do sistema. O procedimento clássico de isolamento é feito em nível físico, porém com o advento da IEC61850 surge a possibilidade de realiza-lo em nível lógico sem interferir no funcionamento dos demais equipamentos da subestação nem alterar configurações físicas da subestação. Há três ferramentas que auxiliam na execução de testes e comissionamento com IEDs (*Intelligent Electronic Device*), são eles: Modo de teste e de bloqueio, aplicação de sinais simulados e configuração de referências externas distintas para operação normal e operação em teste.

O Modo de Teste e Bloqueio pode ser aplicado de maneira seletiva e hierárquica nos IEDs, ou seja, apenas a parte lógica da subestação será afetada. Os seguintes comportamentos podem ser configurados: ligado, bloqueado, teste e teste/bloqueado. Os comportamentos teste e teste/bloqueado afetam a qualidade dos atributos para que todos os outros dispositivos da rede ethernet que estejam recebendo dados desse equipamento entendam que eles não devem ser usados para fins operacionais, impedindo assim a atuação indevida. Quando o equipamento está em bloqueio ou teste/bloqueio, ele se continua a funcionar de acordo com sua configuração, porém tem suas saídas físicas bloqueadas. Também existe o modo desligado que apenas desativa todas as funções do equipamento.

A ferramenta de aplicação de sinais simulados de *GOOSE* e *Sampled Values* diferentemente da injeção de sinais convencionais não requer que o sinal real seja interrompido, os sinais virtuais são aplicados de maneira simultânea e contêm uma identificação de simulação para permitir sua distinção. Os equipamentos configurados para receberem os sinais simulados passarão utilizá-los enquanto os demais dispositivos apenas os ignoram. Eles são a maneira digital de injetar tensão e corrente nos equipamentos.

No contexto de interoperabilidade da IEC61850 é comum o uso de referências externas virtuais para a realização de um processo interno no equipamento, isto é feito via MMS ou na subscrição de *GOOSE* ou *Sample Values*. Também é previsto pela norma a possibilidade de configurar referências alternativas para serem utilizadas em contexto de teste.

Essas funcionalidades vêm para facilitar a execução de manutenções e comissionamentos. Dentre as razões pelas quais o uso destas ferramentas não é frequente destaca-se a adoção relativamente lenta de equipamentos compatíveis com a IEC61850. Além disso, mesmo dentre os IED tidos como compatíveis com a norma IEC61850 são poucos os fabricantes que possuem uma implementação completa das funcionalidades de testes e comissionamentos previstas na norma.

2.0 - FERRAMENTAS E TESTES DE COMISSONAMENTO PROVIDOS PELA IEC 61850

O conteúdo deste trabalho será dividido em uma parte explicativa onde é descrito o funcionamento de cada uma das ferramentas providas pela IEC 61850: Modo de teste e bloqueio, *Sampled Values* e *GOOSE* simulados e referências externas. A segunda parte é um exemplo envolvendo o Modo de teste e bloqueio com o *Sampled Values* simulado.

2.1 Modo de teste e bloqueio (Mod and Behavior).

Cada IED é composto por nós lógicos que modelam os equipamentos reais, por exemplo, um disjuntor monofásico é modelado como um *XCBR* e um barra seccionadora como *XSWI*. Adentrando ao conceito de teste, os nós lógicos podem apresentar 5 estados, ver Tabela 1.

TABELA 1 - Comportamento de Nós Lógicos (Resumo do Anexo A da 61850:7-4 [1])

Ligado (<i>On</i>)	Operacional.
Teste (<i>Test</i>)	Define a qualidade de seus atributos como 'em teste' para evitar utilização indevida por outros dispositivos. Utiliza atributos com qualidade 'em teste' provenientes de comandos e de status de outros dispositivos.
Bloqueado (<i>Blocked</i>)	Se comporta como o modo Ligado, porém está com as saídas físicas bloqueadas.
Teste-Bloqueado (<i>Test/Blocked</i>)	Apresenta o mesmo comportamento do modo de teste, porém não atua fisicamente as saídas.
Desligado (<i>Off</i>)	Todas as funções do LN estão desativadas não havendo atualização de estados. Define todas as qualidades como inválidas de modo a sinalizar isto para outros dispositivos.

O modo Teste é utilizado por exemplo sobre o *XCBR* para indicar que ele está em teste e uma indicação de falha de abertura de disjuntor não deve ser usada pelo relé de retaguarda para abrir a barra que o antecede.

Uma *XSWI*, entretanto, deve estar em teste/bloqueio – assim quando receber um sinal para fechamento o aceitará, porém não fará a atuação evitando que o circuito seja energizado de maneira indevida. Deve-se ressaltar que o modo de teste não exclui os procedimentos de segurança padrões como aterramento das áreas em teste e bloqueio físico de chaves. O modo desligado é utilizado para desativar logicamente um dispositivo na subestação.

A indicação que um equipamento está em modo teste é feita através da qualidade de seus atributos:

Tabela 2 - Comportamento de Nós Lógicos (Baseado na Tabela 2 da IEC61850 7-3 [2])

Atributo	Valor	
validity	good invalid reserved questionable	
detailQuality	Overflow	true false
	outOfRange	true false
	badReference	true false
	Oscillatory	true false
	Failure	true false
	oldData	true false
	inconsistent	true false
	incaccurate	true false
source	true false	
test	true false	

operatorBlocked	true false
------------------------	--------------

O modo de bloqueio puramente pode ser usado para evitar uma atuação indesejada. Ele não atribui nenhuma qualidade ao em oposição ao teste, é um bloqueio apenas das saídas físicas. Na edição 1 da norma IEC 61850 existia a confusão relacionada a qualidade *OperatorBlocked* [3]. Ela é atribuída quando existe um bloqueio de operação por parte do operador sobre os dispositivos e não é definido quando o comportamento do nó é bloqueado.

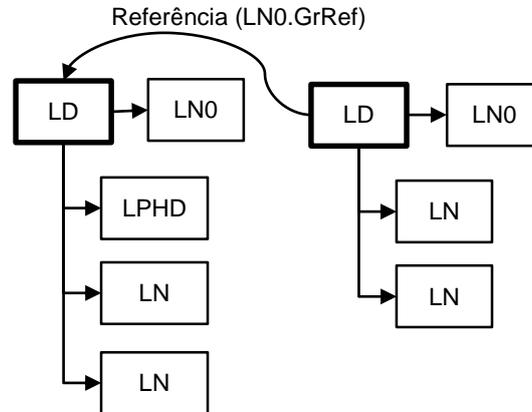


FIGURA 1 – Relação hierárquica entre LDs e LNs (Baseado na Figura 49 da IEC61850:7-1 [4]).

Para facilitar a lógica de colocar um dispositivo em teste existe uma hierarquia entre os nós lógicos, cada nó lógico está contido num dispositivo lógico que por sua vez pode estar vinculado a um outro dispositivo lógico de mais alta ordem conforme a FIGURA 1. A atribuição do comportamento do nó lógico é feita através da lógica do atributo modo com o *behavior* (quando houver) do elemento acima da hierarquia, por exemplo: Se definirmos o modo de um dispositivo lógico como desligado, o comportamento dele irá ser refletido no comportamento de todos os outros dispositivos lógicos que o referenciarem e também em todos os nós lógicos que são contidos nele.

A lógica para determinar o comportamento é simples, teste e bloqueado não são mutuamente exclusivas, de modo que teste + bloqueado = teste-bloqueado, eles sobrepõem o modo ligado. O modo desligado é mutuamente exclusivo com os outros e os sobrepõem, de modo que (qualquer outro modo) + desligado = desligado.

2.2 Aplicação de sinais de teste (*Simulated GOOSE and Sampled Values*)

Para garantir que a lógica implementada na subestação funcione adequadamente, é necessário a aplicação de tensão e corrente sobre os equipamentos para simular uma operação real – isso envolve a aplicação de várias formas onda para os diversos tipos de curto circuito e verificação da resposta das proteções.

A IEC 61850 define a ferramenta de GOOSE e *Sampled Values* simulados para substituir a aplicação de sinais reais por sinais virtuais, a injeção neste caso é feita diretamente na rede ethernet invés de ser nos transdutores dos equipamentos. Cada mensagem (seja de GOOSE ou *Sampled Values*) possui um identificador de simulação – o equipamento que está recebendo pode ser configurado para optar por uma ou por outra – por que ambas estarão disponíveis na rede ethernet ao mesmo tempo.

A configuração no equipamento receptor para que ele dê preferência para os *streams* simulados ao invés dos reais é feita no atributo *Simulate* contido no nó lógico de dispositivo físico (LPHD) do equipamento. A interpretação desta configuração é de fato uma opção de preferência – se existir a informação simulada chaveie para ela e passe a ignorar a real, se não existir continue recebendo a real.

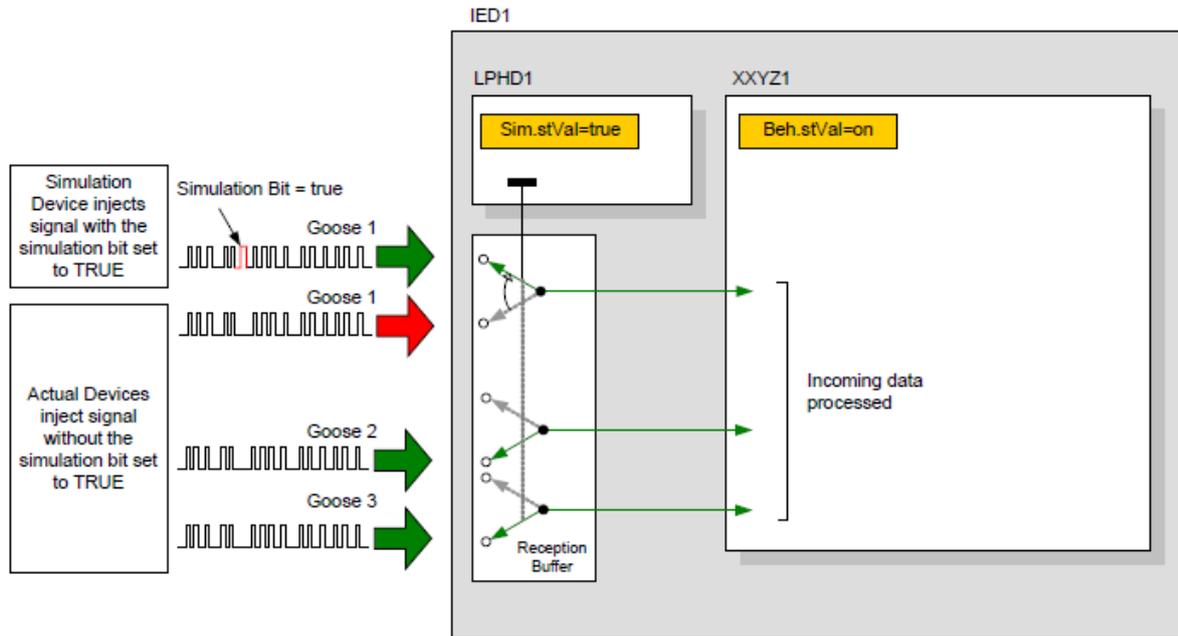


FIGURA 2 – Chaveamento entre GOOSE normal e simulado. (Figura 40 da IEC 61850: 7-1 [4]).

Num comissionamento sem a 61850, a injeção dos sinais de tensão e corrente na entrada dos relés, sinais digitais nas entradas binárias e monitoração das saídas são feitos com uma mala de testes, na interface entre disjuntor e seccionadoras com o equipamento em teste. Usando as ferramentas providas pela 61850 usa-se *Sampled Values* simulado no lugar das tensões e correntes, GOOSE simulado no lugar das saídas digitais da mala e invés de observar as alterações de estados na mala observa-se os estados na rede ethernet e nos equipamentos que estarão interagindo com a subestação. Isso é possível ao usar a aquisição distribuída de uma *merging unit*, ver FIGURA 4.

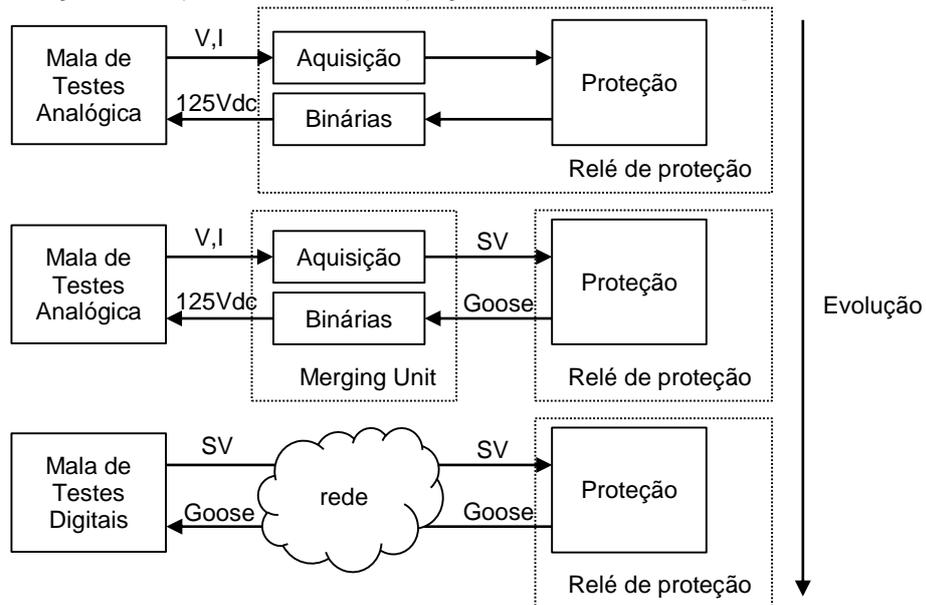


FIGURA 3 – Exemplificação da evolução na injeção de SV e GOOSE simulado.

2.3 Referências de Teste (*Ref and TestRef*)

Durante as etapas de configuração dos equipamentos é que se faz as ligações virtuais entre os dispositivos. A nível de rede ethernet configura-se as rotas e vlans e a nível de equipamento os transmissores e receptores de *Sampled Values* e GOOSE. A transmissão do *Sampled Values* e GOOSE é estritamente padronizada, entretanto a recepção e utilização destes valores não – assume-se que é de responsabilidade do fabricante implementar esta lógica isso contribui para o atraso no desenvolvimento desta em relação as outras duas.

```

<Inputs>
  <ExtRef iedName="MU320" ldInst="CTRL" ... doName="Ind1" daName="stVal"/>
  <ExtRef iedName="MU320" ldInst="CTRL" ... doName="Ind2" daName="stVal"/>
</Inputs>
...
<DOI name="InRef1">
  <DAI name="setSrcRef">
    <Val>MU320CTRL/BININGGIO1.Ind1</Val>
  </DAI>
  <DAI name="tstSrcRef">
    <Val>MU320CTRL/BININGGIO1.Ind2</Val>
  </DAI>
</DOI>

```

FIGURA 4 – Trecho de configuração mostrando de recebimento de GOOSE.

Porém a norma padroniza a configuração a um nível que seja possível entender a configuração sem a necessidade de arquivos externos ou manuais. A IEC 61850 tem o pressuposto de ser autoexplicativa. Além da configuração de recebimento 'ExtRef' existem os campos *InRef.srcRef* e *BlkRef.srcRef* nos nós lógicos que irão utilizar estas informações conforme a FIGURA 5.

No contexto de testes e comissionamento, utiliza-se os atributos *InRef.tstSrc*, *BlkRef.tstSrc* e seus atributos *tstEna*. Isso nos permite criar configurações que estejam preparadas para seguir outras referências em caso de teste. Num cenário sem a 61850, preparar a estrutura permanente física para testes envolveria um custo adicional muito alto, no contexto da IEC 61850 é o custo de uma lógica adicional no equipamento.

2.4 Exemplo de Aplicação: Extensão de subestação

Como exemplo de uso das ferramentas de teste apresenta-se um comissionamento de uma expansão de uma subestação, a lógica do novo alimentador (ver FIGURA 5) envolve os nós lógicos da TABELA 3, os equipamentos relacionados são uma *merging unit* (FMU2), um relé de alimentador (FRL2) e o relé de retaguarda (BRL1). Será comissionado uma proteção de distância (F2_PDIS) e uma falha de abertura de disjuntor (F2_RBRF).

Neste exemplo a parte física da subestação está terminada e ainda não energizada, a chave seccionadora e o disjuntor estão abertos, existe uma trava mecânica na seccionadora e a saída do alimentador está aterrada para evitar energização acidental. Este exemplo considera um caso hipotético, não levando em conta todo o conjunto de boas práticas, normas e procedimentos relacionadas a segurança.

TABELA 3 - Equipamentos do Alimentador 1

Nome do Dispositivo	Descrição	Equipamento
F2_TVTR	Transformador de Potencial	FMU2
F2_TCTR	Transformador de Corrente	FMU2
F2_XCBR	Disjuntor	FMU2
F2_XSWI	Seccionadora	FMU2
F2_PDIS	Proteção de distância	FRL2
F2_RREC	Função de Religamento	FRL2
F2_RBRF	Função de Falha de disjuntor	FRL2
F2_PTRC	Função de condicionamento de Trip do Alimentador.	FRL2
B1_PTRC	Função de condicionamento de Trip do barramento de entrada.	BRL1
B1_XCBR	Disjuntor de retaguarda da Barra.	BMU1

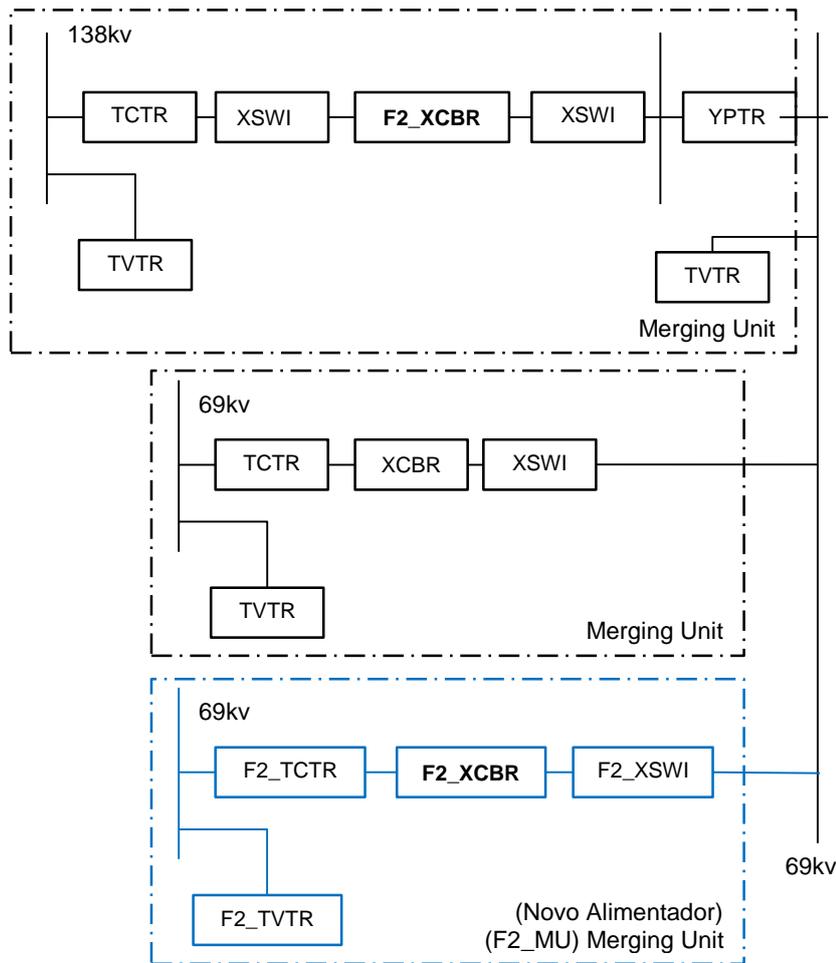


FIGURA 5 – Esquema da expansão da subestação.

2.4.1 Configurando o alimentador.

É assumido que a configuração dos IEDs já foi feita em nível de projeto – bastando importar as configurações e fazer os ajustes que não estão mapeados na norma – como sincronismo e configurações de lógicas.

O primeiro passo é fazer a configuração de rede ethernet no switches, habilitando as VLANs para criar canais entre a *Merging Unit* e os relés. Configurar também o FRL2 para receber os dados de *Sampled Values* e GOOSE. Também deve-se reservar um espaço na configuração para a mala de injeção dos valores simulados.

Na *Merging Unit* deve-se importar a configuração e configurar o sincronismo e lógicas de conexões com o XCBR e XSWI, TVTR e TVTR – esta etapa muda de um fabricante para outro, pois não é normatizada. E de maneira similar deve se configurar o FRL2.

2.4.2 Definindo os equipamentos em teste.

Na próxima consiste em colocar a *Merging Unit* e o Relé de alimentador em modo de teste e habilitar o recebimento de valores simulado no relé. Quando estes dispositivos estão em teste, eles não mais influenciam no restante do sistema que não está em teste.

Estes ajustes são feitos utilizando controles via MMS definidos pela IEC 61580 que podem ser visualizados na FIGURA 6 com o software livre 'IED Explorer' [5]. Existem mecanismos avançados na utilização destes controles, neste caso utiliza-se o modo operação direta por motivos de simplificação. A verificação é feita através dos atributos de status (ST) em '*LLN0.St.Sim.stVal*' e '*LLN0.St.Beh.stVal*'. É importante mencionar que até os comandos devem estar com a opção de teste habilitada – isso evita que por acidente um comando seja dado em um equipamento que não está em teste.

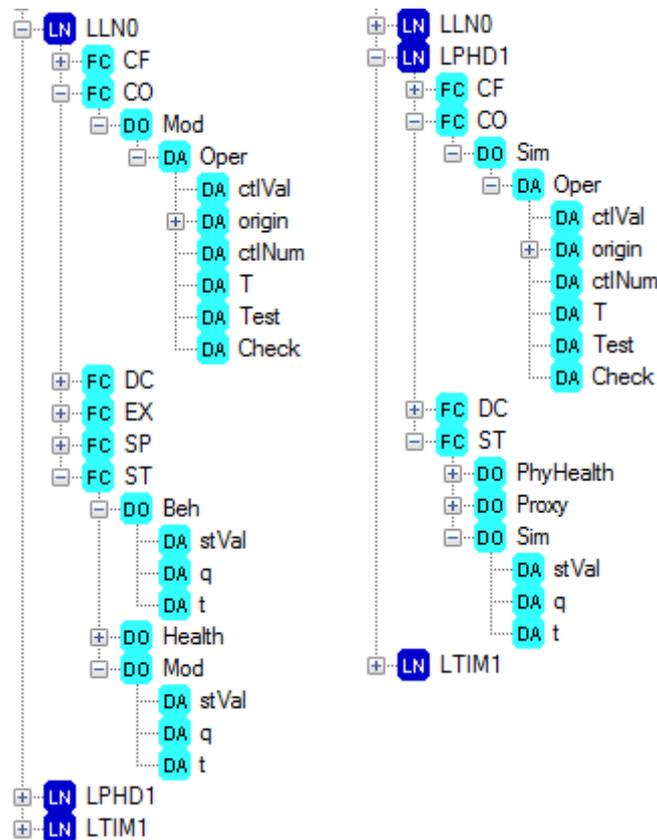


FIGURA 6 – Controles MMS Modo (Mod - esquerda) e Simulação (Sim - direita) e seus status.

2.4.3 Teste da proteção de distância.

Os níveis de curto circuito são calculados durante a etapa de projeto, utiliza-se estes valores injetando *Sampled Values* na rede ethernet simulando cada caso de ocorrências da falta na linha, e assim observa-se o comportamento da proteção nos diversos cenários. Neste ponto a *Merging Unit* estará ligada e enviando *Sampled Values* reais (porém zerados), quando o *Sampled Values* simulado chegar ao relé, este optará por processar os dados simulados conforme instruído no parágrafo 2.4.2. A sequência de eventos então seria:

- Ao injetar *Sampled Values* a função F2_PDIS irá sinalizar trip.
- Isso irá sensibilizar a F2_PTRC que enviará um GOOSE para a F2MU (*Merging Unit*).
- A F2MU irá receber o GOOSE e processar fechando a saída configurada no F2_XCBR discutida no tópico 2.4.1 item (0).

A monitoração dos tempos de atuação pode ser feita utilizando o serviço de status MMS, via um registrador digital de perturbação ou capturando o GOOSE que a *Merging Unit* está enviando na rede com o status do disjuntor.

2.4.4 Teste de falha de abertura de disjuntor.

O teste de falha de abertura de disjuntor envolve o envio do trip para o condicionador de trip B1_PTRC do BRL1 que então enviará para o disjuntor na retaguarda. Tanto o B1_XCBR quanto o B1_PTRC precisam estar em modo teste para receber e processar os comandos, porém o B1_XCBR também precisa estar em modo bloqueado para não abrir durante o comissionamento – durante este teste a proteção de retaguarda estará bloqueada.

- Configurar o B1_PTRC para que aceite comandos do F2_RBRF (Falha de disjuntor do Alimentador 2).
- Colocar o condicionamento de trip B1_PTRC em modo teste.
- Colocar o B1_XCBR em modo de teste-bloqueio.
- Ativar o bloqueio de abertura (BlkOpn) do disjuntor do alimentador em teste (B1_XCBR).
- Injetar *Sampled Values* repetir os itens a,b e c do item anterior.
- Observar que a proteção B1_BRRF irá enviar um GOOSE para a rede.
- O GOOSE será recebido pelo B1_RL e gerará um trip via F2_PTRC, que gerará um novo GOOSE.
- Este GOOSE por sua vez será recebido pela *Merging Unit* que contém o B1_XCBR que sinalizará a atuação, porém não atuará fisicamente.

Novamente a análise pode ser feita via MMS, via registrador de perturbação ou via captura dos dados na rede.

3.0 - CONCLUSÃO

A IEC 61850 vem trazendo as subestações facilidades e inovações no que tange a automação, interoperabilidade e redução de custos e complexidade de infraestrutura, porém isso traz a necessidade de capacitação ao uso destas novas tecnologias.

As tecnologias aqui apresentadas só são possíveis pelo caráter de padronização da IEC 61850, uma vez que todo o conceito é discutido independentemente do fabricante, através do princípio da interoperabilidade. Estas tecnologias foram concebidas com o intuito de utilizar as possibilidades que uma subestação digital traz, não havendo mais restrição quanto ao cabeamento ou localização física do equipamento. Como todos os testes são feitos de maneira lógica é possível que no futuro o teste em si seja parte do planejamento da subestação, seja simulável e repetível em caso de troca de equipamento ou mudança de topologia da subestação.

Os diversos modos de operação do equipamento fornecem mecanismos que aumentam a flexibilidade de realização de testes em campo, reduzindo o tempo de execução bem como tornando-os mais confiáveis e com maior seletividade, visto que as operações são lógicas e funcionalmente isoladas. Os usos dos métodos apresentados trazem um ganho significativo na etapa de comissionamento e manutenção de IED's de proteção e controle. Vale destacar que os testes neste estágio são em grande parte sistêmicos, portanto é necessária uma maior adoção desses mecanismos por parte dos IED's no intuito de aproveitar em plenitude os benefícios da tecnologia.

Este artigo apresenta um exemplo do uso desses mecanismos em uma aplicação de proteção de distância e também em falha de disjuntor. Elucida como impacta a configuração e operação de cada um dos elementos dessa aplicação, bem como enumera passo a passo qual seria as ações de um operador para teste dessas funções.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC6810 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes. **Communication networks and systems for power utility automation**, mar. 2010.
- (2) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC- 61850: Part 7-3: Basic communication structure – Common data classes ed.2. **Communication Network and Systems in Substation**, dez. 2012.
- (3) SHENGWU ZENG, T. S. q.operatorBlocked is irrelevant to Mod / Beh. **IEC 61850 Tissue Database**. Disponível em: <<http://tissue.iec61850.com/tissue/1082>>.
- (4) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. 61850 Part 7-1: Basic communication structure – Principles and models. **Communication networks and systems for power utility automation**, jul. 2011.
- (5) CHARVAT, P. IEC61850 IED Explorer in.net. **sourceforge**, 2017. Disponível em: <<https://sourceforge.net/projects/iedexplorer/>>. Acesso em: 22 mar. 22.
- (6) WOLFGANG WIMMER, A. S. IEC 61850 Edition 2 and Engineering. **PACWorld**, 15 mar. 2017. Disponível em: <https://www.pacw.org/issue/december_2014_issue/iec_61850_edition_2_and_engineering.html>.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Elias Bencz, nascido em Mafra - SC em 1990, graduado em engenharia Elétrica pela Universidade federal de Santa Catarina em abril de 2014 trabalha desde então na Reason Tecnologia – Atualmente uma unidade da General Eletric na aplicação da norma IEC 61580 com medição distribuída (Merging Units) e Linux embarcado. Possui uma patente internacional intitulada ‘improvements in or relating to the measurement of current within a conductor’ onde é documentado a aplicação aquisição de sinais de uma bobina de rogowski por uma merging unit e usando Sampled Values e dois artigos produzidos durante a graduação.

Igor Henrique da Cruz, nascido em Foz do Iguaçu - PR em 1987. Graduação em Ciência da Computação pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) em 2010, e atualmente cursa o Mestrado em Engenharia Mecatrônica no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). É Líder de Desenvolvimento de produtos de medição, controle e proteção de sistemas elétricos de potência na GE Grid Solutions – Reason Product Line.

Héctor León, nascido em Barranquilla – Colômbia em 1985, possui mestrado na área de controle e automação pela Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Florianópolis (2015), especialista em desenvolvimento de produtos eletrônicos pelo Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Florianópolis (2012) e graduação em engenharia eletrônica pela Universidad Industrial de Santander -Bucaramanga, Colômbia (2008). Na GE Grid Solutions – Reason Product Line atua como engenheiro de desenvolvimento com interesse nas redes de comunicação industrial (IEC 61850, DNP3, Modbus, CAN), sistemas de tempo real e sistemas embarcados.