

# Um Guia Prático para Testes de Subestação Usando os Recursos *Mode Control* e *Behavior* da IEC 61850

Edson Hernández, Tovah Whitesell e Karen Leggett Wyszczelski  
*Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Apresentado na  
Power and Energy Automation Conference  
Seattle, Washington  
3 e 4 de março de 2020

Traduzido para o português em novembro de 2020

# Um Guia Prático para Testes de Subestação Usando os Recursos *Mode Control* e *Behavior* da IEC 61850

Edson Hernández, Tovah Whitesell e Karen Leggett Wyszczelski, *Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

**Sumário**—A Norma IEC 61850 é um padrão para sistemas integrados de proteção e controle em todo o mundo e recentemente vem sendo cada vez mais aplicada na América do Norte. Há uma necessidade crescente de verificar se a implementação desta tecnologia foi bem sucedida ao realizar o comissionamento e a manutenção nas subestações. A Edição 1 da IEC 61850 introduziu vários métodos de teste de um dispositivo eletrônico inteligente (IED) com o objetivo de ajudar a superar os desafios encontrados durante os testes em campo. No entanto, a Edição 1 descreve apenas uma abordagem geral para testes de IEDs e não especifica claramente os requisitos para a implementação de seus métodos de teste. Portanto, quando a Edição 2 foi publicada, ela forneceu métodos de teste mais descritivos, bem como apresentou mais clareza sobre como usá-los; no entanto, ao fazer isso, aumentou sua complexidade. Ainda existem alguns problemas de incompatibilidade que podem afetar a interoperabilidade e produzir resultados inesperados, como o uso simultâneo de dispositivos das Edições 1 e 2 ou de dispositivos com outros protocolos de proteção.

Este artigo discute dois dos recursos de teste mais importantes da Edição 2 da IEC 61850: *Mode Control* (amplamente conhecido como “*Test Mode*”) e *Simulation*. O artigo primeiro descreve brevemente os recursos de teste da Edição 2 e, em seguida, ilustra em profundidade as aplicações e as diretrizes para esses recursos, incluindo problemas potenciais. Finalmente, o artigo fornece exemplos relacionados a vários domínios de aplicação como um guia prático para ajudar o leitor a fazer escolhas conscientes sobre como usar esses recursos de teste, independentemente ou combinados. Os casos de uso incluem adições de ativos, comissionamento e sistemas de múltiplos proprietários.

## I. INTRODUÇÃO

Criar uma norma que cubra vários domínios de aplicação é um desafio que requer dedicação de tempo e esforço para ser realizado. A Norma IEC 61850 foi concebida com o objetivo de unificar os protocolos de comunicação entre dispositivos de proteção. Isso foi feito para resolver uma série de problemas de interoperabilidade, de modo que qualquer ativo poderia se comunicar com outro, supondo que ambos pudessem interpretar os protocolos da IEC 61850. No entanto, o tempo e a diversidade de esforços dedicados à criação desta norma resultaram em um efeito colateral infeliz: as orientações de uso insuficientes publicadas com os métodos de teste da IEC 61850 introduziram uma grande complexidade na norma. A primeira edição foi pioneira em muitas soluções para vários problemas de automação, uma das quais era poder testar a lógica de um esquema de proteção. Testes de esquemas de automação baseados em sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados (SCADA) com dispositivos IEC 61850 revelaram ambiguidades em torno de como lidar com os complexos requisitos da norma. Essas ambiguidades levaram os

engenheiros a desenvolver e integrar dispositivos que não eram realmente interoperáveis, enfraquecendo o propósito de ter um padrão em primeiro lugar.

## II. TESTES ENTRE VÁRIOS PADRÕES

As empresas têm experimentado a integração de dispositivos IEC 61850 em consonância com a evolução da norma, de forma que, quando o comissionamento e os testes desses dispositivos começaram, a profundidade dos problemas de interoperabilidade entre dispositivos foi exposta. Os fabricantes que desenvolvem produtos os fizeram usando sua própria interpretação dos padrões da IEC 61850. Os problemas de interoperabilidade resultantes da natureza complexa e ambígua dos padrões, requereram ampla discussão e deliberação entre usuários e fabricantes. Posteriormente, esses problemas e suas soluções seriam incorporados à segunda edição da norma; entretanto, enquanto essas discussões aconteciam, algumas empresas fizeram investimentos em sistemas existentes no padrão da Edição 1. Devido à improvável substituição de dispositivos reconhecidamente caros, a realidade hoje é que os dispositivos da Edição 1 perduram nas empresas, embora eles e os dispositivos da Edição 2 não dessem garantia quanto a testes de interoperabilidade, o que se deve à ambiguidade original em torno dos testes usando sinais como *Manufacturing Message Specification* (MMS), *Generic Object-Oriented Substation Event* (GOOSE), e *Sampled Value* (SV) conforme descrito inicialmente na IEC 61850.

A Edição 1 desta norma introduziu o conceito de teste de relés usando dois métodos diferentes. O primeiro método consiste em enviar e receber sinais com o bit de teste da mensagem GOOSE definido como *TRUE* (verdadeiro) ou *FALSE* (falso) [1]. O segundo método consiste em alterar o *Mode* (Modo) de um *logical device* (dispositivo lógico) ou um *logical node* (nó lógico), que foi definido como: *On*, *Test*, *Blocked*, *Test/Blocked* ou *Off* [2]. Infelizmente, uma consequência não intencional do uso dessa terminologia foi o uso excessivo e crescente do termo *Test*, que foi usado tanto para o bit de teste GOOSE quanto para o valor do *Mode* de um dispositivo. Em ambos os casos, os sinais de teste são enviados para um dispositivo. Por exemplo, a Fig.1 mostra a decodificação de uma mensagem GOOSE no *Wireshark* – que ainda usa a nomenclatura da Edição 1 – na qual o *Simulation bit* é referido como “*Test*”. O campo de teste do decodificador do *Wireshark* deveria ser “*Simulation*” (Simulação) conforme a Edição 2 [3].

A expressão “*Test Mode*” (Modo de Teste) foi cunhada no padrão da Edição 2 em referência específica ao “*Mode control*

e Behavior” (Modo de Controle e Comportamento) [4]. No entanto, os usuários de equipamentos já estavam usando a frase “Test Mode” para especificar qualquer momento em que a unidade entre em estado de teste. “Test Mode” pode se referir a um diferente número de condições de teste, incluindo estados de teste definidos pelo fabricante, parâmetro teste do *GOOSE* = *TRUE* [1] (renomeado como “Simulation” com a Edição 2) ou *Mod.stVal/Beh.stVal* = *TEST*, conforme descrito na Tabela I. Devido a essa complexidade adicional, não devem ser feitas suposições ao ler ou usar o termo “Test Mode”.

```

> Frame 10: 326 bytes on wire (2608 bits), 326 bytes captu
> Ethernet II, Src: xxxxxx_02:c3:16 (00:30:a7:02:c3:16),
  GOOSE
  APPID: 0x1013 (4115)
  Length: 306
  Reserved 1: 0x0000 (0)
  Reserved 2: 0x0000 (0)
  goosePdu
  gocbRef: A0421_006_TM_ICD_UUTCFCG/LLN0$G0$GPub01
  timeAllowedtoLive: 2000
  datSet: A0421_006_TM_ICD_UUTCFCG/LLN0$GPDSet01
  goID: Sub1Bay1
  t: Jun 11, 2018 18:22:20.214699983 UTC
  stNum: 1
  sqNum: 232196
  test: False
  confRev: 1
  ndsCom: False
  numDatSetEntries: 36
  > allData: 36 items

```

Fig. 1. Decodificador do *Wireshark* para mensagens GOOSE. O decodificador ainda usa a nomenclatura padrão da Edição 1 para descrever o *Simulation bit*.

TABELA I  
DEFINIÇÃO DE MENSAGEM GOOSE DA EDIÇÃO 1 DA IEC 61850  
MOSTRANDO O TEST BIT [4]

Nome do Parâmetro	Tipo do Parâmetro	Valor/Faixa de Valor/Explicação
DataSet	ObjectReference	Valor originado na instância do GoCB
AppID	VISIBLE STRINGS	Valor originado na instância do GoCB
GoCBRef	ObjectReference	Valor originado na instância do GoCB
T	EntryTime	
StNum	INT32U	
SqNum	INT32U	
Test	BOOLEAN	(VERDADEIRO) teste (FALSO) não-teste
ConfRev	INT32U	Valor originado na instância do GoCB
NdsCom	BOOLEAN	Valor originado na instância do GoCB

Dados GOOSE [1...n]: o tipo do parâmetro *Value* depende dos common data classes definidos na IEC 61850-7-3. O parâmetro deve ser derivado do controle do GOOSE.

Apesar da mudança de nome do *Test bit* da mensagem GOOSE, com alguns dispositivos de certos fabricantes ainda é possível testar sistemas que operam com uma combinação de

dispositivos da Edição 1 e da Edição 2 [1] [5] [6]. A IEC 61850-7-1 define o tratamento dos sinais de simulação via *Sim.Oper.ctVal* no *logical node physical device* (LPHD) [7]. Como é explicado na Fig. 2, ajustar o dispositivo para lidar com sinais GOOSE ou SV simulados significa que apenas os sinais com o *Simulation bit* configurado como *TRUE* devem ser processados.

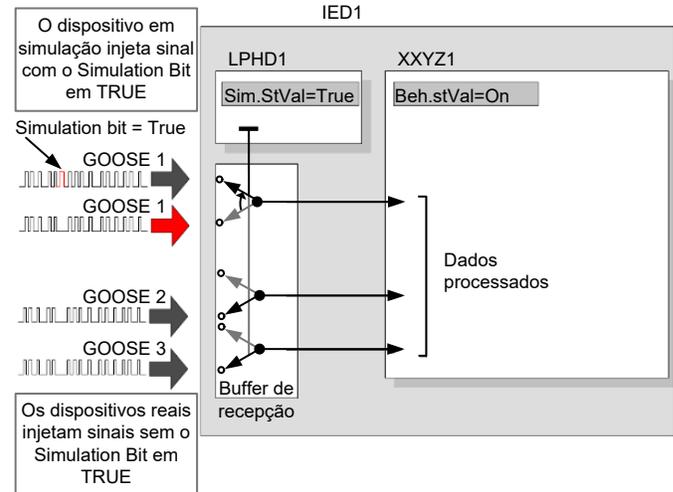


Fig. 2. O dispositivo em teste recebe e processa sinais com o *Simulation bit* definido como *TRUE* [7].

Embora o termo para controlar esta simulação tenha sido atualizado para maior clareza, seu uso não mudou. Isso significa que os relés da Edição 1 e da Edição 2 devem ser capazes de enviar e processar sinais simulados e reais conforme prescrito pelo padrão IEC 61850. Infelizmente, o mesmo não é verdade para testes de relés via *Mode control* e *Behavior*.

A Edição 1 da norma introduziu os recursos *Mode* e *Behavior* com os seguintes estados: *On*, *Blocked*, *Test*, *Test/Blocked* e *Off*. Especificamente, a IEC 61850-7-4 define cada *Mode* e *Behavior* com um valor correspondente [2]. No entanto, o texto na tabela (conforme descrito na Tabela II) é vago o suficiente para que qualquer um de uma variedade de significados possa ser assumido. Por exemplo, o *Test Mode* pode descrever várias lógicas, como função ativa, saídas geradas, relatórios sinalizados como teste, função operada, mas os resultados são indicados como resultados de teste, etc. [2]. “Reportando sinalizado como teste” é particularmente ambíguo porque há bits diferentes para coisas diferentes: há o bit de teste para mensagens GOOSE simuladas e o bit *quality.test* para o *Mode*. A Tabela II não diferencia esses valores, portanto, qualquer fabricante poderia ter definido, e definiu, qualquer um dos bits no *Test Mode*. O manuseio de GOOSE, SV e MMS não foram diferenciados na tabela da Edição 1, levando a mais ambiguidade e interpretação individual, culminando em uma geração de dispositivos da Edição 1 que raramente interoperam entre si, muito menos com os dispositivos da Edição 2.

Embora a Edição 2 da norma trate disso com descrições e métodos instrutivos mais bem definidos, os dispositivos da Edição 1 ainda são usados no campo hoje e fazem parte de sistemas mistos maiores que ainda requerem testes. A Seção VI deste artigo descreve uma solução para esse problema.

TABELA II  
INTERPRETAÇÃO/DEFINIÇÃO DO *MODE* E  
*BEHAVIOR* DA EDIÇÃO 1 DA IEC 61850

Modo e Comportamento	Valor
<i>ON</i> (habilitado) Função ativa Saídas (para o processo) geradas Reportando (para o cliente) Serviços de controle (do cliente) aceitos Dados funcionais (relativos ao processo) visíveis Dados de configuração (capacidade) visíveis (Estado normal)	1
<i>BLOCKED</i> (bloqueado) Função ativa Não há saídas (para o processo) geradas Não reporta Serviços de controle (do cliente) rejeitados Dados funcionais (relativos ao processo) visíveis Dados de configuração (capacidade) visíveis (O processo é supervisionado passivamente)	2
<i>TEST</i> (teste) Função ativa Saídas (para o processo) geradas Reportando (para o cliente) sinalizado como teste Serviços de controle (do cliente) aceitos Dados funcionais (relativos ao processo) visíveis Dados de configuração (capacidade) visíveis (A função é operada mas os resultados são indicados como resultados de teste)	3
<i>TEST/BLOCKED</i> (teste/bloqueado) Função ativa Não há saídas (para o processo) geradas Reportando (para o cliente) sinalizado como teste Serviços de controle (do cliente) aceitos Dados funcionais (relativos ao processo) visíveis Dados de configuração (capacidade) visíveis (A função é operada em Modo Teste mas sem impacto no processo)	4
<i>OFF</i> (desabilitado) Função não ativa Não há saídas (para o processo) geradas Não reporta (para o cliente) Serviços de controle (do cliente) rejeitados Dados funcionais (relativos ao processo) não visíveis Dados de configuração (capacidade) visíveis (A função está inativa mas mostra sua capacidade de configuração)	5

As práticas da indústria determinam que, ao testar um dispositivo em serviço, deve ser solicitada uma autorização [8] e um dispositivo ou sistema deve ser isolado do resto do sistema antes do teste [9]. Com um sistema tradicional com conexões por cabos, as chaves de teste fornecem um ponto de isolamento físico e visível, permitindo aos engenheiros outro método de confirmação. No entanto, na IEC 61850, os dispositivos que estão virtualmente conectados por meio de trocas de mensagens digitais fornecem isolamento lógico em vez de um ponto aberto visível.

Para mitigar parte da ambiguidade da Edição 1 da norma, algumas empresas implementaram um bit de supervisão que foi definido por meio de uma interface no painel frontal ou botão. Se este bit ativasse, um diodo emissor de luz (LED) ou outra sinalização no painel frontal pode indicar aos técnicos que o relé foi isolado do resto do sistema. Este bit foi incluído na

mensagem GOOSE, indicando aos relés assinantes que o dispositivo estava em um estado de teste.

As melhorias introduzidas na Edição 2 da norma, que fornecia o mecanismo para configurar o *Mode/Behavior* por meio de um cliente MMS, permitiria que um dispositivo fosse isolado ou ajustado como  $Mod.stVal = Test/Blocked$  usando um controle MMS. No entanto, se a interface homem-máquina (HMI) na subestação não fosse um dispositivo MMS, ou se fosse um DNP3 ou mestre *Modbus*, então o dispositivo não seria capaz de ser colocado em modo de *Test*, *Blocked* ou *Test/Blocked*, já que nem os mestres DNP3 nem *Modbus* teriam acesso ao modelo de dados IEC 61850.

Outros desafios surgem quando não há IHM local para sinalizar a um dispositivo para entrar no modo desejado. A norma não fornece um mecanismo para alterar o *Mode* sem a interface do cliente *MMS*, mas as concessionárias precisarão de um método para colocar um dispositivo em diferentes modos de teste. Para resolver este problema, foram disponibilizados dispositivos que podem controlar o modo do dispositivo eletrônico inteligente (IED) sem um *MMS client*.

### III. A CFE E A NORMA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES

A maior concessionária da América Latina, a *Comisión Federal de Electricidad* (CFE), desenvolveu uma especificação que descreve os requisitos gerais para a aplicação dos sistemas de automação de subestações (SASs) em instalações elétricas, com base na Norma IEC 61850 para supervisão, controle, e operação de aparelhos e sistemas auxiliares [10]. A documentação de requisitos descreve a necessidade de uso de todos os protocolos do sistema de subestação além da IEC 61850. Isso significa que protocolos como o DNP3 e outros devem ser levados em consideração ao planejar os testes no sistema. A Fig. 3 ilustra esse tipo de sistema.

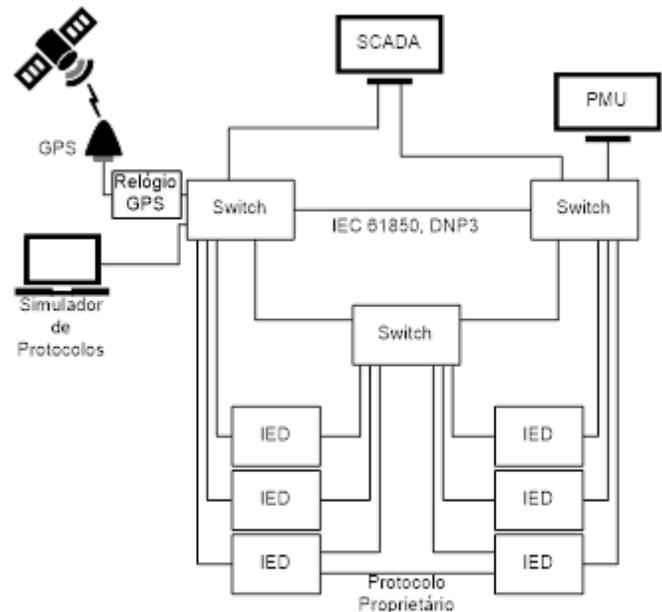


Fig. 3. Arquitetura de comunicações de alto nível para um SAS.

#### IV. IMPLEMENTAÇÕES DO *TEST MODE* NA CFE E EM OUTRAS EMPRESAS

As concessionárias estão combinando técnicas virtuais e de *hardware* para proteger seus ativos. As mensagens GOOSE estão se mostrando confiáveis nas aplicações de teleproteção [11] e, portanto, estão se tornando amplamente aceitas como uma substituição para sinais transmitidos por cabos [12]. O uso de esquemas de teleproteção está presente desde a primeira edição da Norma IEC 61850 e eles foram usados muito antes de ser decidido padronizar a forma como as subestações poderiam ser testadas digitalmente com a inclusão do *Mode/Behavior* na Edição 2.

##### A. Teste Tradicional

Os testes de subestação podem ser divididos em duas etapas principais: comissionamento e teste com subestação em serviço. Durante o comissionamento, a subestação está em um estado desconectado da rede, no qual equipamentos como transformadores de corrente (TCs) ou transformadores de potencial (TPs) não estão conectados à rede elétrica. O comissionamento dá liberdade aos engenheiros para testar tudo sem criar atuações indesejadas no sistema elétrico ou interrupções no fornecimento de energia. Após o comissionamento, a subestação é conectada à rede elétrica e colocada em serviço. Este documento não abordará as necessidades de comissionamento e, em vez disso, focará os testes em serviço.

Uma vez em serviço, qualquer teste ou modificação adicional está sujeito aos procedimentos de liberação da concessionária. Ao contrário do comissionamento, a capacidade de teste agora foi reduzida a subconjuntos específicos de vãos ou de IEDs na subestação. O teste em uma subestação em serviço tem dois objetivos principais: primeiro, para confirmar que as funções programadas no IED funcionam corretamente e para garantir a integridade da subestação; e segundo, para evitar atuações acidentais durante o teste, como abertura de um disjuntor ou de um grupo de disjuntores, habilitar ou desabilitar intertravamentos acidentalmente ou o fechamento inesperado de contatos de saída do relé [13].

Durante o teste tradicional, uma lâmina de teste é inserida na chave de teste do painel. Isso isola o IED do resto do sistema, curto-circuita os circuitos secundários dos TCs, abre os circuitos secundários de TPs e bloqueia a atuação sobre o disjuntor e quaisquer outros sinais de desarme, abrindo o circuito elétrico entre os contatos de saída do IED e as bobinas de abertura. Um painel de proteção de linha de transmissão é mostrado na Fig. 4, com seis chaves de teste instaladas na sua parte inferior. Uma chave de teste é para a proteção primária, duas chaves de teste para cada terminal na proteção de *backup*, duas chaves de teste para cada terminal no controlador de vão e a última chave de teste para um medidor de faturamento.

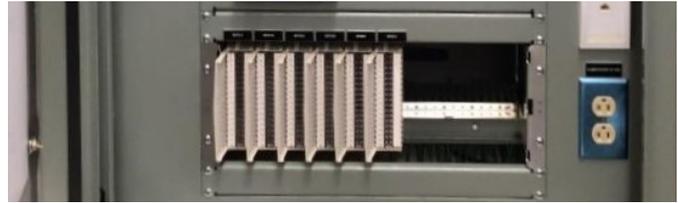


Fig. 4. Painel de proteção de linha de transmissão com chaves de teste instaladas na parte inferior.

Com as atuações do disjuntor bloqueadas, as rotinas de proteção e automação podem ser executadas no dispositivo testado sem provocar uma atuação indesejada. Os resultados do teste são validados e aprovados pela análise da sequência de eventos (SOE) registrada no IED, que, se o teste for bem-sucedido, demonstra que a lógica do IED, a função de proteção e os contatos de saída operam corretamente.

##### B. Teste Digital

Os métodos de teste para fiação virtual diferem significativamente dos empregados nos testes de dispositivos com conexões elétricas por meio de cabos. Como nos testes tradicionais, o isolamento dos dispositivos é necessário, mas, em vez do isolamento físico, o bloqueio digital agora é que se faz necessário. Os procedimentos de teste para troca de sinais digitais devem validar a configuração e operação correta dos relés e garantir que os dois objetivos principais descritos anteriormente sejam alcançados.

O teste de troca de sinais digitais não foi abordado adequadamente pela IEC 61850 até o lançamento da Edição 2 em 2010. Antes disso, as empresas usavam uma abordagem heurística que incluía o uso de equações booleanas como intertravamentos como forma de fornecer isolamento físico. A Fig. 5 e a Fig. 6 mostram maneiras de criar uma ação bloqueada usando soluções de lógica interna do IED. As concessionárias começaram a chamar esta nova abordagem de *Test Mode* [13], que, com o tempo, introduziu a confusão que a terminologia da Edição 2 tentou esclarecer [4].

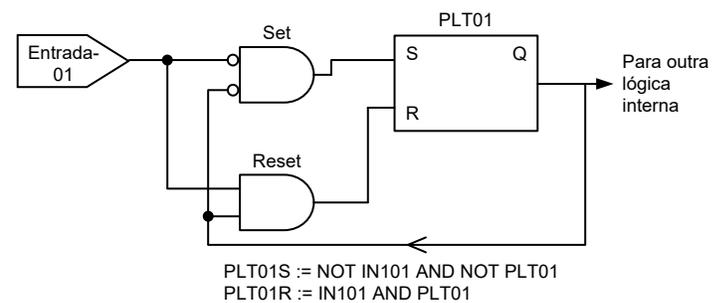


Fig. 5. Uso da lógica de bloqueio interno do IED (PLT01) para ativar e desativar o *Test Mode*.

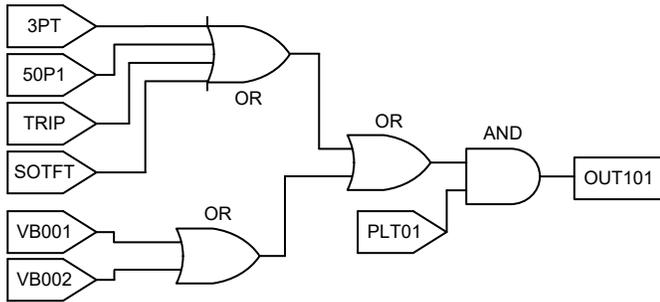


Fig. 6. Lógica usada para bloquear o fechamento de um contato de saída (OUT101) do IED para evitar atuações acidentais durante o *Test Mode*.

Este *Test Mode* consiste em uma série de equações lógicas booleanas que foram programadas no IED e que avaliarão uma condição antes que uma variável lógica interna seja definida ou um contato de saída tenha permissão para operar. Este método de isolamento não depende de campos reservados ( $LPHD.Sim.stVal = TRUE$ , ou *Simulation mode*), do *Mode/Behavior* do IED ou do valor possivelmente ambíguo dos *Quality fields*. Como resultado, este *Test Mode* pode ser usado independentemente da implementação da IEC 61850 em outros dispositivos na subestação, e a interoperabilidade entre os dispositivos é possível. Por outro lado, este método pode ser muito complicado, deixa margem para erros e pode não ser compatível com todos os IEDs.

O *Test Mode* pode ser habilitado por um botão localizado no painel frontal do IED, um bit de controle interno ou com uma chave de teste que controla uma entrada do IED. Por sua vez, uma lógica de bloqueio interno do IED (*PLT*) será controlada com base no estado dos sinais de entrada. A saída da *PLT* será definida como *TRUE* quando o IED estiver no modo de teste. A Fig. 5 apresenta um diagrama lógico simples para colocar o relé no *Test Mode* inserindo uma lâmina de teste na chave de teste do IED.

A saída *PLT* pode ser usada para várias tarefas, uma delas é acender um LED no painel frontal, avisando ao usuário que o relé está no *Test Mode* [8] [9]. Ela é incluída como um elemento de supervisão em cada equação lógica de proteção e contato de saída para evitar ações imprevistas de *trip* ou fechamento. O *Test Mode* bloqueará quaisquer comandos físicos de *trip*, independentemente se o IED atua em decorrência de uma função de proteção ou se recebe um comando de *trip* por meio de uma mensagem GOOSE. A Fig. 6 mostra uma lógica de contato de saída que é usada para bloquear o fechamento do contato.

A implementação deste método de isolamento é demorada porque cada IED deve ser programado e configurado com as lógicas correspondentes e as assinaturas GOOSE. Além disso, como a fiação é virtual, o mapeamento das mensagens GOOSE para cada assinante e a atribuição das variáveis do *Test Mode* à lógica de proteção torna este método sujeito a erros e configurações incorretas, conforme mencionado anteriormente.

Ignorando o esforço que deve ser colocado na configuração do *Test Mode*, a implementação desse método de isolamento como parte do projeto inicial de rede e antes do comissionamento aumentará os recursos de teste e expansão do sistema após ele ser comissionado e colocado em serviço.

Assim que a configuração é concluída, ela fornece ao usuário final um certo nível de liberdade durante o teste. O *Test Mode* garante que operações indesejadas, como falsos *trips*, não ocorram porque a lógica de proteção e automação está bloqueada e os contatos de saída não operam quando o IED está em uma configuração de bloqueio. Depois de configurados, os IEDs são isolados e o sistema está pronto para testes reais sem a necessidade de liberações que exijam que o sistema fique *offline*. A integração de mensagens GOOSE com sistemas de proteção, automação e controle atua como um complemento ou substituição de sinais cabeados por este método de isolamento. O *Test Mode* foi amplamente aceito e testado, ao mesmo tempo em que demonstra a implementação e utilização da IEC 61850 em subestações de transmissão em todo o México [10] [11] [14].

## V. A NOVA ERA DO *TEST MODE AND BEHAVIOR* DA IEC 61850

### A. O Futuro dos Testes de Subestações Digitais

A Edição 2 da IEC 61850 fornece uma explicação aprimorada, embora ainda muito complexa, dos termos e métodos de teste preferidos, e especifica como os IEDs devem operar com base no *Mode (Mod)* e no *Behavior (Beh)*. A abordagem revisada define um método padronizado de isolamento que reduz, mas não elimina completamente, a necessidade de equações lógicas complexas que eram empregadas para o isolamento dos IEDs da Edição 1.

Antes da publicação da Edição 2, os fabricantes de IED interpretavam a norma de maneira inconsistente, o que contribuía para problemas de interoperabilidade e permitia maior probabilidade de atuação incorreta do dispositivo. Esses problemas contribuíram para a confusão nos dispositivos de teste, levando à falta de confiança generalizada na norma e à adoção tipicamente experimental dos dispositivos IEC 61850. Os esclarecimentos da Edição 2, que explicam como o *Mode* é controlado, melhoraram a eficácia dos testes de conformidade e forneceram ao pessoal da concessionária a confiança de que os problemas de teste da norma tinham sido resolvidos.

A implementação aprimorada dos recursos de teste *Mode control* e *Behavior* inclui a padronização do processamento de mensagens GOOSE [15], a operação dos contatos de saída [15] e a configuração de sinalização para os dados dentro das mensagens GOOSE [16]. A Tabela III explica como os contatos de saída do IED se comportarão de acordo com o valor de *Behavior* do IED [15]. A Tabela IV explica como o IED irá processar os dados em uma mensagem GOOSE de acordo com seu valor de *stVal Quality* [15].

TABELA III  
OPERAÇÃO DOS CONTATOS DE SAÍDA

Modo	Comportamento dos Contatos de Saída
<i>On</i>	Contatos operam conforme os sinais processados
<i>Blocked</i>	Contatos NÃO operam
<i>Test</i>	Contatos operam conforme os sinais processados
<i>Test/Blocked</i>	Contatos NÃO operam
<i>Off</i>	Contatos NÃO operam

TABELA IV  
PROCESSAMENTO DE MENSAGENS GOOSE E SV

Modo	$q.Validity = Good$ $q.test = FALSE$	$q.Validity = Good$ $q.test = TRUE$
<i>On</i>	Processar como válido	Não processar
<i>Blocked</i>	Processar como válido	Não processar
<i>Test</i>	Processar como válido	
<i>Test/Blocked</i>	Processar como válido	
<i>Off</i>	Não processar	

### B. Estudo de Caso: A Transição de Equações Artesanais para o Uso de Recursos Internos de Teste da IEC 61850

Com o esclarecimento trazido pela Edição 2 da IEC 61850, os usuários podem adotar consistentemente os complexos recursos integrados que a norma oferece, sem a necessidade de programar equações lógicas complexas para evitar atuação acidental durante o teste dos ativos em serviço na subestação. Esses recursos integrados são explicados em detalhes nesta seção.

#### 1) Simulation

O bloco de controle GOOSE contém um atributo *Simulation* que é definido como *TRUE* para uma mensagem simulada. O *bit S*, dentro da seção *Reserved 1* de uma unidade de dados do protocolo GOOSE mostrada na Fig. 7 [3], espelha o atributo *Simulation*. Este bit será referido como *bit Sim*.

Octets	8	7	6	5	4	3	2	1
0	S	R			Reserved Security			
1	Reserved Security							

Fig. 7. A sinalização *Simulate* de uma mensagem GOOSE.

*Simulation* é o estado em que o IED é configurado para processar mensagens GOOSE simuladas ( $LPHD.Sim.stVal = TRUE$ ). Com  $Sim.stVal = TRUE$ , uma vez que o IED recebe uma mensagem GOOSE com o *bit Sim* operado, o IED irá parar de processar a mensagem GOOSE normal em favor da mensagem simulada. Se o IED subscrever outras mensagens GOOSE não simuladas, ele continuará a lidar com as outras subscritas como antes. Somente aquelas mensagens simuladas com o *Sim bit* “setado” serão processadas até o IED ter  $LPHD.Sim.stVal = FALSE$  [7]. Mensagens GOOSE simuladas, GOOSE normal e mensagens com o *bit Sim* ativado podem estar presentes na rede. A simulação pode ser vista como uma substituição para uma caixa de teste tradicional, que injeta

valores analógicos e entradas digitais em um IED. Um dispositivo em *Simulation mode* continuará a processar dados normais se não receber uma mensagem com o *bit Sim* ativado. Portanto, um dispositivo em *Simulation mode* subscrevendo várias mensagens GOOSE ou SV pode processar ambos os fluxos simulados e reais simultaneamente, dependendo do sinalizador *Sim* das mensagens publicadas [7].

Para permitir que um IED processe mensagens GOOSE simuladas, o usuário precisa escrever nível lógico 1 (*TRUE*) em  $LPHD.Sim.Oper.ctlVal$  que definirá o  $LPHD.Sim.stVal = TRUE$ , indicando que o IED está pronto para receber as mensagens simuladas. Embora as mensagens GOOSE simuladas sejam normalmente enviadas de um dispositivo ou *software* de teste, os fabricantes de IED podem ter implementado meios proprietários para configurar um IED para atuar como um dispositivo de simulação e enviar mensagens GOOSE simuladas para a rede. Por exemplo, com os IEDs de um determinado fabricante, o *Simulate bit* pode ser definido escrevendo nível lógico 1 no objeto estendido  $LPHD, LN LPHD1.PubSim.Oper.ctlVal$ . É necessário mencionar que tanto o  $LN LPHD1.Sim$  quanto o  $LPHD1.PubSim$  são extensões de teste e não estão presentes por padrão em um *configured IED description* (CID).

Este recurso dará aos usuários a oportunidade de realizar operações de teste em um subconjunto de IEDs específicos em uma subestação em serviço, sem afetar a operação de quaisquer IEDs que não estejam envolvidos no teste. Como os IEDs que não têm a lógica  $LN LPHD1.Sim.stVal = TRUE$  irão ignorar as mensagens GOOSE com o sinalizador *Sim* ativado, a chance de que o IED processe quaisquer sinais de *trip* enviados via mensagens GOOSE dos dispositivos em teste é baixa, portanto as atuações acidentais e falsos *trips* são possivelmente evitados sem a necessidade de qualquer lógica adicional. A Seção VII descreve como usar a simulação ao testar dispositivos permeando ambas as edições da IEC 61850.

#### 2) Processamento de um Item Contido em uma Mensagem GOOSE de Entrada com Base no Valor do Quality Field

Cada item de dados incluído em uma mensagem GOOSE deve conter uma *bit-string* que fornece o campo *Quality* desse item [16]. A *bit-string Quality* contém os seguintes campos, descritos na Tabela V.

Se uma mensagem GOOSE contiver dados com  $q.Validity = Good$  e  $q.Test = TRUE$ , então o item de dados dentro dessa mensagem é de dados de teste e devem ser processados por um dispositivo onde  $Mode = Test$  ou  $Test/Blocked$ . Consulte a Tabela V.

Quando o IED é colocado em  $Mode = Test$  ou  $Test/Blocked$ , ele processa mensagens GOOSE onde os dados têm  $q.Test = TRUE$  definido na *string Quality*. Se um IED estiver em  $Mode = On$  ou  $Blocked$  e receber dados com  $q.Validity = Good$  e  $q.Test = TRUE$ , o IED processará os dados como se fossem inválidos. Portanto, colocar um IED em  $Mode = Test$  não deve afetar um dispositivo a montante que não esteja em  $Mode = Test$ .

Ao testar dispositivos que são virtualmente conectados por meio de GOOSE, pode ser difícil fornecer uma indicação

visível de que um dispositivo foi isolado para teste quando não há cliente *MMS* para visualizar o estado do *Mode/Behavior* ou para alterar o modo do IED. Caixas de teste modernas e *software* de teste podem acessar o modelo de dados e fornecer o estado do *Mode*; entretanto, uma indicação no IED pode ser usada para fornecer a confirmação necessária para comprovar que o IED foi isolado.

TABELA V  
BIT-STRING VALUES

Bits	IEC 61850-7-3		Bit-String	
	Nome do Atributo	Valor do Atributo	Valor	Padrão
0-1	Validity	Good	0 0	0 0
		Invalid	0 1	
		Reserved	1 0	
		Questionable	1 1	
2	Overflow		TRUE	FALSE
3	OutofRange		TRUE	FALSE
4	BadReference		TRUE	FALSE
5	Oscillatory		TRUE	FALSE
6	Failure		TRUE	FALSE
7	OldData		TRUE	FALSE
8	Inconsistent		TRUE	FALSE
9	Inaccurate		TRUE	FALSE
10	Source	Process	0	0
		Substituted	1	
	Test		TRUE	FALSE
12	OperatorBlocked		TRUE	FALSE

### 3) Comportamento dos Contatos de Saída dos IEDs com Base no *Mode/Behavior* Enviado ao IED

Empregando métodos de teste tradicionais, a chave de teste às vezes era usada para fornecer isolamento abrindo o contato físico. Para realizar o teste, a lógica do relé era alterada para usar um contato de saída sobressalente para verificar a operação. Na IEC 61850, quando o *Mode/Behavior* = *Blocked* ou *Test/Blocked*, o IED fornece o isolamento necessário evitando o fechamento do contato de saída.

Conforme descrito anteriormente na Tabela III, ao receber um comando de controle via *MMS* ou lógica de processamento *GOOSE*, nenhuma operação de saída será emitida se *Mode/Behavior* = *Blocked* ou *Test/Blocked*. A diferença entre esses dois é que se o *Mode/Behavior* estiver em *Blocked*, os dados normais de entrada (não os dados de teste) serão processados, mas a operação do contato de saída será bloqueada. Se o *Mode/Behavior* de um dispositivo for *Test/Blocked*, os dados normais de entrada e os dados de teste serão processados, mas o contato de saída será bloqueado.

O uso de modos de bloqueio evita operações incorretas, como o *trip* de um disjuntor ou grupo de disjuntores, ou o *trip* ou fechamento acidental das saídas do relé ao testar a respectiva lógica. Como a lógica ainda é processada, mas a operação de

saída está bloqueada, o pessoal da concessionária pode examinar o registro de *SOE* para confirmar que as funções programadas no IED funcionam corretamente e, assim, garantir a integridade da subestação.

A Norma IEC 61850 espera que seja usado um cliente *MMS* para alterar o *Mode/Behavior*. As caixas de teste modernas que usam IEC 61850 podem acessar o modelo de dados e controlar o *Mode*; entretanto, se este tipo de caixa de teste não estiver disponível para um IED, então o usuário deve encontrar ou inventar outros métodos de teste e o IED não poderá relatar seu valor de *Mode/Behavior* para clientes *SCADA* que não empregam IEC 61850.

Alguns IEDs fornecem meios alternativos para modificar e indicar o valor de *Mode/Behavior*. Por exemplo, equações lógicas dedicadas podem fornecer os meios para colocar o IED no *Test* e/ou *Blocked Mode* por meio de um botão ou outra entrada. Neste exemplo, *SC850TM* é uma variável lógica que pode ser usada para definir ou redefinir o *Test Mode*. Da mesma forma, *SC850BM* é uma variável lógica que pode ser usada para ativar ou desativar o *Blocked Mode*. A lógica a seguir é um exemplo de como o *Mode/Behavior* de um IED é selecionado mediante o uso das variáveis lógicas *SC850TM* e *SC850BM*, que por sua vez são controladas pelas variáveis lógicas *PLT02* e *PLT03*, respectivamente. A Tabela VI ilustra o *Mode/Behavior* do IED como resultado do estado das variáveis lógicas *SC850TM* e *SC850BM*.

*SC850TM* := *PLT02*

*SC850BM* := *PLT03*

TABELA VI  
IEC 61850 *MODE/BEHAVIOR* SELECIONADO VIA IED

<i>SC850TM</i>	<i>SC850BM</i>	<i>Mode/Behavior</i>
0	0	<i>On</i>
1	0	<i>Test</i>
0	1	<i>Blocked</i>
1	1	<i>Test/Blocked</i>

Ao usar este tipo de variável lógica para acender os LEDs do painel frontal, passa a haver uma indicação visível para os executores de testes de que um IED está no modo esperado para teste.

O valor de *Mode/Behavior* é uma enumeração com uma faixa de 1 a 5, definido no IED *Capability Description* (*ICD*) ou no arquivo *CID* com os seguintes valores correspondentes [17].

```
<EnumType id="Mod">
  <EnumVal ord="1">on</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">blocked</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">test</EnumVal>
  <EnumVal ord="4">test/blocked</EnumVal>
  <EnumVal ord="5">off</EnumVal>
</EnumType>
```

Outro problema que pode surgir usando *Mode/Behavior* é que outros protocolos, como *DNP3* ou *Modbus*, não têm como ler o *Mode/Behavior* da IEC 61850; entretanto, alguns fabricantes de IEDs forneceram meios para relatar o *status* do

*Mode/Behavior*. Por exemplo, I850MOD é um valor analógico nomeado pelo fabricante no IED que fornece o valor atual de *Mode/Behavior* no dispositivo lógico raiz. O IED pode relatar este valor por meio de outros protocolos de comunicação, que permite legibilidade além da IEC 61850.

À medida que a adoção experimental da IEC 61850 continua a crescer, os procedimentos e métodos de teste evoluem. As concessionárias precisarão aprender a confiar nos *status* dos sinais digitais como antes confiavam em chaves de teste visivelmente abertas. A visibilidade do *Mode/Behavior* nos métodos de teste da IEC 61850 pode fornecer a garantia buscada pelo pessoal da concessionária.

#### VI. ESTUDO DE CASO: TESTE DE SUBESTAÇÕES EM SERVIÇO COM UMA INSTALAÇÃO MISTA DE IEDS BASEADOS NAS EDIÇÕES 1 E 2 DA IEC 61850

Devido às inconsistências entre as implementações padronizadas e não padronizadas dos diferentes fabricantes de IEDs, existe o risco de provocar atuações indesejadas ao tentar realizar testes digitais em uma subestação em serviço com uma mistura de dispositivos das Edições 1 e 2.

A execução de testes digitais usando *Mod.stVal = Blocked* ou *Mod.stVal = Test/Blocked* nas mensagens GOOSE entre IEDs baseados em ambas as edições da IEC 61850 causaria atuação incorreta dos IEDs que usam a Edição 1. Esses IEDs podem processar todas as mensagens GOOSE de entrada, independentemente do modo dos dados da mensagem recebida. No entanto, como o *Sim/Test bit* foi padronizado, esse recurso interno pode, às vezes, ser aproveitado para realizar o teste digital. Isso ocorre porque o nome do bit reservado mudou, mas não sua localização na mensagem GOOSE, o que permite aos usuários empregar os sinais simulados.

Considere o teste de um esquema de falha de disjuntor para a Linha 2 em uma subestação em serviço com duas linhas, conforme mostrado na Fig. 8. Como parte de uma atualização de projeto para a Linha 2, um novo relé de falha de disjuntor (destacado em negrito) é adicionado para esta linha. Todos os IEDs da Linha 2 são novos e adotam a Edição 2, enquanto todos os IEDs na Linha 1 são mais antigos e adotam a Edição 1.

Testar o esquema de falha do disjuntor da Linha 2, assumindo que nenhum dado adicional seja trocado entre os relés da Edição 1 e da Edição 2 por meio de protocolos ou comunicações proprietários, requer uma certa série de etapas, descritas a seguir.

1. Uma lâmina de teste é inserida na chave de teste correspondente aos relés de proteção de linha e de falha do disjuntor.
2. O *Mode/Behavior* do relé de proteção da Linha 2 está configurado para *Mode/Behavior = Test/Blocked*.
3. O relé de proteção da Linha 2 é configurado para publicar mensagens GOOSE simuladas na rede.
4. O relé de falha de disjuntor da Linha 2 é configurado para *Mode/Behavior = Test/Blocked*.
5. O relé de falha de disjuntor da Linha 2 é configurado para aceitar mensagens GOOSE simuladas na rede.
6. O relé de falha de disjuntor da Linha 2 é configurado para publicar mensagens GOOSE simuladas na rede.

7. Todos os IEDs da Linha 1 permanecem em serviço sem configuração adicional.
8. Todas as rotinas de proteção são executadas normalmente com o uso de uma configuração de teste.

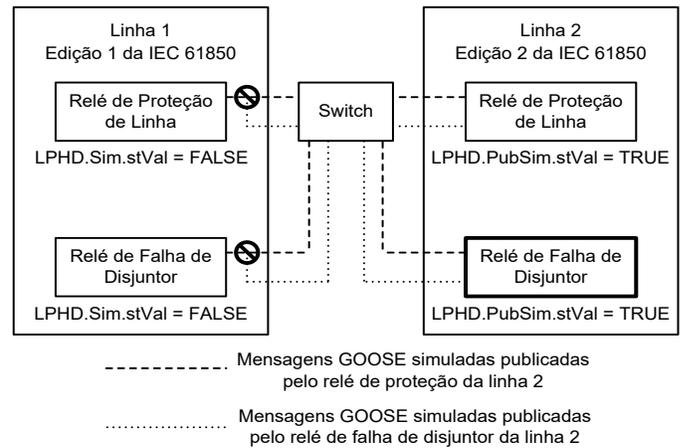


Fig. 8. Usando *Simulation* como uma forma de realizar testes digitais em subestações em serviço com uma mistura de IEDs das Edições 1 e 2 da IEC 61850. Cada dispositivo da Linha 2 aceita e processa mensagens GOOSE do outro.

Aplicar o *Mode/Behavior = Test/Blocked* nos relés da Linha 2 os direcionará a não fechar nenhum contato de saída, desde que estejam em *Mode/Behavior = Test/Blocked*, dando o isolamento físico necessário em relação a outros dispositivos. Isso também direcionará os IEDs para processar todos os itens de dados dentro das mensagens GOOSE que contenham o atributo *Quality Test = TRUE* e *Mode = On*.

Configurar *LPHDI.PubSim.stVal = TRUE* nos relés da Linha 2 os direcionará a aplicar o *Sim bit* e, em seguida, todas as mensagens GOOSE de saída desses relés serão reconhecidas por todos os IEDs da rede como simuladas, conforme mostrado na Fig. 8.

Configurar *LPHDI.Sim.stVal = TRUE* no relé de falha do disjuntor da Linha 2 direcionará o relé para processar apenas mensagens GOOSE simuladas que têm o *bit Sim* ativado [3]. Todos os demais IEDs da subestação (ou seja, IEDs da Edição 1 na Linha 1) irão processar apenas mensagens GOOSE com o sinalizador *Sim* desativado e ignorar todas as mensagens GOOSE simuladas publicadas pelos IEDs da Linha 2 [3]. Lembre-se de que isso funcionará apenas se os IEDs da subestação, que podem ser de fabricantes diferentes, processarem o *Sim/Test bit* da mesma maneira.

Todas essas rotinas de proteção podem ser executadas neste momento. Nenhum contato de saída dos IEDs da Linha 2 será fechado porque o *Mode* está em *Test/Blocked*, e quaisquer sinais de *trip* transmitidos por mensagens GOOSE, seja pela proteção da linha ou pelos relés de falha de disjuntor da Linha 2, serão desconsiderados por todos os IEDs que não estão configurados para receber mensagens GOOSE simuladas. Esta configuração fornece ao usuário a confiança de que nenhuma operação indesejada ou falso comando de *trip* serão produzidos durante o teste.

Outra opção é aproveitar as vantagens do *Simulation bit* e do *Mode* para testar as Edições 1 e 2. Os dispositivos da Edição 1,

que podem ou não bloquear corretamente os contatos de saída, são combinados com os dispositivos da Edição 2 que podem bloquear os contatos de saída. Configurar os IEDs da Edição 2  $LPHD.Sim.stVal = TRUE$  e  $Mode$  em  $Blocked$  permitirá que sinais de teste com  $Sim\ bit$  ativado sejam injetados no sistema, mas os relés da Edição 1, cujo  $LPHD.Sim.stVal = FALSE$ , irão ignorá-los. A Fig. 9 ilustra esta ideia de usar os dois métodos de teste ao mesmo tempo:

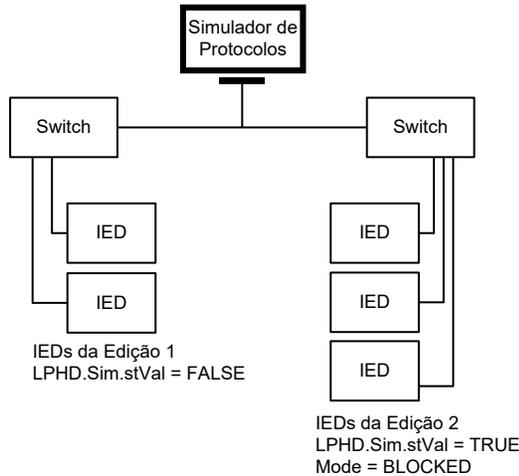


Fig. 9. Sistema com relés da Edição 1 e da Edição 2 usando o  $Sim\ bit$  e o  $Mode$  para teste.

## VII. ESTUDO DE CASO: TESTANDO O ESQUEMA DE PROTEÇÃO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO EM UMA SUBESTAÇÃO EM SERVIÇO COM IEDS QUE USAM APENAS A EDIÇÃO 2 DA IEC 61850

A padronização da Edição 2 da IEC 61850 garante o processamento uniforme de mensagens GOOSE com base nos atributos  $Mode/Behavior$  e  $Quality$ . Portanto, ter uma subestação em serviço com todos os IEDs usando a Edição 2 torna o teste digital mais fácil do que seria com a Edição 1 porque todos os IEDs irão processar (ou desconsiderar) as mensagens GOOSE de entrada, conforme explicado na Tabela IV. Isso garantirá que nenhuma operação acidental ou falsos  $trips$  sejam produzidos no sistema digital como resultado de uma configuração incorreta do IED, uma lógica defeituosa ou IEDs de diferentes fabricantes. Isso é essencial quando os Operadores do Sistema Elétrico ou as especificações listadas por algumas concessionárias recomendam, ou mesmo exigem, que os relés principal e de  $backup$  sejam diferentes construtivamente, quanto a algoritmos de proteção e até mesmo em termos de fabricantes.

As linhas de transmissão são componentes críticos da rede elétrica. Assim, as linhas de transmissão raramente são retiradas de serviço. Uma linha fora de serviço se traduz em perdas econômicas tanto para as concessionárias quanto para as indústrias que dependem dessa energia, bem como causa um impacto na qualidade de vida das pessoas que dependem dessa energia. Portanto, ter métodos confiáveis para testar IEDs de linhas de transmissão em serviço é de extrema importância. A visão e o esforço que o TC57/WG10 da IEC empregou para que se possa realizar testes em uma subestação ativo, sem retirá-lo

de serviço e colocá-lo *off-line*, agora é possível com a Edição 2 da IEC 61850, embora isso não seja perfeito e não aborde alguns pontos que são explicados na Seção VIII. O uso dos recursos embarcados oferecidos nesta revisão, em combinação com um bom projeto de painel que forneça isolamento físico, como chaves de teste, ajuda a testar sistemas ativos em serviço.

A intenção por trás dos recursos embarcados da Edição 2 é realizar testes das funções que protegem a linha de transmissão sem interrupção do serviço, bem como fornecer a proteção necessária para eliminar qualquer falta na linha de transmissão, no caso de ocorrer um curto-circuito no sistema elétrico.

Considere um esquema tradicional de proteção de linha de transmissão, conforme ilustrado na Fig. 10. Cada extremidade da linha contém quatro relés de proteção cujas funções são explicadas nas seções a seguir.

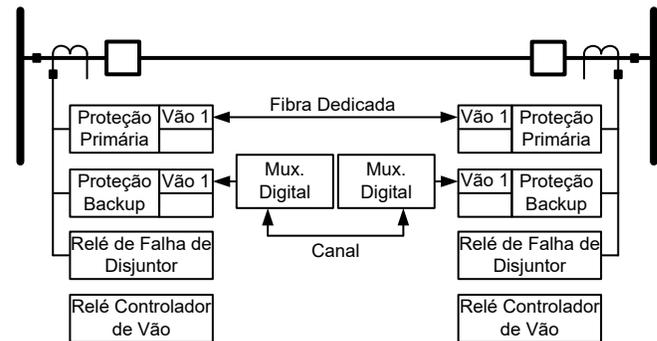


Fig. 10. Um esquema tradicional de proteção de linha de transmissão.

### A. IED de Proteção Principal

O IED de proteção principal na subestação local troca dados com o IED de proteção principal na subestação remota para prover a proteção diferencial de linha (87L), compartilhando as medições de corrente entre os terminais da linha. As comunicações da função 87L são executadas por meio de um protocolo proprietário. Este protocolo pode permitir a transmissão de bits adicionais, tais como o de transferência permissiva de disparo por sobrealcançe (POTT) ou o de transferência direta de disparo (DTT), compartilhados com os dados da proteção diferencial. Esse recurso ajuda a reduzir o equipamento de comunicação adicional e cabeamento. Os sinais de  $trip$  gerados pelos esquemas 87L, POTT e DTT também são publicados na rede por meio de mensagens GOOSE.

O IED da proteção principal também troca dados com outros IEDs na mesma subestação, usando contatos de entrada/saída. A inicialização de esquemas de proteção de falha de disjuntor (50BFI) e de esquemas de religamento automático (79I) são obtidos por este método de comunicação. Da mesma forma, sinais de  $trip$ , como os das funções 87L, POTT e DTT, também são publicados na rede por meio de mensagens GOOSE.

### B. IED de Proteção de Backup

O IED de proteção de  $backup$  tem proteção de linha de distância e direcional de sobrecorrente (21L/67L). O IED de proteção de  $backup$  também troca dados de proteção, como bits de POTT e DTT, usando um protocolo proprietário, geralmente por meio de um multiplexador de comunicação. O objetivo

dessa troca de comunicação é dar aos IEDs um processamento de *trip* mais rápido, em vez de depender apenas das funções de proteção 21L/67L. Os sinais de *trip* gerados a partir dos esquemas 21L, 67L, POTT e DTT também são publicados na rede por meio de mensagens GOOSE.

Semelhante ao IED de proteção primária, o IED de proteção de *backup* também troca dados com outros IEDs na mesma subestação para habilitar esquemas de proteção, como o 50BFI e o 79I, através de contatos de entrada/saída. Da mesma forma, os sinais 50BFI e 79I também são publicados na rede por meio de mensagens GOOSE.

### C. IED de Falha de Disjuntor

O IED de falha de disjuntor serve como proteção de falha de disjuntor (50BF). Ao contrário dos IEDs de proteção primária e de *backup*, normalmente o IED de falha do disjuntor não troca dados com os outros IEDs de outras subestações. No entanto, os sinais de *trip* como o do 50BF e o *trip* para o relé de bloqueio (86BF) são trocados com outros IEDs na mesma subestação através de contatos de entrada/saída. Da mesma forma, os sinais de disparo do 50BF e do 86BF também são publicados na rede por meio de mensagens GOOSE.

### D. IED Controlador de Vão

O IED controlador de vão provê o controle local de disjuntores e chaves seccionadoras do vão para os operadores. O controlador de vão pode receber os estados de alarmes, equipamentos, disjuntores, chaves seccionadoras, mensagens GOOSE e intertravamentos, todos comandando o controlador de vão para operar seus contatos. O IED é programado para lidar com essas várias entradas.

Para realizar o teste de cada IED e suas respectivas funções de proteção, o *Mode/Behavior* será alterado apenas no IED a ser testado.

### E. Teste da Proteção Principal (Função 87L)

Para testar os relés 87L, os IEDs em ambas as extremidades da linha de transmissão são configurados para *Mod.stVal/Beh.stVal = Test/Blocked*. Todos os IEDs restantes (21L/67L, 50BF e o controlador de vão) permanecem inalterados (*Mod.stVal/Beh.stVal = On*).

Com o *Mode/Behavior = Test/Blocked* de ambos os relés 87L = *Test/Blocked*, nenhum contato de saída será fechado por esses relés e as rotinas de teste de proteção podem ser iniciadas. Quaisquer sinais de *trip* recebidos (sejam de mensagens GOOSE, através do canal do 87L, transferências de disparo de outros IEDs ou *trips* como resultado de uma falta induzida por uma caixa de teste) serão processados de acordo com as especificações do fabricante, mas nenhum contato de saída será fechado. Sem os relés 87L fechando os contatos de saída, nenhum sinal de *trip* será propagado para outros IEDs por conexões elétricas. Os sinais de *trip* publicados em uma mensagem GOOSE pelos relés 87L terão o valor do campo de teste *Quality (q)* definido como *TRUE*. Os sinais de *trip*

publicados pelos relés 87L não serão processados por outros IEDs da rede; esses sinais de *trip* serão descartados devido à incompatibilidade do valor do campo *.q*. Este isolamento físico e digital impedirá que os relés 87L e outros IEDs abram o disjuntor.

Configurando o *Mode/Behavior = Test/Blocked* dos relés 87L, os seguintes resultados são obtidos:

- As transferências de disparo enviadas pelo canal do 87L serão recebidas e processadas na outra extremidade, mas nenhum contato elétrico será fechado em ambas as extremidades.
- As transferências de disparo recebidas por meio de cabos não serão propagadas para outros IEDs, porque nenhum contato será fechado nos IEDs em teste.
- As transferências de disparo digitais, enviadas pelos relés 87L por meio de mensagens GOOSE, serão descartadas pelos IEDs assinantes que não estão configurados para o mesmo *Mode/Behavior* que os relés 87L.
- Quaisquer transferências de disparo digitais enviadas por protocolos proprietários pelos relés 87L serão processadas pelos IEDs receptores, mas nenhum contato elétrico será fechado, evitando a abertura dos disjuntores no campo.
- A linha de transmissão será protegida continuamente pelos relés 21L/67L durante o teste dos relés 87L, fornecendo a flexibilidade para testar os IEDs necessários, mantendo a proteção sem desativar a linha.

Após o final do teste, os relés 87L em ambas as extremidades serão configurados para *Mode/Behavior = On*. Isso retorna os relés à operação normal.

### F. Teste da Proteção de Backup (Funções 21L/67L)

Para testar os relés 21L/67L, os IEDs em ambas as extremidades da linha de transmissão são configurados para *Mode/Behavior = Test/Blocked*. Todos os IEDs restantes no esquema (87L, 50BF e o controlador de vão) permanecem inalterados (*Mod.stVal/Beh.stVal = On*).

Com ambos os relés 21L/67L configurados em *Mode/Behavior = Test/Blocked*, nenhum contato de saída será fechado por eles, permitindo o início das rotinas de teste de proteção. Como no teste do 87L, os sinais de *trip* recebidos podem ser processados, mas nenhum contato de saída será fechado. Sem os relés 21L/67L acionando os contatos de saída, nenhum sinal de *trip* por meio de cabo será propagado para outros IEDs. Como os relés 87L, os sinais de *trip* publicados em uma mensagem GOOSE terão o valor do campo de teste *.q* definido como *TRUE*. Os sinais de *trip* publicados pelos relés 21L/67L não serão processados por outros IEDs da rede, pois esses sinais de *trip* serão descartados devido à diferença de valor do campo *.q*. Este isolamento físico e digital impedirá que os relés 21L/67L e outros IEDs abram o disjuntor.

Configurando o *Mode/Behavior* dos relés 21L/67L para *Test/Blocked*, os seguintes resultados são obtidos:

- As transferências de disparo enviadas através do canal de comunicação proprietário serão recebidas e processadas na outra extremidade, mas nenhum contato físico será fechado em ambas as extremidades.
- As transferências de disparo por meio de cabos não serão propagadas para outros IEDs porque nenhum contato será fechado nos IEDs em teste.
- Transferências de disparo digitais, enviadas por meio de mensagens GOOSE pelos relés 21L/67L, serão descartadas por quaisquer IEDs assinantes que não estejam configurados para o mesmo *Mode/Behavior* que os relés 21L/67L.
- Quaisquer transferências de disparo digitais enviadas por protocolos proprietários pelos relés 21L/67L serão processadas pelos IEDs receptores, mas nenhum contato físico será fechado, evitando o *trip* dos disjuntores no campo.

Após o final do teste, os relés 21L/67L em ambas as extremidades serão configurados para *Mod.stVal / Beh.stVal = On*, retornando à operação normal.

#### G. Teste da Proteção de Falha de Disjuntor (Função 50BF)

Para testar o relé 50BF, o IED será configurado para *Mode/Behavior = Test/Blocked*. Todos os IEDs restantes no esquema (87L, 21L/67L e o controlador de vão) permanecem inalterados (*Mod.stVal/Beh.stVal = On*).

Com o relé 50BF em *Mode/Behavior = Test/Blocked*, nenhum contato de saída será fechado neste relé. Neste ponto, as rotinas de teste de proteção podem ser iniciadas. Como antes, quaisquer sinais de *trip* recebidos por meio de mensagens GOOSE serão processados, mas nenhum contato de saída será fechado. Sem o relé 50BF fechando os contatos de saída, nenhum sinal de *trip* por meio de cabo será propagado para outros IEDs. Os sinais de *trip* publicados em uma mensagem GOOSE pelo relé 50BF terão o valor do campo de teste *.q* definido como *TRUE*, e os sinais de *trip* publicados pelo relé 50BF não serão processados por outros IEDs da rede; esses sinais de *trip* serão descartados devido à incompatibilidade do valor do campo *.q*. Este isolamento físico e digital impedirá que o relé 50BF e outros IEDs abram o disjuntor.

Ao configurar o *Mode/Behavior* do relé 50BF para *Test/Blocked*, são obtidos os seguintes resultados:

- As transferências de disparo enviadas por um canal de comunicação proprietário serão recebidas e processadas, mas nenhum contato físico será fechado.
- As transferências de disparo por meio de cabos não serão propagadas para outros IEDs porque nenhum contato será fechado no IED que está sendo testado.
- Transferências de disparo digitais, enviados por meio de mensagens GOOSE pelo relé 50BF, serão descartados por quaisquer IEDs assinantes que não estejam configurados para o mesmo *Mode/Behavior* do relé 50BF.

- Quaisquer transferências de disparo digitais enviados por protocolos proprietários pelo relé 50BF serão processadas pelos IEDs receptores, mas nenhum contato físico será fechado, evitando o disparo dos disjuntores de campo.

Após o final do teste, o relé 50BF será definido como *Mode/Behavior = On*. Isso retorna o relé à operação normal.

#### H. Teste da Função do Controlador de Vão

É comum que o controlador de vão seja usado apenas para o controle local e remoto e não como um dispositivo de proteção, o que significa que ele não atua diretamente sobre o disjuntor. Devido a isso, o IED só pode ser testado usando os controles do SCADA ou de uma IHM local na subestação.

Para testar o relé controlador de vão, o IED é configurado em *Mode/Behavior = Test/Blocked*. Todos os IEDs restantes no esquema (87L, 21L / 67L e 50BF) permanecem inalterados (*Mod.stVal/Beh.stVal = On*). Deve-se considerar se o controlador de vão está recebendo os estados dos disjuntores, chaves seccionadoras ou de quaisquer outros intertravamentos via mensagens GOOSE. Nesse caso, todos os IEDs publicadores que atendem ao controlador de vão serão configurados para o mesmo *Test/Blocked Mode/Behavior*.

Com o *Mode/Behavior* do controlador de vão e quaisquer relés auxiliares configurados como *Test/Blocked*, nenhum contato de saída será fechado nesses relés, o que significa que as rotinas de teste de controle podem ser iniciadas. Quaisquer sinais de fechamento ou abertura de disjuntores ou chaves seccionadoras (via MMS, em um protocolo de comunicação aberto, em um canal ou protocolo de comunicação proprietário ou via mensagens GOOSE) serão processados, mas nenhum contato de saída será fechado. Sem os relés do controlador de vão fechando os contatos de saída, nenhum sinal de fechamento ou abertura com fio será emitido fisicamente. Esse isolamento físico e digital impedirá que os relés do controlador de vão e outros IEDs abram ou fechem os disjuntores ou chaves seccionadoras.

Ao configurar o *Mode/Behavior* do controlador de vão para *Test/Blocked*, são obtidos os seguintes resultados:

- Os comandos de transferência enviados através de um canal ou protocolo de comunicação proprietário serão recebidos e processados, mas nenhum contato físico será fechado.
- Os controles digitais de transferência enviados pelo relé do controlador de vão por meio de mensagens GOOSE serão descartados pelos IEDs assinantes que não estão configurados para o mesmo *Mode/Behavior* do relé controlador de vão.

Após o final do teste, o relé do controlador de vão será definido como *Mode/Behavior = On*. Isso retorna os relés à operação normal.

## VIII. AVISOS, ADVERTÊNCIAS, INCONVENIÊNCIAS, PERIGOS

Infelizmente, a Edição 2 da Norma IEC 61850 não considera que os IEDs instalados e subestações usam outros protocolos de comunicação, tanto proprietários quanto abertos. Vários problemas que surgem desta omissão não foram abordados:

- A norma não aborda como os IEDs cujo *Mode/Behavior* não está bloqueado ou em *Test/Blocked* se comportariam ou operariam ao receber um sinal de *trip* por meio de outros protocolos de um IED IEC 61850 em teste.
- A norma não aborda como os IEDs podem se comportar ao receber comandos por outros protocolos.
- Mensagens GOOSE simuladas podem direcionar dados para funções que não estão sendo testadas.
- Os dispositivos podem perder suas configurações de isolamento, seja pelo IED perdendo a alimentação ou sendo desligado e religado durante o teste, e operar incorretamente se o *Mode/Behavior* não for salvo.
- Configurar incorretamente a sequência de isolamento pode levar a uma operação acidental.
- Mesmo que o recurso *Sim* seja padronizado na Edição 1 e na Edição 2, ainda pode existir a possibilidade de os fabricantes terem implementado esse recurso de uma maneira diferente da prescrita pela norma. Devido a isso, os usuários devem considerar como cada IED instalado se comportará antes de prosseguir com o teste ao vivo.
- À medida que os comitês da IEC mudam o comportamento dos IEDs e o processamento das mensagens GOOSE a cada revisão [15], as melhores práticas sugerem o projeto adequado de proteção assistida por GOOSE que inclui o uso de chaves de teste para garantir a segurança do pessoal e dos dispositivos da subestação.
- O exemplo fornecido aqui (o exemplo da Seção VII sobre teste de linha de transmissão) só funcionará em esquemas de proteção que usam proteção principal e de *backup*. Se alguém fosse usar esse recurso em esquemas de proteção sem proteção de *backup*, ele se tornaria um verdadeiro risco. Um IED não deve estar em modo bloqueado, porque deve ser capaz de operar os contatos e proteger a linha. Isso é um problema porque a configuração terá apenas uma extremidade definida como *Mode/Behavior = Test/Blocked*, enquanto a outra extremidade permanecerá definida como *Mode/Behavior = On*. O terminal em teste continuará transmitindo transferências de disparo pelo canal de comunicação, que serão processadas pelas unidades sem bloqueio de seus contatos de saída, resultando em uma atuação incorreta sobre o disjuntor.

Esses tipos de cenários não são abordados na norma, mas descrevem problemas reais com os sistemas elétricos atuais. A compreensão dessas deficiências recai sobre os usuários finais, que, se falharem nesse entendimento, gastarão muito tempo e dinheiro com a Edição 2 da IEC 61850, apenas para descobrir que a norma não atende a todas as necessidades do mundo real.

## IX. CONCLUSÃO

Somente reduzindo sua complexidade, a Norma IEC 61850 terá a possibilidade de se tornar uma ferramenta poderosa para testar dispositivos em serviço. Até então, este artigo oferece alguns cenários práticos para o uso da norma. Mesmo com os estudos de caso descritos, este documento mostra que raramente existem ambientes perfeitos para testes de dispositivos em serviço. Os sistemas provavelmente terão vários protocolos de controle e relatórios de estado. Esses protocolos são desenvolvidos mesmo quando aqueles que os criam não podem saber todas as situações que cada engenheiro em cada subestação irá enfrentar, o que significa que apenas aquelas mais comumente relatadas são consideradas. A IEC 61850 se refere a outros protocolos de automação, mas não define como testar totalmente um sistema do mundo real. Este documento se esforçou para ajudar a delinear soluções práticas e úteis e abordou algumas das áreas que o padrão IEC 61850 não cobre.

## X. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as contribuições de Veselin Skendzic, Amandeep Kalra, Hamza Abubakari, Jose Lemus, Rebecca Dong e Jaya Yellajosula e sua ajuda neste documento.

## XI. REFERÊNCIAS

- [1] IEC 61850-7-2, Communication Networks and Systems in Substations, Section 15: Generic Substation Event Class Model (GSE), Table 29, 2003.
- [2] IEC 61850-7-4, Communication Networks and Systems in Substations, Section 6: Data Name Semantics, Table 9, 2003.
- [3] IEC 61850-9-2, Communication Networks and Systems for Power Utility Automation, Section 5.3.3.4.4: Reserved 1, 2011.
- [4] IEC 61850-7-1, Communication Networks and Systems for Power Utility Automation, Section 7.8.4: Test Mode, 2011.
- [5] H. Pandzic, A. J. Conejo, I. Kuzle, and E. Caro, "Yearly Maintenance Scheduling of Transmission Lines Within a Market Environment," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 27, Issue 1, February 2012, pp. 407-415.
- [6] IEC 61850-7-2, Communication Networks and Systems for Power Utility Automation, Section 18.2.3.1: GOOSE Message Syntax Table 43: GOOSE Message Definition, 2010.
- [7] IEC 61850-7-1, Communication Networks and Systems for Power Utility Automation, Section 7.8.2: Multicast Signals Used for Simulation, 2011.
- [8] Washington Administrative Code, WAC 296-45-335, Deenergizing Lines and Equipment for Employee Protection, 2019.
- [9] IEEE Standard C37.233, IEEE Guide for Power System Protection Testing, 2009.
- [10] Comisión Federal de Electricidad, *Sistema de Automatización de Subestaciones IEC 61850, Revisión 2* [Substation Automation System IEC 61850, Revision 2], 2018.
- [11] V. M. Flores, D. Espinosa, J. Alzate, and D. Dolezilek, "Case Study: Design and Implementation of IEC 61850 From Multiple Vendors at CFE La Venta II," proceedings of the 60th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, March 2007.
- [12] T. Tibbals and D. Dolezilek, "Case Study: New Testing and Verification Practices for Virtual Wiring Among IEDs Via Ethernet Communications," proceedings of the 1st Annual Protection, Automation and Control World Conference, Dublin, Ireland, June 2010.

- [13] D. Burkart, W. Edwards, A. Atalay, and S. Snuggs, “If You Cannot Test It, You Cannot Use It – IEC 61850 GOOSE System Designed With Testing in Mind,” proceedings of the 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2017.
- [14] N. Moreno, M. Flores, L. Torres, J. Juárez, and D. González, “Case Study: IEC 61850 as Automation Standard for New Substations at CFE, Practical Experiences,” proceedings of the 12th Annual Western Power Delivery Automation Conference, Spokane, WA, April 2010.
- [15] IEC 61850-7-4, Communication Networks and Systems for Power Utility Automation, Annex A, Table A.2, 2010.
- [16] IEC 61850-8-1, Communication Networks and Systems for Power Utility Automation, Section 8.2: Mapping of Quality Common Data Attribute Type Specified in IEC 61850-7-3, Table 33, 2011.
- [17] IEC 61850-6, Communication Networks and Systems for Power Utility Automation, Annex B, 2012.

## XII. BIOGRAFIAS

**Edson Hernández** formou-se em Engenharia Eletrônica pelo Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, México em 2006. Nesse mesmo ano, atuou como técnico associado do Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) na automação de processos laboratoriais e na pesquisa e desenvolvimento de dispositivos baseados em nanotecnologia para a Divisão de Materiais Avançados do IPICYT. Em 2008, ele ingressou na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) como engenheiro de integração e automação. Desde então, ele projetou, aplicou e apoiou produtos de integração, automação, controle, comunicações e rede para concessionárias de serviços elétricos em todo o mundo. Atualmente, ele é engenheiro líder de integração e automação em pesquisa e desenvolvimento da SEL, trabalhando em integração, controle e automação de dispositivos, protocolos de comunicação, comunicações seguras e segurança cibernética.

**Tovah Whitesell** recebeu seus três primeiros diplomas de bacharelado pela University of Washington em 2003, seu mestrado pela Washington State University em 2005 e seu último diploma de bacharelado pela Washington State University em 2014. Ela ingressou na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. em 2012 como engenheira de *software*. A Sra. Whitesell é atualmente gerente de engenharia da divisão de sistemas de proteção, ajudando a desenvolver soluções de automação.

**Karen Leggett Wyszczelski** recebeu seu BS em Computer Systems Engineering Technology do Oregon Institute of Technology em 1986. Ela trabalhou na Hanford Nuclear Reservation e em uma empresa de integração industrial antes de se tornar engenheira de SCADA na Grays Harbor PUD no estado de Washington. Ela ingressou na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) em 2008 como engenheira de integração e automação. Ela concluiu o mestrado em gestão de engenharia pela Eastern Michigan University em 2019 e atualmente é gerente de engenharia em pesquisa e desenvolvimento na SEL.