



Implementação do protocolo Mirrored Bits em Sistema de Proteção Compartilhada entre Subestações de Distribuição e Rede Básica

Tema: Sistemas de Controle, Automação e Proteção

Autores: José Elisandro Beserra Peixoto

Co-Autores: Ronnie Santiago Loureiro

Empresa: Equatorial Alagoas Distribuidora de Energia S/A

Resumo

Este trabalho apresenta uma metodologia para a implementação de um esquema de proteção compartilhada entre uma subestação de distribuição e a rede básica, utilizando o protocolo SEL Mirrored Bits. A solução adota uma infraestrutura de comunicação óptica como canal dedicado para a troca de informações entre relés microprocessados, permitindo o envio e recebimento de disparos de proteção, bem como o monitoramento do estado de disjuntores e chaves seccionadoras.

O projeto foi desenvolvido com ênfase em segurança cibernética, considerando o contexto em que as subestações pertencem a concessionárias distintas, o que requer independência entre as redes de comunicação. O Mirrored Bits é um protocolo serial ponto a ponto, que funciona sem a necessidade de interação com redes de comunicação complexas. Adicionalmente, foi implementada a técnica de multiplexação lógica para otimizar o tráfego de dados e sobrepor as limitações do protocolo sem comprometer a velocidade e a confiabilidade das funções de proteção.

A metodologia foi aplicada na interligação entre as subestações Maceió I (230/69 kV) e Tabuleiro dos Martins (69/13,8 kV), substituindo uma antiga interligação por cabos subterrâneos que apresentava vulnerabilidades operacionais. A nova solução mostrou-se eficiente no atendimento dos requisitos exigidos pelo cenário em questão.

1. Introdução

O setor elétrico brasileiro é caracterizado pela operação distinta entre a rede básica, gerida por empresas de geração e transmissão, e as redes de distribuição, operadas por concessionárias voltadas ao setor. Esta divisão frequentemente cria situações que exigem a operação compartilhada entre diferentes empresas devido a características operacionais do sistema, representando um desafio técnico significativo para as equipes de engenharia. Nestas situações, é essencial garantir a integração eficiente de diferentes sistemas de proteção e controle, ao mesmo tempo que se preserva o isolamento e a independência dos mesmos, que são fundamentais para a segurança e confiabilidade operacional.

Tradicionalmente, a integração entre os sistemas de proteção de diferentes empresas é realizado por meio de cabos elétricos, lançados em infraestrutura subterrânea entre as subestações. Contudo, esta abordagem apresenta riscos inerentes, como a vulnerabilidade a falhas causadas por infiltração de água e degradação

do material isolante. Estes fatores podem comprometer a confiabilidade do sistema de proteção e provocar falhas de grandes proporções.

Outra alternativa para estes casos é a utilização de redes de telecomunicação para a troca de informações entre os equipamentos de proteção dos diferentes agentes. Contudo, a integração de redes de diferentes concessionárias traz desafios adicionais, como vulnerabilidades cibernéticas, maior complexidade da infraestrutura e dificuldades em manter o isolamento adequado entre as redes. Além disso, a implementação de equipamentos de proteção de rede, como firewalls e sistemas de proteção e prevenção de intrusões exige investimentos financeiros elevados. Esses fatores tornam o uso de redes compartilhadas menos atrativo em cenários onde a segurança e a confiabilidade são fundamentais.

Uma alternativa promissora às abordagens convencionais é o uso de protocolos seriais ponto-a-ponto (P2P), como o SEL Mirrored Bits. Este protocolo permite a transmissão e recepção de sinais digitais entre dispositivos, com alta confiabilidade e baixa latência, através de um meio de comunicação, sem a necessidade de infraestruturas complexas. Por se tratar de um protocolo serial, esta solução reduz os riscos de vulnerabilidades cibernéticas, ao mesmo tempo que elimina as fragilidades do meio elétrico.

Este trabalho descreve a aplicação do protocolo SEL Mirrored Bits em um sistema de proteções compartilhadas entre a subestação Maceió I 230/69 kV (SE MCO), operada pela Companhia Hidro elétrica do São Francisco (Chesf), e a subestação Tabuleiro dos Martins 69/13.8 kV (SE TBM), operada pela Equatorial Energia. Além disso, são apresentados os resultados dos testes realizados durante a implementação, que evidenciaram a capacidade da solução de atender aos requisitos técnicos da aplicação.

2. Desenvolvimento

2.1. Contextualização

O cenário de aplicação deste trabalho envolve um arranjo compartilhado entre a subestação Maceió I (230/69 kV), cuja concessão pertence à Chesf, e a subestação Tabuleiro dos Martins (69/13,8 kV), operada pela Equatorial Energia. Este arranjo é resultado de uma configuração histórica, pois ambas as subestações faziam parte da mesma concessão estatal. A subestação Maceió I é composta por um barramento de 230 kV que possui quatro transformadores de potência 230/69 kV. A proteção do lado de alta tensão dos quatro transformadores está localizada na barra da Chesf, enquanto a proteção do lado de baixa tensão é realizada na subestação Tabuleiro dos Martins, através dos disjuntores de chegada de linha. Adicionalmente, a Chesf mantém um transformador de aterramento localizado dentro da subestação Tabuleiro dos Martins, que garante o referencial de neutro para os defeitos envolvendo a terra no lado de 69 kV, cuja ligação é em delta. A Figura 1 ilustra o arranjo que interliga as duas subestações mencionadas.

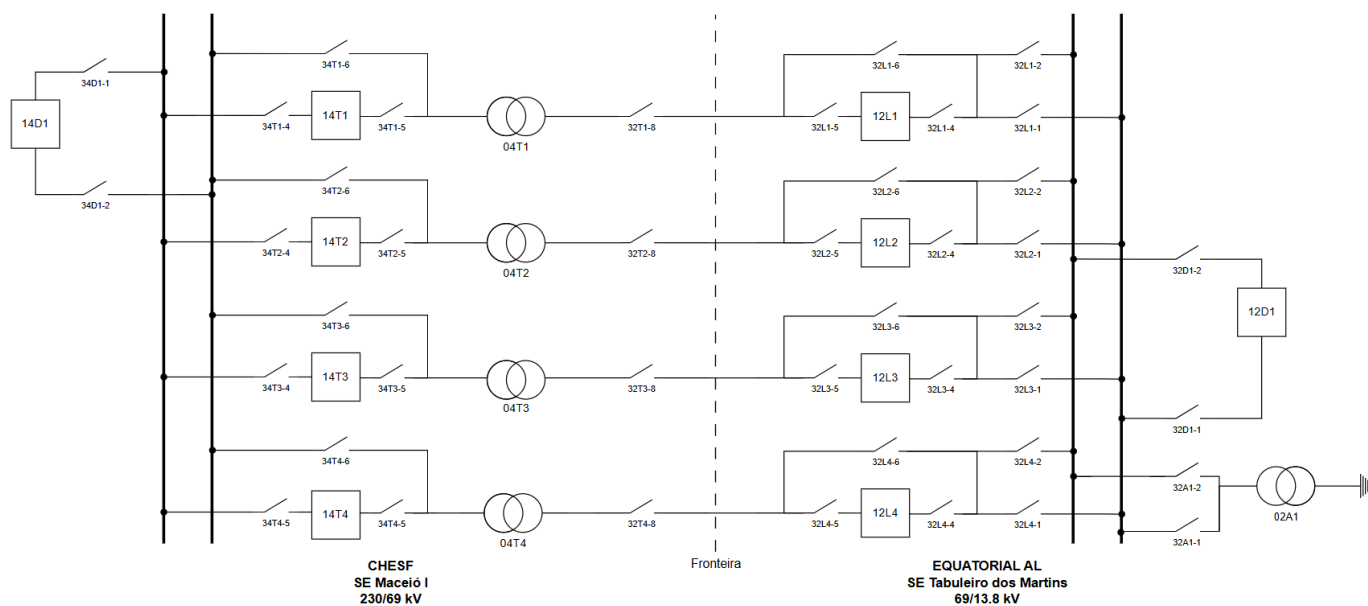


Figura 1- Topologia do sistema compartilhado entre rede básica e distribuição

Fonte: Própria do autor

Para garantir a operação segura do sistema compartilhado, é necessário atender a alguns requisitos técnicos já previstos na concepção do sistema:

1. A atuação de proteção dos vãos da subestação Tabuleiro dos Martins (12L1 ao 12L4) deve efetuar a abertura do disjuntor do mesmo vão na subestação da Chesf, para garantir que os defeitos no trecho não sejam energizados pelas linhas adjacentes.
2. A atuação de proteção da alta do transformador na subestação Maceió I (14T1 ao 14T4) deve efetuar a abertura do disjuntor de mesmo vão na subestação Equatorial, seguindo à mesma situação mencionada no item 1.
3. A atuação das proteções intrínsecas dos transformadores da subestação Maceió I deve efetuar a abertura dos disjuntores de ambos os lados do mesmo vão, e também bloquear o fechamento dos disjuntores, até que um comando manual de desbloqueio seja efetuado.
4. Defeitos detectados pelo transformador de aterramento 02A1 deve efetuar a abertura completa dos oito disjuntores que compõem o sistema, pois a ocorrência de faltas a terra no barramento de 69 kV pode comprometer os quatro transformadores 230/69 kV localizados na subestação Maceió I.
5. Baseado no acordo operativo entre os agentes, a Chesf deve monitorar em tempo real o estado dos disjuntores e chaves seccionadoras dos vãos envolvidos do lado Equatorial, incluindo o disjuntor de acoplamento 12D1.
6. Ainda baseado no acordo operativo, a Equatorial deve monitorar o estado dos disjuntores de 230 kV dos vãos envolvidos, incluindo o disjuntor de acoplamento 14D1.

A solução anteriormente utilizada para implementar estes requisitos baseava-se em cabos elétricos subterrâneos que interligavam fisicamente os relés de proteção dos equipamentos envolvidos. Embora funcional, esta solução apresentava fragilidades operacionais que comprometiam a confiabilidade e robustez do sistema. Além disso, a manutenção desta infraestrutura representava um desafio significativo, uma vez que os reparos na interligação exigiam intervenções complexas e de alto impacto para a operação.

Diante deste cenário, foi projetada uma solução para interligação dos equipamentos deste sistema através de um encaminhamento de fibra óptica aérea entre as subestações. Para viabilizar a troca de informações,

foi implementado o protocolo SEL Mirrored Bits, que funciona de modo ponto a ponto, permitindo a transmissão e recepção de sinais digitais diretamente através do canal óptico. O protocolo Mirrored Bits foi escolhido devido à sua simplicidade de implementação, uma vez que não requer uma infraestrutura de telecomunicação complexa para estabelecer a comunicação entre os dispositivos. Além disso, a tecnologia era compatível com os relés de proteção existentes na subestação Tabuleiro dos Martins.

2.2. Arquitetura do Sistema

A arquitetura da solução foi projetada de maneira a aproveitar os recursos já existentes e integra-los de forma eficientes. Na subestação Tabuleiro dos Martins, os disjuntores e o transformador de aterramento já eram controlados por relé SEL-751, compatíveis com o protocolo Mirrored Bits. Na subestação Maceió I, por serem usados relés digitais de diferentes fabricantes, foram utilizados cinco controladores SEL-2440 para funcionar como equipamentos de interface e converter as informações recebidas via protocolo em sinais elétricos, interligando-os aos equipamentos existentes através de cabeamento interno na sala de controle.

Dentro do sistema da subestação Tabuleiro dos Martins, os relés SEL-751 foram integrados a módulos de expansão SEL-2505 para ampliar a capacidade de entradas digitais necessárias para o monitoramento de todo o conjunto de chaves de cada vão. Os módulos se comunicam com os relés também através do protocolo Mirrored Bits por fibra óptica. Aos módulos de expansão foi interligado também o sinal de proteção do transformador de aterramento, que conforme os requisitos da solução, deve ser recebido por todos os disjuntores do sistema.

A interligação entre as subestações foi realizada utilizando cinco pares de fibra óptica existentes no cabo, sendo cada par responsável pela conexão entre um SEL-751 e um SEL-2440. Foi utilizada um cabo do tipo multimodo autossustentado, escolhido por sua compatibilidade com as portas de fibra óptica dos relés SEL e pela curta distância entre as subestações, de aproximadamente 500 metros. Esta solução eliminou a necessidade de conversores ópticos, uma vez que as portas dos relés SEL são do tipo multimodo. A Figura 2 ilustra detalhadamente a arquitetura de interligação dos equipamentos envolvidos.

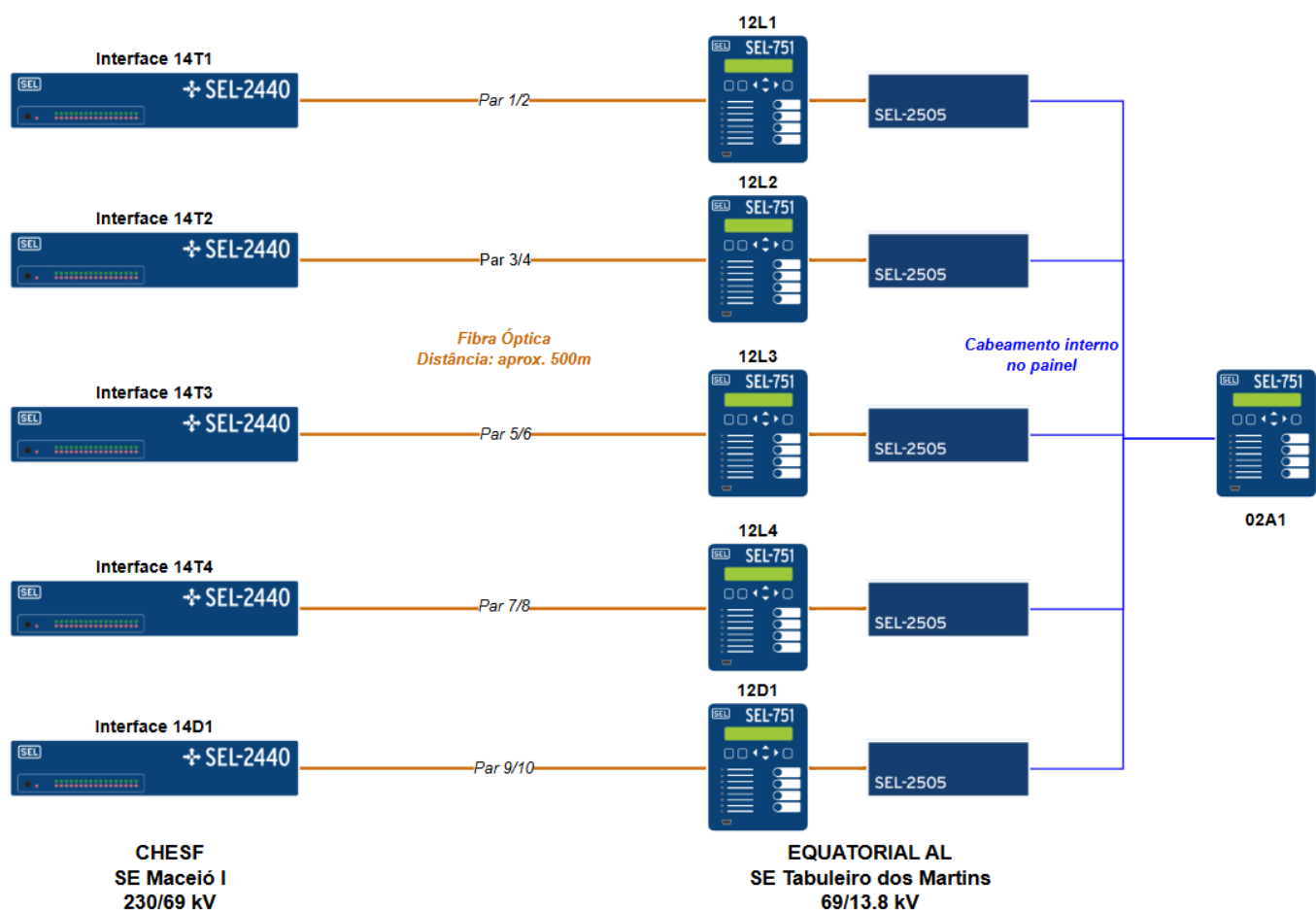
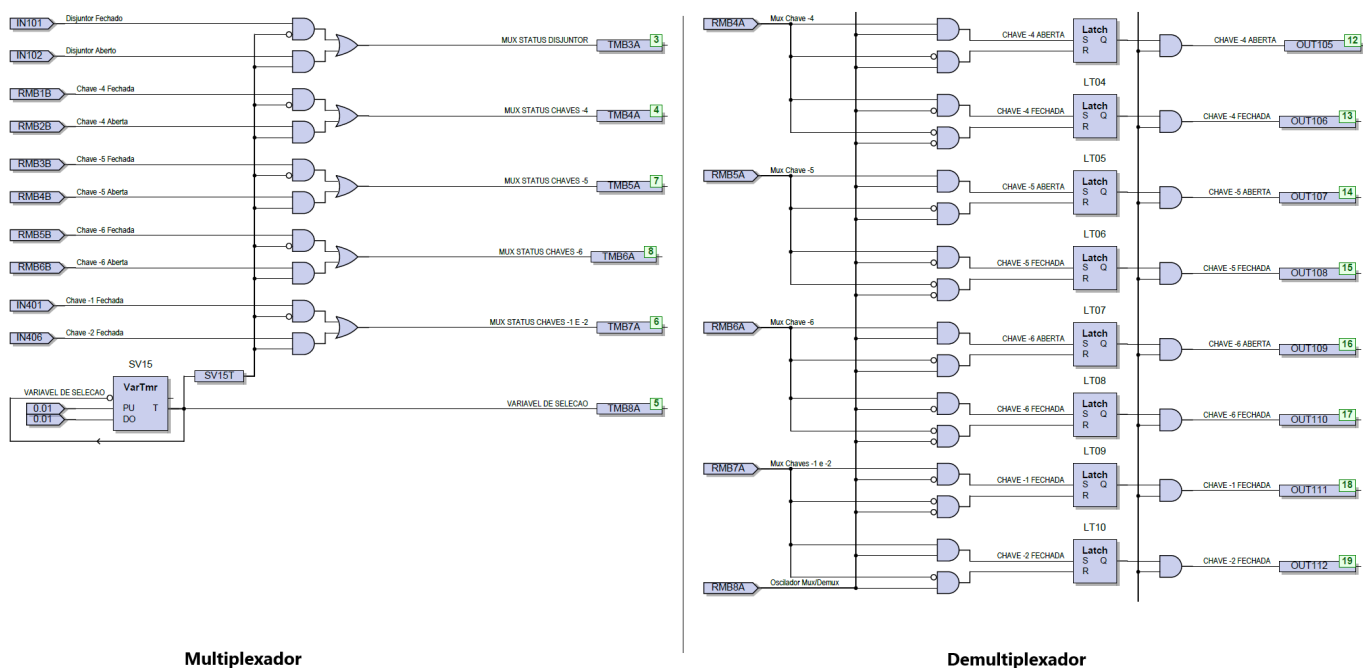


Figura 2- Arquitetura de interligação entre os equipamentos do sistema compartilhado

Fonte: Própria do autor

2.3. Aplicação do Protocolo SEL Mirrored Bits

O SEL Mirrored Bits desempenhou o papel principal na comunicação entre os equipamentos. Este protocolo funciona espelhando o estado de até oito variáveis binárias entre dois dispositivos através do meio de comunicação. Os bits são enviados de forma serial, cuja velocidade é definida na parametrização. Para a aplicação em questão, foi adotada a velocidade de 38.400 bps (*bits* por segundo), que é o maior valor permitido pelos equipamentos utilizados, garantindo o menor atraso possível na transmissão das mensagens. Devido à limitação da quantidade de sinais processados pelo protocolo, foi implementada uma lógica de multiplexação de duas entradas nos relés SEL-751 para viabilizar o envio de todas as sinalizações e disparos necessários, utilizando as próprias funções lógicas internas do relé. A variável de seleção utilizada na lógica foi configurada para variar a cada 10 milissegundos, o menor tempo permitido nas configurações do relé SEL, o suficiente para garantir que as informações sejam recebidas com atraso imperceptível para as sinalizações. Já nos equipamentos SEL-2440, responsáveis pela demultiplexação e recepção do sinal, para garantir que a informação recebida pudesse ser armazenada, foram utilizados operadores de selo (*Latch Bits*) para guardar a informação binária nas saídas digitais. A Figura 3 apresenta um trecho da lógica de multiplexação e demultiplexação utilizada.



Multiplexador

Demultiplexador

Figura 3 - Lógica de Multiplexação e Demultiplexação dos sinais Mirrored Bits

A técnica de multiplexação foi aplicada apenas nos pontos de sinalização, e os sinais de disparo foram mantidos em um canal individual, garantindo o mínimo de atraso possível. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os pontos enviados pela subestação Tabuleiro dos Martins e recebidos pela SE Maceió I.

Tabela 1 - Sinais Mirrored Bits enviados pela subestação Tabuleiro dos Martins - Vãos Principais

Sinais Mirrored Bits TBM >> MCO - Vãos Principais				
Descrição	Tipo	Mirrored Bit Tx	Mirrored Bit Rx	Saída Digital
TRIP Proteção	Proteção	TMB1A	RMB1A	OUT101
TRIP 02A1	Proteção	TMB2A	RMB2A	
Estado Disjuntor Fechado	Sinalização (Multiplexado)	TMB3A	RMB3A	OUT103
Estado Disjuntor Aberto				OUT104
Chave -4 Fechada	Sinalização (Multiplexado)	TMB4A	RMB4A	OUT105
Chave -4 Aberta				OUT106
Chave -5 Fechada	Sinalização (Multiplexado)	TMB5A	RMB5A	OUT107
Chave -5 Aberta				OUT108
Chave -6 Fechada	Sinalização (Multiplexado)	TMB6A	RMB6A	OUT109
Chave -6 Aberta				OUT110
Chave -1 Fechada	Sinalização (Multiplexado)	TMB7A	RMB7A	OUT111
Chave -2 Fechada				OUT112
Oscilador Mux/Demux	Lógica Multiplexador	TMB8A	RMB8A	-

Tabela 2 - Sinais Mirrored Bits enviados pela subestação Tabuleiro dos Martins - Vão Acoplamento

Sinais Mirrored Bits TBM >> MCO - Vãos Acoplamento				
Descrição	Tipo	Mirrored Bit	Mirrored Bit	Saída Digital
TRIP 02A1	Proteção	TMB1A	RMB1A	OUT112
Relé de Gás Estágio 1	Sinalização	TMB2A	RMB2A	OUT110
Alarme de Temp. de Óleo	Sinalização	TMB3A	RMB3A	OUT111
Disjuntor Fechado	Sinalização (Multiplexado)	TMB4A	RMB4A	OUT103
Disjuntor Aberto				OUT104
Chave -1 Fechada	Sinalização (Multiplexado)	TMB5A	RMB5A	OUT105
Chave -1 Aberta				OUT106
Chave -2 Fechada	Sinalização (Multiplexado)	TMB6A	RMB6A	OUT107
Chave -2 Aberta				OUT108
Oscilador Mux/Demux	Lógica Multiplexador	TMB8A	RMB8A	-

Quanto às sinalizações enviadas pelos equipamentos da subestação Maceió I, devido ao pequeno número de pontos, não houve necessidade de implementar a lógica de multiplexação. As Tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, os sinais enviados pelos relés SEL-2440 dos vãos principais e pelo vão de acoplamento.

Tabela 3 - Sinais Mirrored Bits enviados pela subestação Maceió I - Vãos Principais

Sinais Mirrored Bits MCO >> TBM - Vãos Principais				
Descrição	Tipo	Mirrored Bit Tx	Mirrored Bit Rx	Saída
TRIP Transformador Rede Básica	Proteção	TMB1A	RMB1A	SV17
Bloqueio 86T Rede Básica	Proteção	TMB2A	RMB2A	SV18
Disjuntor Fechado	Sinalização	TMB3A	RMB3A	SV19

Tabela 4 - Sinais Mirrored Bits enviados pela subestação Maceió I - Vão Acoplamento

Sinais Mirrored Bits MCO >> TBM - Vão Acoplamento				
Descrição	Tipo	Mirrored Bit Tx	Mirrored Bit Rx	Saída
Disjuntor Fechado	Sinalização	TMB1A	RMB1A	SV19

2.5. Resultados

A solução apresentada foi desenvolvida e testada em laboratório a fim de avaliar o seu funcionamento e desempenho. Foram utilizados equipamentos de mesmo modelo de *hardware* e *firmware*, para que os resultados pudessem ser mais aderentes ao que seria testado em campo. O ambiente de testes foi montado em bancada, onde foi replicada uma interligação idêntica às cinco existentes no sistema real. A configuração consistiu em um relé SEL-751 conectado a um módulo expensor SEL-2505, e com um canal principal conectado a um SEL-2440 por meio de um cordão de fibra óptica multimodo. Para simular o estado das chaves seccionadoras, foi utilizado um bloco de contatos com chaves seletoras. Um segundo SEL-751 também foi usado para simular a atuação da proteção do transformador de aterramento. Os equipamentos foram sincronizados a um relógio via protocolo NTP, a fim de garantir a precisão na aferição dos tempos de resposta dos equipamentos. Para todos os ensaios realizados, foi calculado o valor máximo, mínimo, a média e o desvio padrão dos tempos registrados. A Figura 4 ilustra o arranjo elaborado para os testes.

Os testes executados em laboratório contemplaram apenas as sinalizações originadas pelo SEL-751 e recebidas pelo SEL-2440. A realização do processo inverso, com as sinalizações sendo enviadas pelo

SEL-2440 e recebidas pelo SEL-751, não foi necessária, pois o comportamento seria exatamente o mesmo devido às características do protocolo.

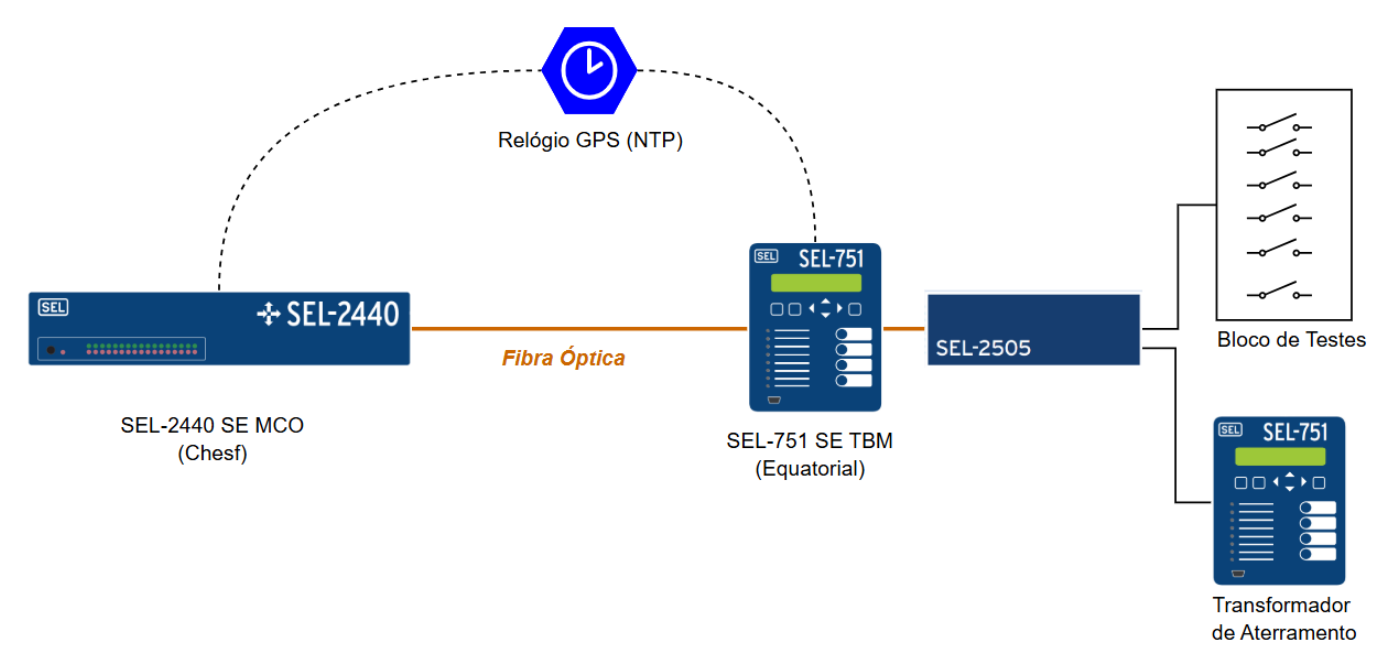


Figura 4 - Arranjo construído para ensaios em laboratório

2.5.1. Sinalizações das Chaves Seccionadoras + Lógica de Multiplexação

Para avaliar o desempenho do envio e recepção das sinalizações que passam pela lógica de multiplexação, foi realizada uma sequência de 18 testes simulando a alteração do estado das chaves seccionadoras. Os testes foram conduzidos para verificar a precisão, consistência e tempo de resposta da lógica implementada. Os sinais enviados foram originados no SEL-2505, e a recepção foi registrada a partir da atuação das saídas digitais do SEL-2440. A Tabela 5 apresenta os resultados registrados após a sequência de testes.

Tabela 5 - Resultado dos testes de envio de sinalizações através da lógica de multiplexação

REGISTRO	Envio do Sinal SEL-751			Recepção do Sinal SEL-2440			Tempo (ms)
	TIME	ELEMENT	STATE	TIME	ELEMENT	STATE	
1	16:33:54,606	RMB6B	Deasserted	16:33:54,608	OUT109	Deasserted	2
2	16:33:54,877	RMB5B	Asserted	16:33:54,878	OUT110	Asserted	1
3	16:33:56,581	RMB1B	Deasserted	16:33:56,584	OUT106	Deasserted	3
4	16:33:56,857	RMB2B	Asserted	16:33:56,862	OUT105	Asserted	5
5	16:33:57,669	RMB3B	Deasserted	16:33:57,680	OUT108	Deasserted	11
6	16:33:57,940	RMB4B	Asserted	16:33:57,942	OUT107	Asserted	2
7	16:38:17,652	RMB2B	Deasserted	16:38:17,654	OUT105	Deasserted	2
8	16:38:17,965	RMB1B	Asserted	16:38:17,966	OUT106	Asserted	1
9	16:38:18,569	RMB4B	Deasserted	16:38:18,580	OUT107	Deasserted	11
10	16:38:18,948	RMB3B	Asserted	16:38:18,964	OUT108	Asserted	16
11	16:38:19,590	RMB5B	Deasserted	16:38:19,596	OUT110	Deasserted	6
12	16:38:19,953	RMB6B	Asserted	16:38:19,956	OUT109	Asserted	3
13	16:38:22,854	RMB6B	Deasserted	16:38:22,856	OUT109	Deasserted	2
14	16:38:23,225	RMB5B	Asserted	16:38:23,232	OUT110	Asserted	7
15	16:38:23,783	RMB4B	Asserted	16:38:23,786	OUT107	Asserted	3
16	16:38:24,083	RMB3B	Deasserted	16:38:24,098	OUT108	Deasserted	15
17	16:38:24,663	RMB2B	Asserted	16:38:24,682	OUT105	Asserted	19
18	16:38:24,980	RMB1B	Deasserted	16:38:24,998	OUT106	Deasserted	18

- *Tempo Máximo: 19 ms*
- *Tempo Mínimo: 1 ms*
- *Média: 7,06 ms*
- *Desvio Padrão: 6,26 ms*

2.5.2. Disparos de Proteção

Os testes de proteção foram conduzidos para medir o tempo de resposta do SEL-2440 ao receber um sinal de proteção enviado pelo SEL-751. Para isso, foi simulada a atuação de um elemento de proteção do relé, representado pela variável *TRIP*, que indicou o disparo da proteção. A recepção do sinal no SEL-2440 foi monitorada por meio da atuação de suas saídas digitais, permitindo a aferição precisa do tempo de resposta do sistema. Os resultados desta etapa de testes são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado dos testes de envio do sinal de *TRIP*

REGISTRO	Envio do Sinal SEL-751			Recepção do Sinal SEL-2440			Tempo (ms)
	TIME	ELEMENT	STATE	TIME	ELEMENT	STATE	
1	17:06:26,235	TRIP	Asserted	17:06:26,236	OUT101	Asserted	1
2	17:06:27,619	TRIP	Asserted	17:06:27,620	OUT101	Asserted	1
3	17:06:29,077	TRIP	Asserted	17:06:29,080	OUT101	Asserted	3
4	17:06:31,199	TRIP	Asserted	17:06:31,202	OUT101	Asserted	3
5	17:06:32,799	TRIP	Asserted	17:06:32,802	OUT101	Asserted	3
6	17:06:34,738	TRIP	Asserted	17:06:34,740	OUT101	Asserted	2
7	17:06:36,559	TRIP	Asserted	17:06:36,562	OUT101	Asserted	3
8	17:06:38,180	TRIP	Asserted	17:06:38,182	OUT101	Asserted	2
9	17:06:39,718	TRIP	Asserted	17:06:39,720	OUT101	Asserted	2
10	17:06:41,840	TRIP	Asserted	17:06:41,842	OUT101	Asserted	2

- *Tempo Máximo: 3 ms*
- *Tempo Mínimo: 1 ms*
- *Média: 2,20 ms*
- *Desvio Padrão: 0,79 ms*

2.5.3. Proteção do Transformador de Aterramento

Para complementar os testes de disparo de proteção, foi realizado um ensaio adicional para avaliar o envio do sinal proveniente do transformador de aterramento. Esse sinal elétrico foi transmitido ao módulo SEL-2505, onde foi registrado pela variável Mirrored Bit RMB7B. A recepção do sinal foi monitorada por meio das saídas digitais do SEL-2440, permitindo validar a atuação recebida na outra subestação. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos após os testes.

Tabela 7 - Resultado dos testes de envio do sinal de proteção do Transformador de Aterramento

REGISTRO	Envio do Sinal SEL-751			Recepção do Sinal SEL-2440			Tempo (ms)
	TIME	ELEMENT	STATE	TIME	ELEMENT	STATE	
1	17:15:34,686	RMB7B	Asserted	17:15:34,688	OUT101	Asserted	2
2	17:15:38,170	RMB7B	Asserted	17:15:38,172	OUT101	Asserted	2
3	17:15:41,680	RMB7B	Asserted	17:15:41,682	OUT101	Asserted	2
4	17:15:44,922	RMB7B	Asserted	17:15:44,924	OUT101	Asserted	2
5	17:15:47,694	RMB7B	Asserted	17:15:47,696	OUT101	Asserted	2
6	17:15:50,903	RMB7B	Asserted	17:15:50,906	OUT101	Asserted	3
7	17:15:54,079	RMB7B	Asserted	17:15:54,082	OUT101	Asserted	3
8	17:15:56,701	RMB7B	Asserted	17:15:56,704	OUT101	Asserted	3
9	17:15:59,385	RMB7B	Asserted	17:15:59,388	OUT101	Asserted	3
10	17:16:02,099	RMB7B	Asserted	17:16:02,100	OUT101	Asserted	1

- *Tempo Máximo: 3 ms*
- *Tempo Mínimo: 1 ms*
- *Média: 2,30 ms*
- *Desvio Padrão: 0,67 ms*

3. Conclusão

Este trabalho apresentou a implementação de um sistema de proteções compartilhadas utilizando o protocolo serial SEL Mirrored bits. Os resultados obtidos demonstraram que o protocolo atendeu plenamente aos requisitos exigidos para a aplicação em questão. Os testes realizados em laboratório confirmaram que os tempos de resposta dos sinais de proteção foram satisfatórios, com valores reduzidos e plenamente aceitáveis para aplicações em esquemas de proteção. Os testes de sinalização utilizando a lógica de multiplexação demonstraram ser uma solução viável para aplicações que exigem apenas monitoramento. A multiplexação possibilitou o envio de múltiplas sinalizações por um canal limitado, sem comprometer o desempenho nem introduzir atrasos perceptíveis.

A solução foi aplicada em campo, onde passou por testes reais e em seguida foi colocada em operação. Nos testes reais, entretanto, não foi possível monitorar diretamente os tempos de resposta, devido ao fato de os equipamentos estarem localizados em arquiteturas de diferentes empresas, sincronizados por fontes distintas de referência temporal. Ainda assim, o desempenho foi consolidado com base em resultados empíricos, obtidos através da observação da ativação dos disjuntores e a correta recepção das sinalizações. O uso de encaminhamento óptico garantiu que o uso de um protocolo serial em longa distância não impactasse no tempo de resposta, assegurando comunicação rápida e confiável. O monitoramento contínuo da comunicação oferecido pelo protocolo garantiu também a capacidade de supervisão constante do sistema, contribuindo para sua robustez e confiabilidade. Assim, a solução proposta mostrou-se eficaz, eficiente e plenamente aplicável ao sistema real.

4. Referências bibliográficas

-

DULMAGE, Andrew; DIEHL, Mark. Compreendendo e Utilizando Efetivamente o Protocolo SEL Mirrored Bits. Guia de Aplicação SEL (AG2018-24), 2018. Disponível: selinc.com.