

Sistema de Teleproteção para Desconexão de Autoprodutores Usando Rádio Digital Spread Spectrum com Mirrored Bits

N. J. Salles – CPFL, N. Salvador Jr. – CPFL e R. L. Abboud – SEL

E-mail: njsalles@cpfl.com.br

Palavras-chave - Autoprodutores, “Mirrored Bits”, rádio digital, “spread spectrum”, teleproteção.

Resumo – Este trabalho descreve a aplicação e apresenta os resultados obtidos com um esquema de teleproteção que utiliza como meio de comunicação um enlace de rádio digital, modulado pela técnica digital de espalhamento espectral ou “spread spectrum”. O esquema se completa através do uso de relés de proteção da Schweitzer – SEL com protocolo de comunicação de bits espelhados ou “Mirrored Bits” que, segundo o fabricante, é o primeiro sistema de proteção e controle deste gênero a ser utilizado no Brasil para a desconexão de autoprodutores interligados à rede de distribuição de concessionárias de energia elétrica.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento acentuado dos pedidos de conexão à rede de distribuição da CPFL, tem obrigado a concessionária a rever suas normas de conexão e especificações dos equipamentos de proteção e controle. O aumento da geração instalada, ao longo das linhas de distribuição e transmissão, inviabiliza a aplicação dos esquemas tradicionais de proteção disponíveis para os autoprodutores.

Esta inviabilidade ocorre, principalmente, porque grandes máquinas síncronas, de elevada inércia mecânica, têm conseguido sustentar as cargas remanescentes na rede quando a geração encontra-se isolada (ilhada) da concessionária.

Várias são as causas que podem resultar em operação isolada da geração, observadas em situações onde defeitos transitórios que são rapidamente eliminados pela concessionária não são percebidos pelos dispositivos de proteção do autoprodutor. Por exemplo, o rompimento de um condutor de uma fase seguido da queda ao solo do lado da concessionária, e mantendo-se o mesmo na estrutura do lado do autoprodutor, torna a detecção da falta uma tarefa difícil.

Afim de detectar esta condição e iniciar a desconexão imediata do autoprodutor, permitindo o religamento automático do circuito de forma segura, e sem riscos de fechamento fora de sincronismo, tem-se utilizado esquemas de teleproteção com transceptores que utilizam canais analógicos de comunicação. Estes equipamentos, de alto custo de aquisição e manutenção, na maioria das vezes necessitam de um meio de comunicação que poderá exigir licença de operação junto à ANATEL.

A teleproteção com rádio digital, na modalidade Transferência de Disparo Direto – DTT, foi aplicada a uma co-geração que interliga-se à concessionária através de uma linha de transmissão de 69 kV, como mostra o diagrama unifilar da Figura 1, e cuja extensão é de aproximadamente 24 km. No diagrama também estão representados o gerador síncrono, o transformador de acoplamento e os disjuntores da saída de linha da concessionária e do autoprodutor, respectivamente.

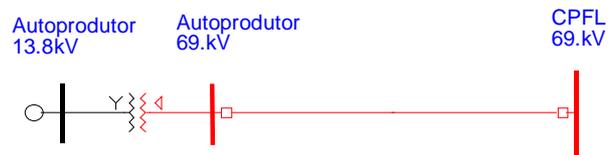


Figura 1: Diagrama unifilar da interligação entre a concessionária e o autoprodutor

A planta de co-geração analisada encontra-se distante 20,6 km do terminal de 69 kV da CPFL.

A desconexão do autoprodutor, através da abertura do seu disjuntor de entrada de 69 kV, tem início com a transmissão do sinal de disparo direto, via rádio, pelo relé SEL-311C no terminal da CPFL e recepção do sinal pelo relé SEL-351 no autoprodutor.

A simulação realizada para verificar a viabilidade técnica do rádio-enlace, vista na Figura 2, mostra as distâncias envolvidas e o perfil do terreno entre as antenas. Observar que a antena no autoprodutor encontra-se em um nível mais baixo que a antena no terminal da CPFL.

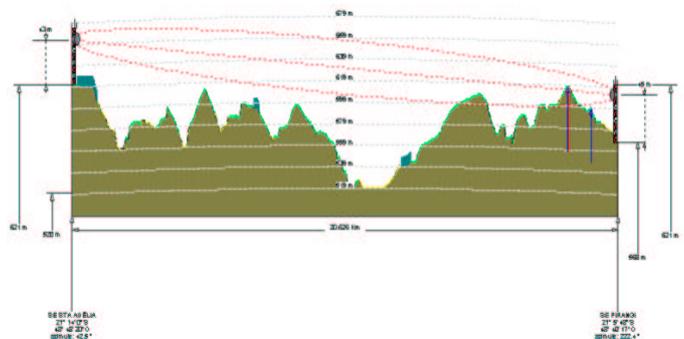


Figura 2: Diagrama de rádio-enlace entre os terminais da concessionária e do autoprodutor

2. MODULAÇÃO DIGITAL SPREAD SPECTRUM

O princípio da modulação digital “spread spectrum” ou espectro espalhado foi desenvolvido, inicialmente, para aplicações militares devido a segurança que o sistema apresenta frente a tentativas de pessoal não autorizado copiar a mensagem que será transmitida.

Hoje em dia, este princípio de modulação é aplicado em sistemas de telefonia celular que adotam o sistema CDMA – “Code Division Multiple Access” como padrão.

Basicamente, a modulação “spread spectrum, caracteriza-se pela ampla largura de banda que o sinal modulado ocupa no espectro. O espalhamento do espectro, conforme mostra o diagrama de espectro da Figura 3, confere ao sinal modulado uma potência extremamente baixa.

Observa-se, ainda, que a amplitude do sinal modulado situa-se abaixo do nível de ruído (“noise”) gerado, ocasionalmente, por uma fonte de interferência externa.

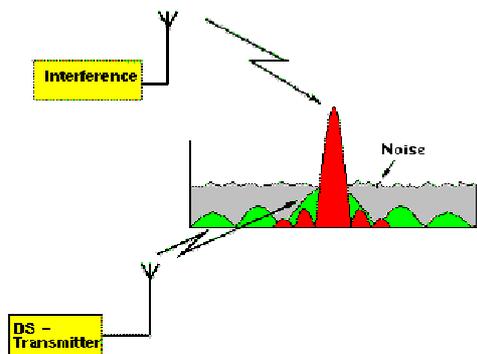


Figura 3: Diagrama de espectro da modulação “spread spectrum”

Questiona-se como um sinal que situa-se abaixo do nível de ruído pode ser decodificado no receptor e a informação contida na portadora de alta frequência recuperada.

Graças às técnicas de modulação digital, o sinal que contém a informação é digitalizado e convertido em uma mensagem binária. Em seguida o sinal é codificado segundo um código específico que, incorporado à mensagem, permitirá a decodificação do sinal.

É o código incorporado ao sinal modulado que confere grande imunidade a modulação “spread spectrum” frente a interferências externas.

Desta forma pode-se, com baixa potência, e antenas de pequeno porte, do tipo omnidirecional, alcançar grandes distâncias em terreno aberto sem a necessidade de repetição do sinal.

O sistema de rádio-enlace pode alcançar distâncias de até 50 km, onde a visada entre as antenas é favorável.

Vale ressaltar aqui que todo o projeto do sistema de rádio-enlace foi contratado junto a uma empresa especializada em telecomunicação, responsável pelos

estudos de propagação e especificação dos equipamentos de comunicação.

3. RÁDIO DIGITAL SPREAD SPECTRUM

Comparado com os equipamentos de teleproteção convencionais, o rádio digital com modulação “spread spectrum” é extremamente compacto, ocupando um espaço mínimo no gabinete de telecomunicação. De acordo com a disponibilidade de espaço físico, o rádio pode ser instalado no painel de proteção e controle junto aos relés de proteção.

Toda a configuração (“setup”) dos rádios pode ser realizada, via software, através de um único terminal escolhido pelo usuário. Uma vez estabelecida a comunicação entre os terminais, o acesso aos parâmetros de configuração do terminal remoto é transparente.

Dentre as principais características do rádio digital, podemos citar:

- Modelos de 19,2, 64, 128, 256, 384 e 512 Kbps;
- Banda S (2,4 – 2,4835 GHz);
- Não requer licença para utilização;
- Configuração simples, via software;
- Alcance de até 50 km;
- Interfaces V.35 ou RS-232;
- Perfil extra fino.

4. PROTOCOLO MİRRORED BITS™

Engenheiros de proteção, em cooperação com fabricantes de relés de proteção e de equipamentos de comunicação, se empenharam em alcançar disparos rápidos para todas as faltas em linhas de transmissão (LT) através do uso de esquemas de proteção auxiliados por comunicação. Esquemas de distância e de sobrecorrente direcionais, com interfaces de equipamentos de comunicação, enviam e recebem informações lógicas entre relés de todos os terminais da LT para determinar se a falta é externa ou interna à seção da linha protegida. Esquemas de relés tradicionais requerem equipamentos de comunicação externos com custos significativos.

4.1. Esquemas de Teleproteção

Diferentes tipos de esquemas de teleproteção de linha estão em uso hoje, incluindo Transferência de Disparo Permissivo por Sobrealcance (Permissive Overreaching Transfer Trip - POTT), Transferência de Disparo Permissivo por Subalcance (Permissive Underreaching Transfer Trip - PUTT), Comparação Direcional por Bloqueio (Directional Comparison Blocking - DCB), Comparação Direcional por Desbloqueio (Directional Comparison Unblocking - DCUB), Transferência de Disparo Direto por Subalcance (Direct Underreaching Transfer Trip - DUTT), e Transferência de Disparo Direto (Direct Transfer Trip - DTT). Cada um desses esquemas requer que o relé em um terminal se comunique com o relé no outro terminal para receber a informação de como este último “enxerga” a falta, à frente ou

reversa. De posse desta informação do relé remoto, cada relé rapidamente toma uma decisão de disparo se a falta é interna à seção da linha protegida, ou de não disparo se a falta é externa à seção da linha protegida.

Efetivamente, todas as técnicas de esquemas de comunicação lógica em serviço hoje foram desenvolvidas durante as eras dos relés eletromecânicos e estáticos, algumas há mais de 50 anos. Os relés de proteção e os equipamentos de comunicação são dispositivos separados e discretos que servem cada um a objetivos únicos. Os dispositivos de proteção e de comunicação são tipicamente interfaceados com contatos eletromecânicos, apesar de que alguns sistemas de relés estáticos podem usar chaves transistorizadas para interfacear eletronicamente os dispositivos. De qualquer forma, as funções dos dispositivos permanecem separadas e distintas.

A maioria desses esquemas convertem uma saída de contato de relé para um sinal de comunicação seguro e confiável que é transmitido de um terminal de linha para o outro. No terminal receptor, o sinal é convertido para uma saída de contato que é conectado para ativar uma entrada de controle no esquema lógico do relé.

A Figura 4 é um exemplo de um esquema POTT.

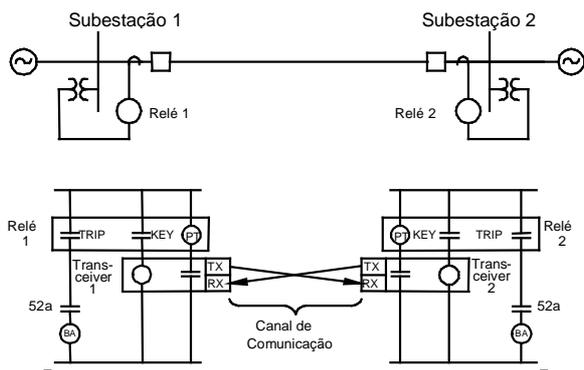


Figura 4: Esquema POTT

Hoje, na moderna era do relé microprocessado, essas técnicas de comunicação tradicionais são ainda amplamente utilizadas :

- Equipamento de comunicação permanece separado e distinto do relé de proteção;
- Contato eletromecânico permanece como interface mais comum entre o relé e o equipamento de comunicação;
- Um equipamento de comunicação adicional e espaço de canal são requeridos para cada bit de estado lógico de relé adicional a ser comunicado;
- Todos esses atributos são mantidos desde a era dos relés eletromecânicos.

4.2. Comunicação Relé-a-Relé

Uma nova, inovadora abordagem tem sido desenvolvida para compartilhar estados lógicos entre relés (Figura 5). Esta nova abordagem usa a vantagem da capacidade de

comunicação interna e da capacidade de processamento lógico-digital inerente do relé microprocessado. Efetivamente todo relé microprocessado tem uma porta de comunicação que é capaz de enviar e receber mensagens digitais. E este mesmo relé processa dados digitais representando o estado de elementos de medida do relé, entradas de controle e saídas de controle. É apenas natural que estas duas capacidades sejam combinadas para permitir comunicação lógico-digital relé-a-relé direta.

A nova técnica de comunicação lógica relé-a-relé envia repetidamente o estado de oito elementos programáveis internos do relé, os quais podem ser programados através de lógica booleana, codificados em uma mensagem digital, de um relé para outro através de uma porta de comunicação serial EIA-232.

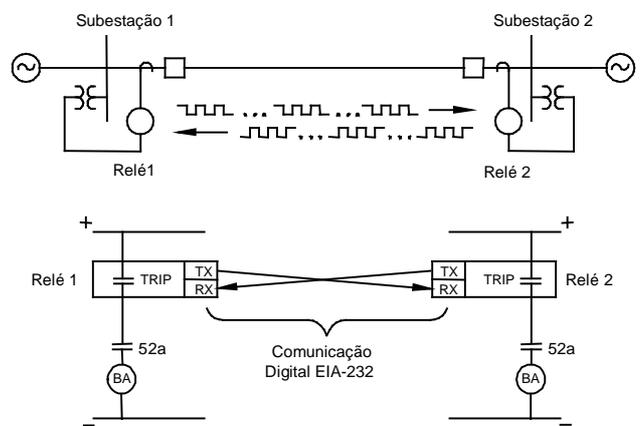


Figura 5: Comunicação relé-a-relé

Esta nova técnica de comunicação lógica relé-a-relé cria oito saídas adicionais “virtuais” em cada relé, “conectadas” através do canal de comunicação a oito entradas de controle “virtuais” no outro relé.

As oito entradas “virtuais”, RMB1 a RMB8, são elementos internos no relé receptor que seguem, ou “espelham” (mirrored), os respectivos estados das saídas “virtuais” TMB1 a TMB8 no relé transmissor, como apresentado na Figura 6.

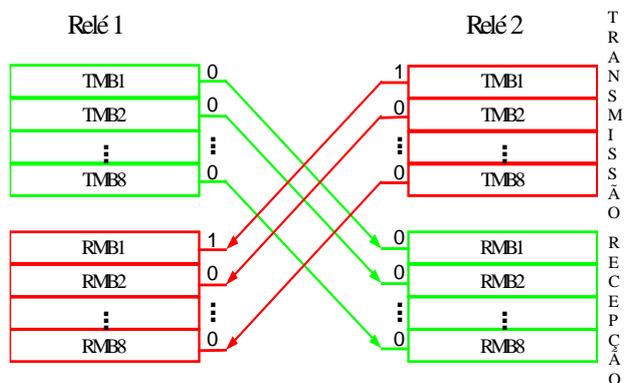


Figura 6: Bits “espelhados”

Os estados lógicos de cada bit receptor (Receive Mirrored Bit), RMB1 a RMB8, em um relé “espelha” o estado lógico de cada bit transmissor (Transmit Mirrored Bit) respectivo, TMB1 a TMB8, no outro relé. Uma alteração no estado de TMB1 do relé 2 de lógico 0 para lógico 1 causa o estado de RMB1 do relé 1 ser alterado de lógico 0 para 1. Isto cria uma conexão virtual entre os dois relés, uma vez que os bits espelhados receptores, RMBs, de um relé seguem o estado dos bits espelhados transmissores, TMBs, do outro relé.

Cada bit espelhado transmissor é programado, tal como você faria com um contato de saída, com uma equação lógica que representa o estado de um elemento interno do relé, entrada de controle, contato de saída, ou qualquer combinação desses. A cada bit espelhado receptor é atribuído uma função, assim como faríamos com uma entrada de controle convencional. Essas parametrizações incluem funções (Figura 7) tais como disparo permissivo, bloqueio de disparo, estado do disjuntor 52A, etc.

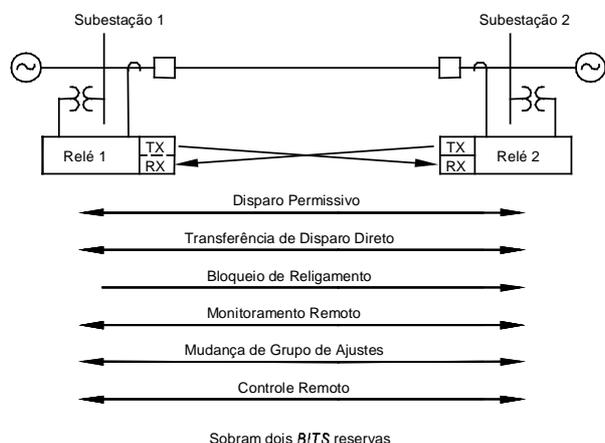


Figura 7: Utilização dos “Mirrored Bits”

4.3. Canais de Comunicação

Vários meios físicos de comunicação podem ser utilizados para estabelecer a comunicação relé-a-relé, dentre os quais citamos:

- Fibra óptica dedicada (Figura 8);
- Rede digital multiplexada;
- Microondas analógico;
- Rádios digitais (Spread Spectrum).

A Comunicação lógica digital direta relé-a-relé, via fibra direta, supera os problemas de aumento do potencial de terra e problemas de interferência eletromagnética (EMI) encontrados com cabos metálicos. Um transdutor de fibra óptica é utilizado em cada terminal de relé para converter o sinal EIA-232 do relé em um sinal ótico que pode ser transmitido pelo cabo de fibra óptica. Cabos de fibra óptica e tecnologias de transdutores multimodo atuais suportam transmissão de sinal ótico até 15 km. Transmissão a distâncias mais longas, de até 150 km, é alcançada utilizando-se cabos e transdutores óticos monomodo.

Comunicação por cabo de fibra óptica direto é o mais simples e o mais claro meio de comunicação lógica relé-

a-relé. É virtualmente imune a EMI e tipicamente tem uma taxa de erro de bit menor do que 10^{-9} . O retardo de tempo de dados nos transdutores de fibra-ótica e cabos óticos é tipicamente medido nas dezenas de microssegundos ou menos, que é desprezível comparado com a taxa de transferência de dados entre relés.

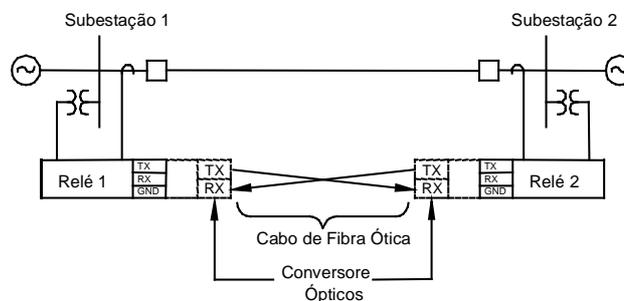


Figura 8: Fibra dedicada

O sistema de rádio digital ponto-a-ponto, da Figura 9, objeto de nossa aplicação, fornece um meio de comunicação único entre duas áreas. Existem modelos de rádios, disponíveis no mercado nacional, que podem ser especificados para operar nas faixas de frequência de UHF até a banda S (2,4 – 2,4835 GHz). Os rádios possuem uma porta serial EIA-232 para comunicação com a porta serial EIA-232 do relé, em taxas de transmissão de até 32400 bps.

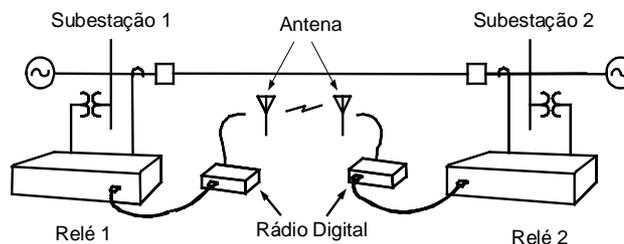


Figura 9: Aplicação com rádio digital

Rádios sem detecção de erro embutido trabalham melhor com comunicação lógica relé-a-relé, pois adicionam somente 2 ou 3 ms ao atraso de tempo global de comunicação de dados relé-a-relé. Rádios que têm detecção de erro embutido podem introduzir atrasos de tempo de 60 ms ou mais. Devido ao fato de que velocidade é um aspecto muito crítico na maioria dos esquemas de teleproteção, deve-se verificar as especificações do rádio cuidadosamente em relação às características de atraso de tempo.

4.4. Estrutura das Mensagens Mirrored Bits

Cada mensagem do protocolo de comunicação “Mirrored Bits” consiste de quatro bytes. Cada byte é constituído por um bit de início (“start bit”), seis bits de dados, um bit de paridade e um (protocolo MB) ou dois (protocolo MB8) bits de parada (“stop bit”).

As mensagens do protocolo “Mirrored Bits” são transmitidas e recebidas de maneira assíncrona, através da porta de comunicação serial dos relés, a uma velocidade de até 38400 bps. O ajuste de identificação do transmissor (TXID) da porta de relé deve combinar com o ajuste de identificação do receptor da porta de comunicação do outro relé, e estes ajustes, RXID e TXID não podem ser iguais em um mesmo relé, assegurando, desta forma, que um relé não receba sua própria mensagem enviada, caso o meio de comunicação seja colocado em “loop” por acidente.

As mensagens recebidas são verificadas a procura de erros de várias maneiras, para assegurar a integridade dos dados recebidos. Primeiro, cada byte é checado a procura por erros de paridade, estrutura (“framing”) ou “overrun”. Segundo, cada um dos oito bits “espelhados” recebidos (RMB) – os quais são repetidos três vezes em cada mensagem – são checados para verificar a redundância, isto é, todos os três bits recebidos dentro da mesma mensagem recebida devem ter o mesmo estado lógico. Terceiro, a identificação do transmissor é anexada em cada mensagem; esta identificação deve ser idêntica a identificação do receptor. E, finalmente, para garantir a integridade do canal de comunicação, uma mensagem deve ser recebida para cada três enviadas por um mesmo relé.

Quando pelo menos duas mensagens recebidas consecutivamente passam por todos os testes de integridade, um elemento interno do relé chamado ROK é ativado, isto é, assume valor lógico “1”, indicando que o canal está ativo e operando bem. Este elemento (ROK) é desativado imediatamente quando uma mensagem corrompida é recebida ou se para cada três mensagens enviadas nenhuma é recebida, portanto este elemento é usado como um alarme instantâneo de falha de recepção. Quando o elemento ROK é desativado, cada um dos oito RMB’s assume um estado lógico pré-estabelecido pelo ajuste RXDFLT, que pode ser “1”, “0”, ou reter o estado indicado pela última mensagem válida recebida. Se a falha de recepção persistir por um tempo maior que o ajuste RBADPU, então o elemento RBAD é ativado, este elemento pode ser utilizado como um alarme temporizado. Quando o número de mensagens corrompidas recebidas em um período de tempo suficiente para a indisponibilidade do canal exceder o ajuste CBADPU, então o elemento CBAD é ativado.

Cada um desses elementos pode ser utilizado para programar alarmes ou ações – tais como mudança de grupo de ajustes, bloqueio de funções de proteção/control, etc. – quando ocorre falha na comunicação.

5. TRANSFERÊNCIA DE DISPARO DIRETO - DTT

As proteções de linhas de transmissão nas subestações da CPFL são compostas, basicamente, de relés eletromecânicos de distância (ANSI-21) e sobrecorrente direcional de terra (ANSI-67N).

Os relés de distância, um para cada zona, são ajustados para detectar e eliminar qualquer tipo de falta entre fases

e entre fases e a terra. O princípio da medição da distância entre o relé e a falta consiste em medir a impedância da falta vista pelo relé, através dos sinais de tensão e corrente disponíveis em suas entradas.

O relé de sobrecorrente direcional de terra é ajustado para detectar e eliminar faltas entre fases e a terra, porém com maior sensibilidade que os relés de distância.

Um esquema de proteção de distância de três zonas pode ser visto na Figura 10, onde a zona 3 possui maior alcance que a zona 2, que possui maior alcance que a zona 1. A zona 1, instantânea, é ajustada para alcançar de 80 a 90% do comprimento da linha de transmissão, enquanto que as demais zonas, temporizadas, são ajustadas para sobrealcance o terminal remoto.

Para a aplicação proposta, os relés eletromecânicos existentes foram substituídos por um relé digital de distância multifunção modelo SEL-311C. Na instalação do autoprodutor foi instalado um relé SEL-351, relé digital direcional de sobrecorrente multifunção.

Estes relés possuem todos os elementos de proteção necessários à proteção, comando e controle dos disjuntores da linha de transmissão, nos terminais da concessionária e do autoprodutor, juntamente com quatro portas de comunicação serial, sendo que uma delas pode ser escolhida para conectar os relés aos rádios digitais através de um cabo de fibra ótica. Ainda, pela porta serial, são transmitidas e recebidas as informações de proteção, comando e controle tratadas pelo protocolo de comunicação “Mirrored Bits”.

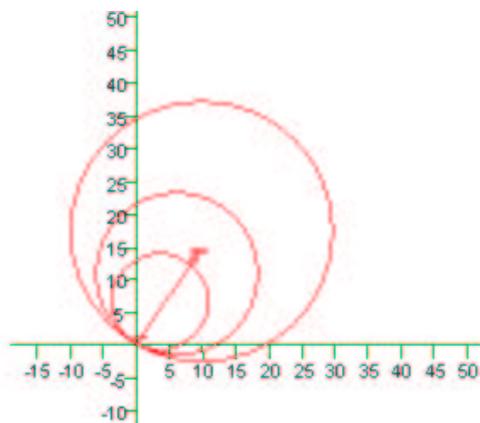


Figura 10: Diagrama de zonas da proteção de distância

O esquema de teleproteção do tipo DTT consiste em transferir qualquer saída de TRIP do relé SEL-311C, no terminal da CPFL, para o relé SEL-351, no terminal do autoprodutor, usando o enlace de rádio, como mostra a Figura 11.

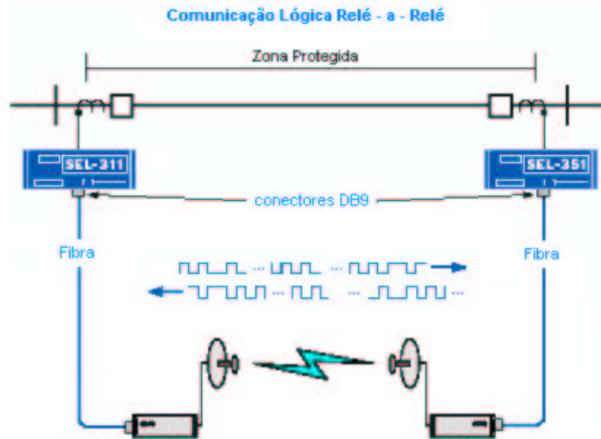


Figura 11: Comunicação lógica entre os relés SEL-311C e SEL-351 através do rádio-enlace

Os relés SEL-311C e SEL-351 processam as informações de proteção através da ativação ou desativação dos estados lógicos dos elementos internos de proteção. A cada elemento de proteção está associado um bit de estado lógico chamado de "word bit".

Os elementos de proteção programados no relé SEL-311C para enviar um sinal de disparo ao relé SEL-351, no terminal remoto, estão descritos na Tabela I.

TABELA I
ELEMENTOS DE PROTEÇÃO PARAMETRIZADOS PARA ENVIAR COMANDO DE ABERTURA

Elemento	Função
Z1P	Distância de fase - zona 1
Z1G	Distância de terra - zona 1
Z2PT	Distância de fase - zona 2 (temporizado)
Z2GT	Distância de terra - zona 2 (temporizado)
Z3PT	Distância de fase - zona 3 (temporizado)
Z3GT	Distância de terra - zona 3 (temporizado)
51PT	Sobrecorrente temporizado de fase
51NT	Sobrecorrente temporizado de terra (com controle direcional)
67G1	Sobrecorrente direcional instantâneo de terra

Quando ocorrer uma falta na linha de transmissão, em função do tipo de defeito, espera-se que ocorra a atuação de um dos elementos listados da tabela I.

A equação lógica usada para iniciar o disparo do disjuntor local, no terminal da CPFL, e transferir o sinal de disparo ao terminal remoto, do autoprodutor, é a seguinte:

$$TR = Z1P + Z1G + M2PT + Z2GT + M3PT + Z3GT + 51PT + 51NT + 67G1$$

Se qualquer um dos elementos de proteção na equação lógica é ativado o "word bit" TRIP também será. Pode-se, desta forma, habilitar um contato de saída para atuar no circuito de abertura do disjuntor local.

Esta operação é realizada direcionando TRIP para um dos contatos de saída do relé:

$$OUT101 = TRIP$$

Assim, tem-se a abertura do disjuntor no terminal da CPFL.

Para compreendermos como é transferido o comando de abertura ao disjuntor do terminal remoto, vamos verificar como ficou parametrizada a lógica de transferência de disparo com "Mirrored Bits", conforme a Tabela II.

TABELA II
PROGRAMAÇÃO DOS MIRRORED BITS PARA DTT

SEL-311C	SEL-351
TMB1A = TRIP*ROKA	DTT = RMB1A

Como foi dito anteriormente, se ocorrer uma falta na linha de transmissão, TRIP será ativado. Havendo disponibilidade do canal de comunicação o "word bit" ROKA também será ativado, uma vez que o protocolo "Mirrored Bits" verifica continuamente a integridade do canal.

Sendo satisfeitas as duas condições simultaneamente, o Bit TMB1A será ativado. O Bit espelhado RMB1A, no relé SEL-351, reflete a mudança de TMB1A e também é ativado.

Agora, com a ativação de RMB1A, DTT (Direct Transfer Trip) é ativado. O estado de DTT, como mostra a Figura 12, ativa incondicionalmente TRIP no relé SEL-351.

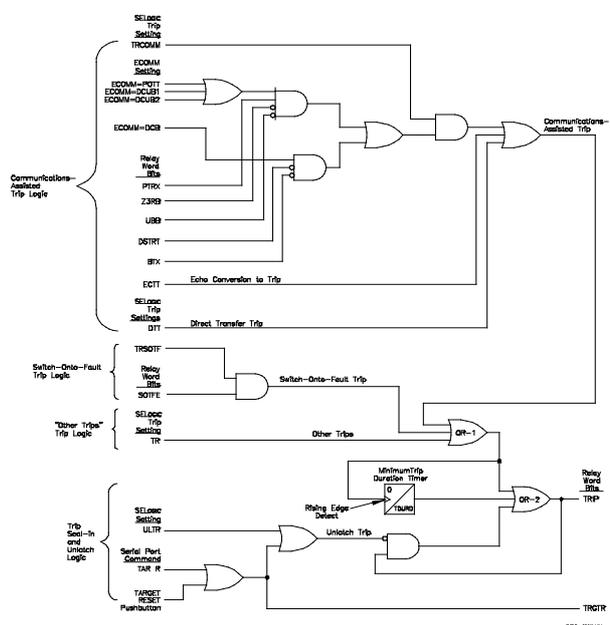


Figura 12: Lógica de disparo por canal de comunicação

Assim, TRIP pode ser direcionado a um contato de saída que atuará no circuito de abertura do disjuntor de 69 kV do autoprodutor.

Neste caso, pode-se proceder da mesma forma já descrita anteriormente, fazendo:

OUT101 = TRIP

Até agora foi utilizado apenas um bit dos oito bits (byte) que o protocolo "Mirrored Bits" disponibiliza. Este bit é o responsável por transferir o comando de disparo (TRIP) ao disjuntor remoto do autoprodutor, quando as proteções locais no terminal da concessionária atuarem para faltas na linha de transmissão.

Veja que cada bit corresponde a um canal de comunicação independente. Restam, portanto, mais 7 bits que poderiam ser utilizados para funções adicionais de comando e controle.

Por exemplo, abertura e fechamento do disjuntor da entrada de linha do autoprodutor condicionado a verificação do seu estado (aberto ou fechado), através da UTR - Unidade Terminal Remota instalada na subestação da concessionária. Assim, o centro de controle da concessionária poderá usar o canal de comunicação existente para enviar comandos ao disjuntor remoto; verificando, ao mesmo tempo, se os comandos foram aceitos com sucesso.

Muitas concessionárias exigem UTR na instalação do autoprodutor, quando existe geração em paralelo com a rede, simplesmente para comandar o disjuntor da entrada de linha. Em alguns casos, é a concessionária quem despacha a geração do autoprodutor.

Tendo em vista que o relé do autoprodutor já está interligado ao relé da concessionária, via rádio-enlace, é possível através da programação de entradas digitais e contatos de saída criar um esquema de comando e controle bastante simples e funcional, como apresentado na Figura 13 para o relé e UTR instalados no terminal da concessionária.

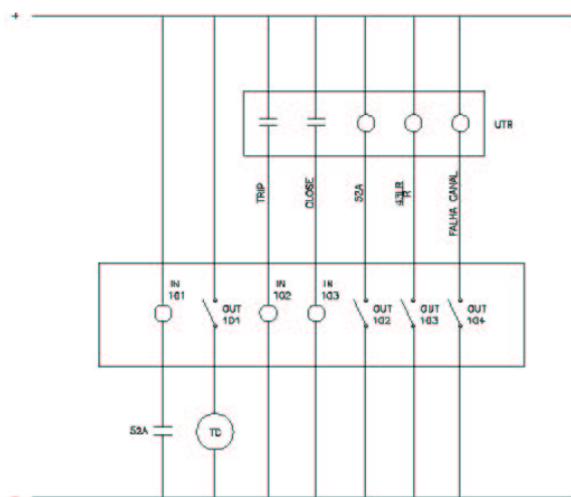


Figura 13: Interface relé-UTR no terminal da concessionária

A seguir vamos descrever as funções de cada uma das entradas digitais e contatos de saída utilizados no relé

instalado do lado da concessionária e que faz interface com a UTR.

Cada entrada digital e contato de saída pode assumir apenas dois estados: ativada (nível 1 binário) ou desativada (nível 0 binário), conforme descrito abaixo:

IN101: ativada quando o disjuntor estiver fechado;

IN102: ativada pelo comando de abertura, via UTR;

IN103: ativada pelo comando de fechamento, via UTR;

OUT101: ativada pelo "word bit" TRIP;

OUT102: ativada quando o disjuntor da entrada de linha do autoprodutor estiver fechado;

OUT103: ativada quando a chave local-remoto (43LR) do disjuntor da entrada de linha do autoprodutor estiver na posição remoto (43LR/R);

OUT104: ativada quando houver perda do canal de comunicação ("word bit" RBADA em nível lógico alto). O canal é continuamente monitorado pelo protocolo "Mirrored Bits".

As funções das entradas digitais e contatos de saída utilizados no relé do autoprodutor, Figura 14, são descritas em seguida.

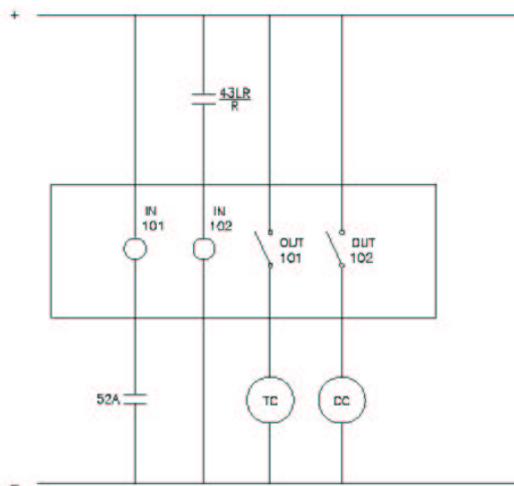


Figura 14: Entradas digitais e contatos de saída do relé do autoprodutor

IN101: ativada quando o disjuntor estiver fechado;

IN102: ativada quando a chave local-remoto (43LR) estiver na posição remoto (43LR/R). Esta chave é utilizada para habilitar o comando do disjuntor localmente, ou remotamente pela UTR da concessionária;

OUT101: ativada pelos "word bits" TRIP e RMB2A (comando de abertura enviado pela UTR, via relé da concessionária). Veja que um único contato de saída pode agrupar todas as possibilidades de disparo do disjuntor, bastando fazer $OUT101 = TRIP + RMB2A * IN102$. TRIP resume as condições de disparo dado pela proteção local (elementos internos de proteção) da entrada do autoprodutor mais a Transferência de Disparo Direto (DTT) enviada pela concessionária;

OUT102: ativada pelo "word bit" RMB3A (comando de fechamento enviado pela UTR, via relé da concessionária). Observe que a chave local-remoto precisa estar na posição remoto (IN102 ativada) para que o disjuntor aceite comando de fechamento via UTR. A equação lógica que possibilita a implementação desta função de controle é:

$$\text{OUT102} = \text{RMB3A} * \text{IN102}$$

A Tabela III apresenta, a título de aplicação, as parametrizações das entradas digitais e contatos de saída que executam a lógica de comando e controle do disjuntor da entrada de linha do autoprodutor, através da UTR instalada no terminal da concessionária.

Foi implementado com sucesso, até a conclusão deste trabalho, apenas o esquema de teleproteção via rádio digital. Contudo, já está prevista para o final deste ano a implantação de um esquema de teleproteção similar ao descrito; cuja UTR, instalada no terminal da concessionária, executará comandos de abertura e fechamento do disjuntor da entrada de linha de um autoprodutor conectado em 138 kV.

TABELA III
PROGRAMAÇÃO DOS MIRRORED BITS PARA COMANDO E CONTROLE

SEL-311C	SEL-351
TMB1A = TRIP*ROKA	DTT = RMB1A
TMB2A = IN102*ROKA	OUT101 = TRIP+RMB2A*IN102
TMB3A = IN103*ROKA	OUT102 = RMB3A*IN102
OUT102 = RMB4A	TMB4A = IN101
OUT103 = RMB5A	TMB5A = IN102
OUT104 = RBADA	

6. TESTES E RESULTADOS

Os testes realizados em campo, conforme o esquema da Figura 15, mostraram que o tempo total de desconexão, desde o início da falta até a abertura do disjuntor de interconexão da co-geração, está situado em torno de 5 ciclos.

O tempo de desconexão medido mostra-se aceitável para a maioria das aplicações, principalmente onde o requisito de religamento automático instantâneo do disjuntor da concessionária é imperativo.

6.1. Dados da Banda Básica

Durante os testes realizados em campo, as portas seriais dos relés e dos rádios foram configuradas com os seguintes parâmetros de comunicação:

- Velocidade de 19200 bps;
- Modo de comunicação assíncrono;
- Mensagem de 10 bits (8 dados, 1 start, 1 stop);
- Interface EIA-232.

6.2. Tempo de canal

Através da monitoração do canal de comunicação, foi possível medir o tempo que um comando de TRIP gerado no terminal da CPFL leva para chegar ao terminal do autoprodutor.

As medições obtidas com codificação e sem codificação estendida são as seguintes:

- Com codificação estendida da banda básica: duty cycle = 21 ms;
- Sem codificação estendida da banda básica: duty cycle = 20,5 ms.

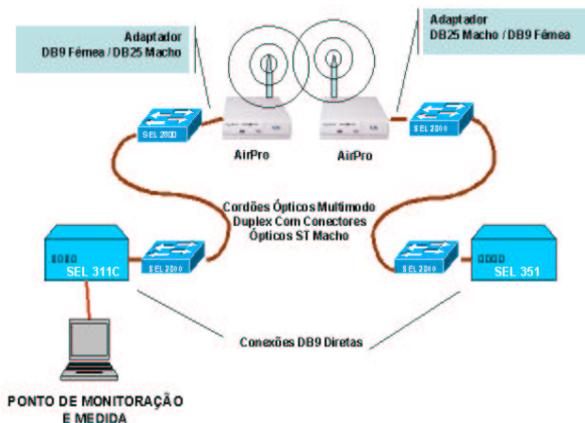


Figura 15: Teste de enlace com os rádios digitais

7. CONCLUSÕES

O esquema de teleproteção com rádios digitais spread spectrum e protocolo "Mirrored Bits", além de tornar viável a conexão do autoprodutor, garantindo uma desconexão segura quando da ocorrência de qualquer tipo de falta na rede elétrica, reduziu os custos de implantação da teleproteção à metade, em relação ao esquema de teleproteção que faz uso de equipamentos convencionais de comunicação.

Trata-se de uma tecnologia bastante acessível e barata, introduzida com a aplicação de rádios digitais spread spectrum.

Esses rádios, amplamente usados pela indústria de telecomunicação em aplicações que requerem alta performance e confiabilidade no tráfego de informação, encontram nas concessionárias de energia elétrica um universo de aplicações em esquemas de proteção, comando e controle.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Behrendt, K.; Fodero, K. Implementing Mirrored Bits™ Technology Over Various Communication Media. SEL Application Guide - Volume II - AG2001-12.
- [2] Blackburn, J.L. Protective Relaying and Applications. Marcel Dekker, Inc. 1987.

- [3] Costello, D.; Fodero, K. Mirrored Bits™ Communications With Spread Spectrum Radios. SEL Application Guide - Volume II - AG2000-02.
- [4] Proakis, J. G.; Digital Communication. McGraw-Hill Higher Education. 2000.