

Considerações e Benefícios de Utilizar Cinco Zonas para Proteção de Distância

Ricardo Abboud, Jordan Bell, e Brian Smyth
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.

Apresentado na
72nd Annual Conference for Protective Relay Engineers
College Station, Texas, EUA
25–28 de março de 2019

Anteriormente apresentado na
9th Annual Protection, Automation and Control World Conference, junho de 2018

Originalmente apresentado na
72nd Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, maio de 2018

Traduzido para o português em maio de 2019

Considerações e Benefícios de Utilizar Cinco Zonas para Proteção de Distância

Ricardo Abboud, Jordan Bell, e Brian Smyth, *Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Sumário—Este artigo técnico discute considerações de aplicação de relés de proteção de linhas de transmissão com comunicação (para esquemas de teleproteção) e usando cinco zonas na função de proteção de distância. Esta discussão aborda como modernos relés digitais podem beneficiar um sistema de potência, quando apropriadamente aplicados em esquemas de teleproteção e também como retaguarda na função de distância convencional, considerando zonas temporizadas em cascata, que chamaremos de esquema de distância escalonado ou simplesmente esquema escalonado. Serão abordados diferentes cenários problemáticos, como acoplamento mútuo, compensação série, linhas longas com linhas curtas adjacentes, saturação de transformadores de corrente (TCs) e o uso de transformadores de potencial com acoplamento capacitivo (TPCs). O artigo analisa a utilização de múltiplas zonas no esquema de distância escalonado e em esquemas de teleproteção, tais como transferência de disparo permissivo por sobrealcançe (POTT), comparação direcional por desbloqueio (DCUB) e comparação direcional por bloqueio (DCB).

I. INTRODUÇÃO

Elementos de distância são largamente aplicados como a principal função de proteção para sistemas de transmissão. Devido a complexidades no sistema de transmissão, um esquema de distância escalonado geralmente fica restringido para atuar em disparo instantâneo cobrindo 100% da linha protegida. Ao invés disto, o alcance do elemento de distância instantâneo é tipicamente ajustado para cobrir 80% da linha e os 20% remanescentes são cobertos por um outro elemento de distância temporizado (tipicamente ajustado para 20 ciclos) que é coordenado com o terminal remoto.

Os tempos de disparo para o trecho remanescente de 20% da linha podem ser melhorados através da aplicação de esquemas de teleproteção usando canais de comunicação. Estes esquemas auxiliados por canais de comunicação, permitem que ambos relés dos terminais da linha troquem informações binárias para fornecerem disparo em alta velocidade para 100% da linha, reduzindo o tempo total de eliminação de faltas.

No caso de relés eletromecânicos, as mesmas zonas de distância eram aplicadas tanto para o esquema de teleproteção como no esquema escalonado. Esta prática era adotada porque os relés tinham um número limitado de zonas disponíveis. Contudo, os modernos relés digitais oferecem um maior número de zonas, tornando possível aplicar zonas dedicadas e distintas para os esquemas de teleproteção e escalonado. Este fato, inerentemente aumenta o desempenho, segurança e confiabilidade da proteção da linha e conseqüentemente do sistema de potência.

Mesmo com a disponibilidade de zonas adicionais, muitos esquemas de teleproteção ainda são aplicados da forma tradicional. As zonas de sobrealcançe e reversa são combinadas para teleproteção e esquema escalonado, ao invés de se aproveitar a vantagem de que relés modernos oferecem zonas adicionais. Frequentemente, o propósito das zonas adicionais não é bem compreendido e seus alcances são ajustados de forma incorreta, criando preocupações de segurança para os esquemas de proteção e comprometendo a estabilidade do sistema de potência.

Longos alcances para os elementos de distância nos esquemas escalonados podem ser perigosos; eles têm sido uma das causas ou fatores de agravamento de muitos dos grandes *blackouts* em todo o mundo [1]. Elementos de distância nos esquemas escalonados com alcances muito longos estão propensos a atuarem indevidamente em situações não usuais de cargas pesada que podem ocorrer durante contingências no sistema, como mostrado na figura 1.

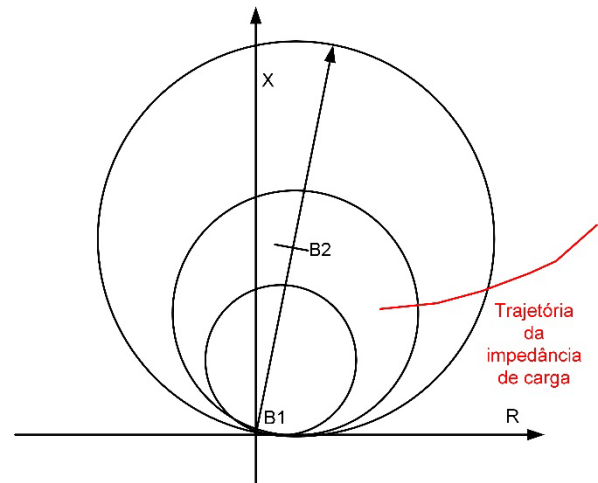


Figura 1. Trajetória da impedância de carga entrando na zona de sobrealcançe

As zonas de sobrealcançe dos esquemas escalonados ajustadas com um alcance muito longo entram em conflito com os requisitos de capacidade de carga da linha de transmissão. É necessário aplicar adequadamente as cinco zonas disponíveis nos modernos relés de distância para que os engenheiros de proteção possam aumentar a segurança e confiabilidade do sistema de potência.

O uso de zonas independentes e dedicadas para ambos esquemas, ou seja esquema escalonado e esquema de teleproteção, quando apropriadamente aplicados podem

beneficiar o sistema de potência através da eliminação ou minimização de efeitos de diferentes cenários problemáticos, tais como acoplamento mútuo, compensação série, linhas longas seguidas de linhas curtas adjacentes, cargas pesadas, saturação de transformadores de corrente (TCs) e linhas multiterminais.

II. OS MODERNOS RELÉS DE DISTÂNCIA

Como novos esquemas de teleproteção foram desenvolvidos no passado, mais zonas de proteção de distância foram necessárias para que tais esquemas pudessem ser aplicados adequadamente. Com a limitação de zonas de relés eletromecânicos e limitação de espaço em painéis para relés adicionais, as concessionárias de energia se viram desafiadas quando tentavam obter esquemas de proteção seguros e confiáveis considerando vários cenários. Com a introdução de relés digitais, o número de zonas tornou-se uma simples questão de parametrização do relé, fornecendo uma maneira econômica de se criar novas diretrizes de proteção para superar os desafios dos relés eletromecânicos tradicionais. Os modernos relés digitais possuem muitas vantagens em relação aos eletromecânicos, incluindo zonas de proteção adicionais para elementos de distância, funções de controle e capacidade de comunicação.

Limitar a proteção de distância em três zonas, como ilustrado na figura 2, requer um compromisso entre velocidade e seletividade. Os relés modernos normalmente fornecem até cinco zonas para resolver problemas desafiadores, incluindo a opção de aplicar zonas de alta velocidade como elemento dedicado para esquemas de teleproteção [2] e elementos de distância escalonados. Isto permite uma solução econômica que elimina dispositivos adicionais e melhora a segurança e confiabilidade do esquema de proteção como um todo [3].

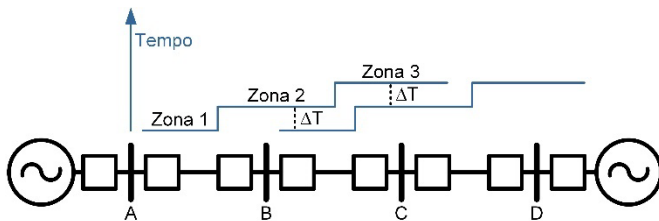


Figura 2. Zonas de distância (ΔT = intervalo de coordenação)

Além de aumentar o número de zonas para a proteção de distância da linha, os modernos relés também permitem uma flexibilidade de programação. Esta flexibilidade permite aos engenheiros de proteção criarem esquemas personalizados para seus sistemas de transmissão. Estas duas características—juntamente com a maior velocidade de atuação e lógicas para contornar situações adversas tais como transitórios de transformadores de potencial capacitivos (TPC), compensação série e condições de perda de sincronismo—tem permitido aos engenheiros de proteção conquistarem muitos dos problemas que enfrentavam quando utilizavam relés eletromecânicos.

Relés modernos agregam novas tecnologias para ajudar a resolver problemas futuros e existentes. À medida que os sistemas de potência mudam e novos equipamentos e tecnologias são desenvolvidos, os relés de proteção também

precisam evoluir. Os sistemas de potência estão atingindo seus limites e as concessionárias estão tentando evitar construção de novas linhas de transmissão, procurando por outros possíveis meios de se transmitir mais energia através das linhas de transmissão existentes. Com mais recursos para comunicação e capacidade de monitoramento, as concessionárias estão aprendendo cada vez mais sobre seus sistemas de potência e estão entendendo a necessidade de migrar para uma nova tecnologia.

III. ESQUEMAS DE TELEPROTEÇÃO POR COMPARAÇÃO DIRECIONAL

Um esquema de proteção de distância escalonado enfrenta muitos desafios, incluindo efeitos *infeed* e *outfeed*, compensação série, erros de medição, imprecisão na modelagem e não homogeneidade da linha de transmissão. Eliminar faltas o mais rápido possível requer um elemento instantâneo. Para lidar com esses desafios num esquema escalonado, é necessário reduzir o ajuste da zona instantânea para evitar sobrealcançe e disparo para uma falta externa no próximo segmento de linha. Esta redução do ajuste melhora a seletividade do sistema de proteção e permite um tempo adequado para o relé apropriado eliminar a falta. A zona instantânea pode ser ajustada em 80% do comprimento da linha na maioria dos casos, mas pode ser ajustada em valores menores como 20% para linhas com compensação série ou até mesmo desabilitada em casos de excessiva compensação da linha de transmissão. Redução do alcance afeta o tempo de eliminação da falta no trecho final da linha. De forma a contornar a redução do ajuste do elemento instantâneo, foram introduzidos os esquemas de teleproteção que utilizam canais de comunicação e eliminam faltas em alta velocidade cobrindo 100% do comprimento da linha. Os esquemas de teleproteção fornecem disparo rápido e simultâneo em todos terminais para qualquer tipo de falta na linha protegida.

As subseções seguintes resumidamente apresentam vários esquemas de teleproteção. Cada esquema possui suas próprias vantagens e desvantagens. Todos esquemas de teleproteção requerem largura de banda bem limitada para seus canais o que torna econômica sua implementação [4].

A. Transferência de disparo permissivo por sobrealcançe

Um esquema de transferência de disparo permissivo por sobrealcançe (POTT) utiliza zonas de sobrealcançe em ambos terminais da linha, conforme mostrado na figura 3. Se ambos relés detectarem faltas à frente, então haverá disparo em alta velocidade. A velocidade da proteção é limitada apenas pela detecção da falta pelo relé de ambos terminais e pelo tempo de atraso dos canais de comunicação. Este esquema elimina faltas quase que instantaneamente enquanto permanece seguro para a maioria das situações.

A figura 3 ilustra um esquema POTT implementado com a zona 2 como a zona de sobrealcançe em cada relé. Como a falta é detectada pelo elemento de zona 2 do terminal S, à frente, a informação é transmitida para o relé do terminal R. Se o relé do terminal R também detecta uma falta dentro de sua zona 2, à

frente, então este relé dispara o disjuntor e transmite um sinal permissivo de volta ao terminal S.

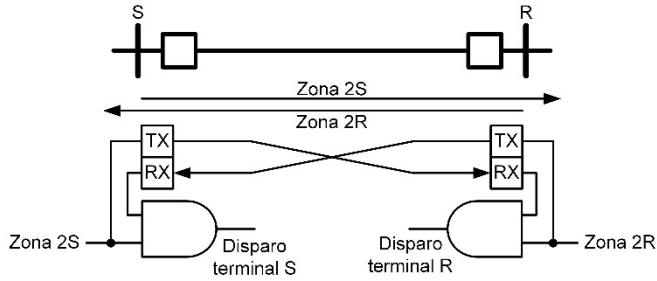


Figura 3. Esquema POTT

Criando um esquema POTT com um limitado número de zonas pode ser um grande desafio. Por exemplo, utilizando o mesmo elemento de distância tanto no esquema POTT como no esquema escalonado como retaguarda, pode-se enfrentar requisitos contraditórios, conforme explicado na seção VII. Ao introduzir zonas adicionais, é possível aplicar uma zona dedicada para a teleproteção e outra zona separada para o esquema escalonado como retaguarda e assim removendo o requisito contraditório.

Alguns desafios para o esquema POTT incluem o efeito *infeed* devido a linhas multiterminais, reversão de corrente em linhas paralelas e acoplamento mútuo. *Infeed* proveniente de um dos terminais de uma linha multiterminal pode causar subalcança no elemento de distância usado no esquema POTT. Para superar este subalcança, pode-se estender a zona de sobrealcança. Contudo, isto pode agravar outros problemas, tais como reversão de corrente. Uma corrente reversa ocorre quando uma linha paralela é protegida por um esquema de teleproteção tipo POTT na qual a zona de sobrealcança de uma linha enxerga uma falta na linha paralela, como mostrado na figura 4.

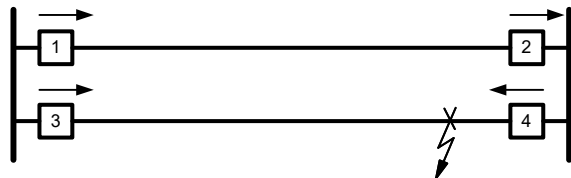


Figura 4. Falta em linha paralela

Na figura 4, o relé do disjuntor 1 detecta a falta dentro de sua zona de sobrealcança e envia um sinal permissivo ao relé do disjuntor 2. O disjuntor 2 não dispara, pois o seu relé local detecta a falta na direção reversa e se restringe. A zona instantânea do relé do disjuntor 4 atua e dispara seu disjuntor, que ao abrir causa uma reversão no sentido da corrente na linha sã, conforme ilustrado na figura 5.

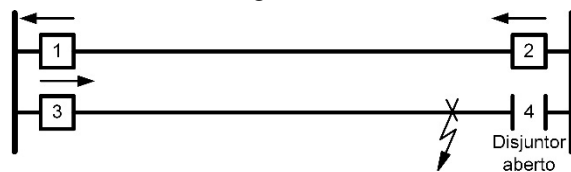


Figura 5. Corrente reversa através da linha paralela

Como a corrente inverte, o relé do disjuntor 2 passa a detectar a falta à frente, pelo seu elemento de sobrealcança, enquanto ainda está recebendo o sinal permissivo que havia sido transmitido pelo relé do disjuntor 1, e assim causando um disparo indevido do disjuntor 2. Uma solução para resolver este problema seria aplicar uma lógica de reversão de correntes na qual, caso o relé do disjuntor 2 indicasse previamente falta na direção reversa, ele bloquearia imediatamente o esquema de teleproteção, sendo que este bloqueio ficaria estendido por um tempo definido de forma a permitir que o relé do terminal 3 elimine a falta [5].

Finalmente, acoplamento mútuo de linhas em paralelo pode causar condição de sub ou sobrealcança num elemento de distância de terra. Um elemento subalcança se o relé mede uma impedância maior do que aquela impedância até a falta. O elemento sobrealcança se ele mede uma impedância menor do que aquela até a falta.

B. Esquema de comparação direcional por desbloqueio

Um esquema de comparação direcional por desbloqueio (DCUB) utiliza essencialmente a mesma lógica como no esquema POTT e pode ser considerado uma variação do mesmo. Um esquema DCUB é aplicado quando existe a possibilidade de perda do canal de comunicação durante uma falta interna. Normalmente se aplica neste esquema o modo de comunicação do tipo chaveamento de frequência (FSK – Frequency-shift keying). O esquema envia um sinal de monitoramento chamado de sinal de guarda numa determinada frequência e um sinal de disparo em uma frequência diferente. Um desafio é que para uma falta interna pode haver interrupção da comunicação e o sinal permissivo pode não ser transmitido. Devido ao fato de o sinal de guarda ser sempre transmitido, se o relé do terminal remoto não receber nenhum sinal, seja permissivo ou de guarda, ele habilita uma lógica de perda de sinal de guarda. Esta lógica abre uma pequena janela de tempo, na qual o relé é habilitado para atuar em alta velocidade, mesmo sem o sinal permissivo proveniente do terminal remoto. Porém, isto pode causar uma possibilidade de disparo indevido para uma falta externa, quando o sinal de guarda é perdido.

C. Esquema de comparação direcional por bloqueio

Um esquema de comparação direcional por bloqueio (DCB) utiliza uma zona reversa para enviar um sinal de bloqueio para o relé do terminal remoto, conforme ilustrado na figura 6. Uma zona em sobrealcança do relé do terminal remoto assume que todas as faltas são internas e, portanto, precisa ser retardada por um intervalo de tempo equivalente ao tempo de comunicação do canal, de forma a permitir bloqueio caso a falta seja externa. Este esquema exige um canal de comunicação rápido e muito confiável. Esquemas DCB podem ser implementados com sistemas de ondas portadoras (carrier) ou outros tipos de comunicação.

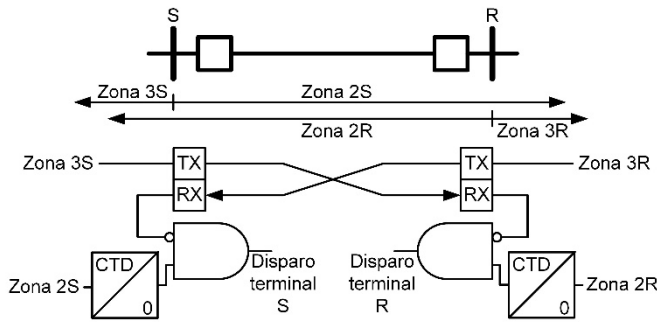


Figura 6. Esquema DCB

Coordenar esquemas DCB pode ser uma tarefa desafiadora e geralmente poucas diretrizes são seguidas. Primeiramente, a zona reversa do relé local, que fornece o sinal de bloqueio, deve alcançar além da zona de sobrealcançe direta do relé remoto. Isto garante que o sinal de bloqueio é enviado para o relé remoto para faltas externas atrás do relé local. Uma temporização é usada para garantir que a zona de sobrealcançe do relé local seja retardada o suficiente de forma a receber o sinal de bloqueio da zona reversa do relé remoto. O ajuste da zona reversa do relé remoto deve ser realizado de forma a detectar a falta externa de forma mais rápida que a zona de sobrealcançe do relé local e assim permitir uma reduzida temporização, conforme explicado na seção V.

Finalmente, quando uma falta externa é eliminada, a zona reversa do relé local deverá possuir um *dropout* mais lento do que a zona de sobrealcançe à frente do relé remoto, através um temporizador que estende o sinal de bloqueio; caso contrário, a zona de sobrealcançe à frente do relé remoto poderá não atingir o *dropout* antes do *dropout* do sinal de bloqueio do relé local, e assim causando um disparo indevido no disjuntor remoto. A temporização do sinal de bloqueio também é usada para evitar disparos indevidos causados pelas correntes reversas que podem ocorrer no caso de linhas paralelas, conforme explicado previamente.

IV. EFEITO DA SATURAÇÃO DE TC'S NO DESEMPENHO DE RELÉS DE DISTÂNCIA

TCs são essenciais para fornecerem sinais de medição precisos para os relés de proteção. Quando não são apropriadamente selecionados para um sistema de proteção, os TCs podem causar efeitos adversos na segurança e confiabilidade do esquema como um todo. A seleção correta de um TC requer considerações sobre a assimetria, valor da corrente da falta, relação X/R e tempo máximo de eliminação de faltas. O critério para evitar saturação de TCs é demonstrado em [6] e mostrado na equação (1).

$$20 \geq \left(\frac{X}{R} + 1 \right) \cdot I_f \cdot Z_b \quad (1)$$

onde:

I_f é a máxima corrente de falta em pu do valor nominal primário do TC.

Z_b é o *burden* do TC em pu do *burden* nominal.

X/R é a relação da reatância pela resistência do circuito de falta primário.

A falha em selecionar corretamente os TC's, pode levar a saturação de TC's, que pode causar atrasos nos tempos de eliminação de faltas, afetar a sensibilidade de ajuste do elemento de distância e a habilidade do relé em identificar adequadamente o tipo e a localização de uma falta, conforme ilustrado na figura 7.

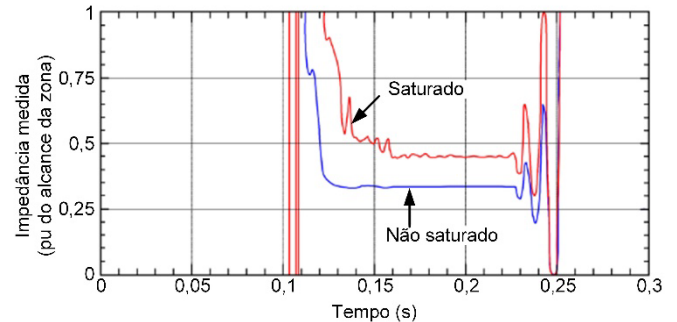


Figura 7. Valor do alcance calculado com TCs saturados e não-saturados

A referência [7] demonstra que saturação de TCs pode afetar o alcance do elemento de distância e que a zona de sobrealcançe pode não ter o alcance esperado. Na figura 8, para uma falta aplicada a 100% da impedância da linha, o TC saturou dois ciclos após o início da falta. O elemento de sobrealcançe operou em um ciclo e permaneceu atuado por dois ciclos, porém, devido à saturação do TC ocorreu um *dropout* indesejado por mais dois ciclos e então operou novamente.

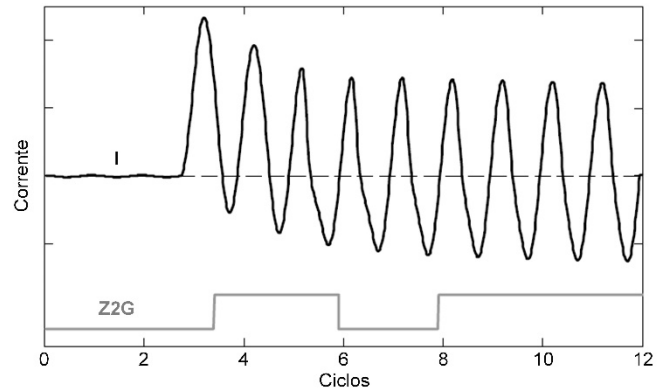


Figura 8. Corrente secundária e sinal de saída da zona 2

O cálculo do alcance na figura 9 mostra que inicialmente a impedância medida está dentro da faixa de ajuste da zona 2 em sobrealcançe; contudo, como o TC começa a saturar, a impedância aumenta para um valor maior e acaba saindo da faixa de ajuste, causando a este elemento uma ação de *reset* e *dropout*. À medida que o TC sai da condição de saturação, o valor da impedância cai dentro da faixa de ajuste novamente.

Uma opção para contrabalançar o subalcançe causado pela saturação do TC, é aumentar o ajuste da zona de sobrealcançe aplicada exclusivamente no esquema de teleproteção e usar uma zona diferente de sobrealcançe no esquema escalonado com as linhas adjacentes. Estendendo o ajuste para um mínimo de 200% melhora o desempenho do elemento e reduz a possibilidade de atingir *dropout* durante saturação de TC's. Condição de saturação de TC's não irá causar problemas num

esquema de teleproteção com elementos de distância dedicados e aplicados nas zonas à frente e reversa.

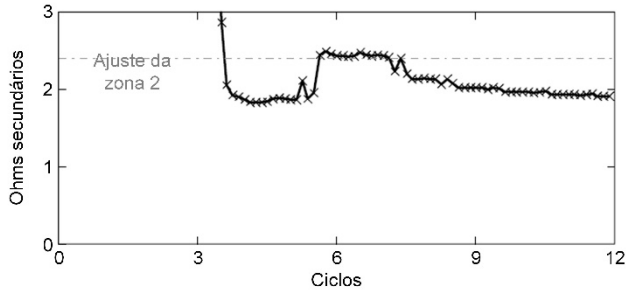


Figura 9. Medição de impedância e ajuste da zona 2

V. EXTENSÃO DO ALCANCE DA ZONA REVERSA NO ESQUEMA DCB

Conforme previamente mencionado, um esquema DCB utiliza uma zona de sobrealcance para disparo em alta velocidade e uma zona reversa para bloqueio. Estas zonas podem compreender tanto elementos de distância como elementos de sobrecorrente direcional, ambos com temporizadores independentes para melhor coordenação.

Os temporizadores são ajustados para coordenar com o sinal de bloqueio proveniente do terminal remoto. Se uma falta ocorre atrás do terminal remoto, o relé local opera a zona de sobrealcance (caso a falta esteja dentro de sua faixa de ajuste) enquanto o relé remoto opera sua zona reversa. Quando o relé remoto opera sua zona reversa, ele deveria imediatamente enviar um sinal de bloqueio para o relé local. O retardo do temporizador de coordenação (CTD) da zona de sobrealcance concede um intervalo de tempo para o relé receber o sinal de bloqueio proveniente do relé remoto. Uma visão geral desta lógica é ilustrada na figura 10.

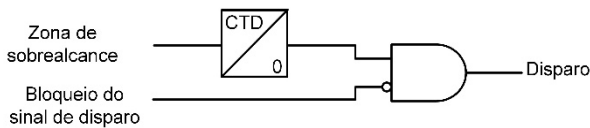


Figura 10. Lógica de disparo do esquema DCB

O temporizador de coordenação (CTD) acrescenta um tempo de espera para o sinal de bloqueio chegar. Para o pior dos casos, esta temporização deve levar em conta a latência do canal de comunicação, tempo de reconhecimento da entrada de controle e tempo máximo de operação da zona reversa remota. Se um sinal de bloqueio não for recebido antes do tempo de espera vir a expirar, haverá disparo em alta velocidade, mesmo se a falta for externa dentro da faixa de ajuste do elemento de sobrealcance.

Reduzir o tempo de espera, requer que o elemento reverso opere o quanto antes para a falta. Acelerar a operação exige que os elementos reversos tenham um alcance maior ou menor ajuste de sobrecorrente direcional. Concentrando-se somente nos elementos de distância, o alcance da zona reversa remota pode ser ajustado para um valor mínimo, para casar com o ajuste da zona de sobrealcance do relé local. Se a zona de sobrealcance do relé local for ajustada em 200%, então a zona

reversa remota deveria ser ajustada no mesmo valor. Isto resulta numa operação mais rápida da zona reversa remota, conforme mostrado na figura 11.

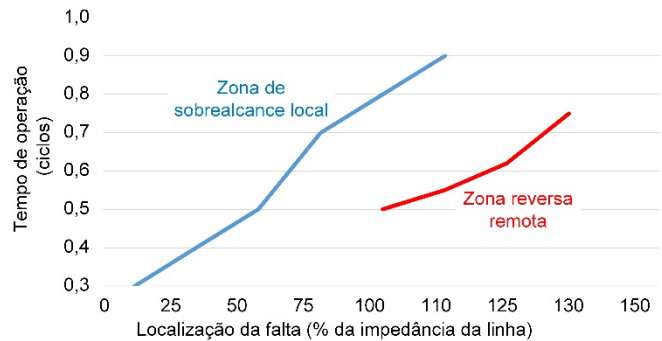


Figura 11. Tempos de disparo para a zona de sobrealcance local e zona reversa remota aplicadas num esquema DCB

Ajustar a zona reversa remota apropriadamente permite ao relé remoto operar de forma mais rápida para faltas externas e assim enviando o sinal de bloqueio o quanto antes. A referência [8] propõe ajuste da zona reversa remota igual a 150% da zona de sobrealcance local menos a impedância da linha, conforme mostrado em (2).

$$\text{Zona reversa DCB} = 1,5 \cdot (\text{Zona de sobrealcance DCB}) - \text{ZIL} \quad (2)$$

Esta abordagem permite que o tempo de espera do relé local seja reduzido para operar mais rápido para faltas internas, assim melhorando o intervalo de coordenação do esquema. Isto leva a um tempo de eliminação de faltas menor e melhorias na estabilidade do sistema. As zonas de distância adicionais, por exemplo zona 4 e zona 5, podem então serem ajustadas da forma convencional como retaguarda no esquema escalonado, com alcances de acordo com os requisitos de coordenação de cada esquema [8].

VI. LINHAS PARALELAS MUTUAMENTE ACOPLADAS

Linhas de transmissão que compartilham a mesma torre ou mesma faixa de servidão, são influenciadas por acoplamento mútuos de sequência zero entre seus condutores. Tais acoplamentos afetam a medição de impedância dos elementos de distância, particularmente os elementos de distância a terra. As zonas de sobrealcance deveriam ser compensadas para se certificar que o acoplamento mútuo de sequência zero não reduza o alcance desejado.

Na figura 12, duas linhas paralelas mutuamente acopladas terminam nas mesmas subestações. Por exemplo, uma falta da fase A para terra ocorre no trecho final da linha 1, que é protegida pelo relé, conforme a figura ilustra.

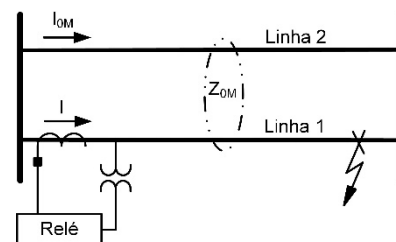


Figura 12. Linhas mutuamente acopladas

Para esta falta da fase A para terra, a corrente utilizada pelo elemento de distância da fase A para terra é $I = I_a + k_0 \cdot I_r$, onde k_0 é o fator de compensação de sequência zero. A tensão utilizada, V_a , é fornecida pela equação (3).

$$V_a = mZ_{IL} (I_a + k_0 \cdot I_r) + mZ_{0M} \cdot I_{0M} \quad (3)$$

O acoplamento de sequência zero altera a impedância aparente da falta que o elemento de distância de terra mede, conforme mostrado na equação (4) e na referência [9].

$$Z_{APP} = \frac{V_a}{I_a + k_0 \cdot I_r} = mZ_{IL} + mZ_{0M} \cdot \frac{I_{0M}}{I_a + k_0 \cdot I_r} \quad (4)$$

Esta impedância aparente é diferente em cada fase dependendo da localização da falta, localização dos condutores entre as duas linhas, se o cabo para-raios é segmentado ou contínuo e se a linha possui transposição de fases ou não.

O efeito do acoplamento mútuo de sequência zero no elemento de distância é de um subalcance quando as correntes I_r and I_{0M} fluem na mesma direção, o que pode impedir a zona de sobrealcance detectar faltas dentro da linha se o acoplamento for suficientemente forte [10]. De forma a garantir sobrealcance nos esquemas de teleproteção, ajustes típicos necessitam ser maiores do que os tradicionais 125% costumeiramente usados. Aplicando a mesma zona de sobrealcance para esquema escalonado e esquema de teleproteção, pode-se enfrentar problemas de coordenação. Por outro lado, ao aplicar zona dedicada para esquemas de teleproteção, garante-se uma otimização dos ajustes para linhas com acoplamento mútuo.

VII. LINHAS COM COMPRIMENTOS DIFERENTES

Em sistemas de potência, uma linha de transmissão longa pode chegar num barramento com uma linha curta saindo da mesma barra. Quando este cenário ocorre, torna-se difícil coordenar os elementos sobrealcance tanto no esquema escalonado como também num esquema de teleproteção.

Neste exemplo a seguir, a mesma zona 2 é utilizada em ambos esquemas (isto é, temporizada num esquema escalonado e como zona de sobrealcance num esquema de teleproteção). Se o ajuste é feito para fornecer disparo pela teleproteção o mais rápido possível, então a proteção do terminal local pode sobrealcançar a zona de subalcance instantânea da linha remota, conforme ilustrado nas figuras 13 e 14. A referência [3] sugere que o mínimo ajuste para a zona de sobrealcance do esquema escalonado para cobrir a sua linha inteira seja de 1,18 vezes a impedância da linha; entretanto, este ajuste, embora possa fornecer cobertura apropriada para o esquema escalonado pode não fornecer disparo com tempo mais rápido para o esquema de teleproteção.

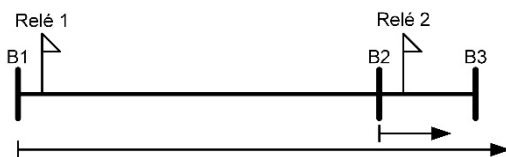


Figura 13. Linha longa com linha curta adjacente

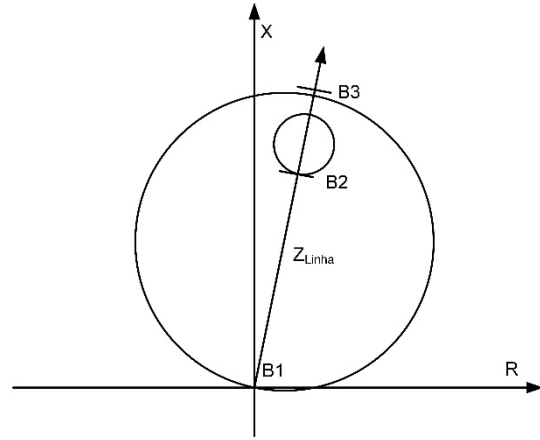


Figura 14. Perda de coordenação entre Zonas de sobrealcance local e remota temporizada

Consegue-se uma boa solução para esta situação através duas ações: 1) ajustar uma zona de distância dedicada exclusivamente como elemento de retaguarda num esquema escalonado com alcance e temporização apropriados para cobrir toda a linha e manter a coordenação e 2) aplicar uma zona de alta velocidade dedicada exclusivamente como elemento de sobrealcance num esquema de teleproteção usando um ajuste otimizado. Assim, pode-se achar o melhor dos dois esquemas no qual um tempo de eliminação de falta mais rápido pode ser obtido com esquema de teleproteção, conforme mostrado na figura 15.

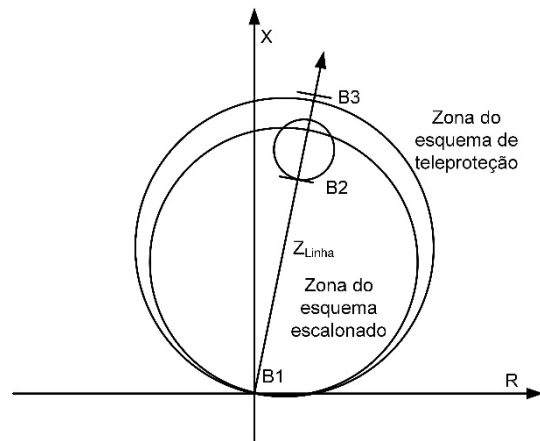


Figura 15. Mantendo a coordenação com elementos de distância independentes para esquema de teleproteção e esquema de distância escalonado

VIII. LINHAS MULTITERMINAIS

Linhas de transmissão multiterminais possuem três ou mais terminais. Em alguns casos, estas linhas de transmissão possuem fontes de sequência positiva conectadas em todos terminais, conforme mostrado na figura 16.

Linhas multiterminais apresentam desafios adicionais quando comparadas com linhas de transmissão de dois terminais. Diversos cenários em termos de geração conectadas aos terminais causam significativas alterações nos níveis de correntes de falta e, conseqüentemente, na impedância aparente medida pelos relés de distância.

Por exemplo, considerem um curto-circuito franco trifásico no ponto V_Y no sistema mostrado na figura 16. A impedância aparente Z_{XApp} medida pelo relé X pode ser expressa pela equação (5).

$$Z_{XApp} = \frac{V_X}{I_X} = Z_X + Z_Y \frac{I_X + I_Z}{I_X} \quad (5)$$

onde:

V_X é a tensão no terminal X.

I_X é a corrente medida pelo relé X.

I_Z é a corrente medida pelo relé Z.

Z_X é a impedância de sequência positiva da seção X da linha.

Z_Y é a impedância de sequência positiva da seção Y da linha.

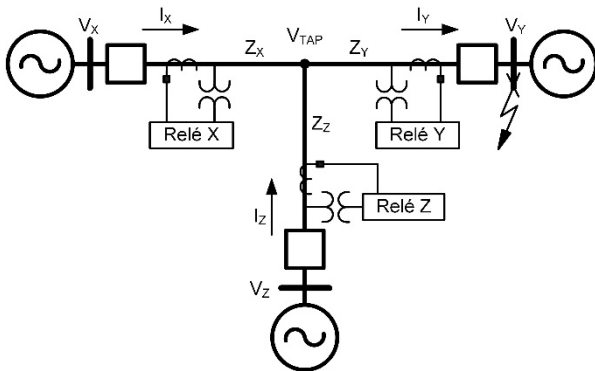


Figura 16. Linha de Transmissão de três terminais

A equação (5) mostra que Z_{XApp} pode ser muito maior que $Z_X + Z_Y$ se I_X e I_Z estiverem fluindo da barra para a linha (condição de *infeed*). Se I_Z flui da linha para a barra, oposto a I_X , a impedância aparente vista pelo relé X é menor do que $Z_X + Z_Y$ (condição de *outfeed*). Se o terminal Z estiver aberto (i.e., I_Z é igual a zero), não há efeito *infeed* e nem *outfeed* e a impedância aparente vista pelo relé X é $Z_X + Z_Y$. Engenheiros de proteção devem considerar todos possíveis cenários para definição de ajustes de elementos de distância, fato que muito provavelmente irá resultar em requisitos contraditórios.

Se o elemento de zona 2 fizer parte do esquema de teleproteção, ele deverá ser ajustado para detectar faltas em todos segmentos da linha protegida considerando o efeito *infeed* do terceiro terminal [5] [11]. Esse requisito leva a um ajuste muito extenso para a zona 2 e poderá trazer problemas adicionais se o mesmo elemento de zona 2 for usado num esquema escalonado. Devido ao fato de o efeito *infeed* variar muito significativamente com geração conectada a cada terminal, o alcance real do elemento de zona 2 varia significativamente. Quando o efeito *infeed* não está presente, o elemento de zona 2 pode alcançar além do elemento de zona 1 da linha adjacente, causando uma descoordenação entre os elementos de zona 2 das diferentes linhas. Além disto, a proteção de distância não pode impor restrições ao carregamento da linha de transmissão, portanto um ajuste muito extenso num esquema escalonado não é muito prático.

Devido a limitações impostas quando o elemento de zona 2 é usado no esquema escalonado e há um efeito *infeed* numa

linha de transmissão de três terminais, é comum verificar existência de disparo sequencial neste tipo de configuração de sistema elétrico de potência [5]. Um dos propósitos em aplicar teleproteção é de se evitar disparo sequencial e fornecer um rápido tempo de eliminação de faltas em todos os trechos da linha de transmissão, garantindo uma operação do sistema de potência de forma mais segura e mais confiável [4].

No caso dos esquemas POTT e DCUB, o efeito *infeed* numa linha de três terminais pode impedir o funcionamento adequado do esquema. Tendo um elemento de sobrealcance dedicado para o esquema de teleproteção, permite um ajuste otimizado sem as restrições que possam existir no esquema escalonado. Este elemento dedicado pode ser ajustado para detectar faltas em qualquer seção da linha protegida, considerando o pior caso de efeito *infeed*. Devido ao fato de coordenação com elementos de zonas de linhas adjacentes não ser um problema para esquemas de teleproteção, o alcance para a zona dedicada pode ser facilmente baseado na maior impedância aparente para faltas no terminal remoto [5]. Esta abordagem garante um tempo de eliminação de faltas para os esquemas de teleproteção de forma rápida, segura e confiável.

Um relé de proteção de linhas de transmissão com múltiplas zonas fornece proteção otimizada para linhas de transmissão multiterminais através da utilização de zonas dedicadas para esquemas de teleproteção.

IX. LINHAS COM COMPENSAÇÃO SÉRIE

Linhas com compensação série são amplamente aplicadas em sistemas de transmissão de extra-alta-tensão (EHV) devido aos requisitos de licenças ambientais e restrições operacionais. Esta prática permite o aumento da transferência de potência usando o mesmo número de linhas de transmissão, e assim fazendo uma melhor utilização das linhas de transmissão e faixas de servidão existentes.

O princípio da aplicação de compensação série em linhas de transmissão em sistemas de potência é a redução da reatância total da linha, pois o banco de capacitores introduz uma reatância negativa (capacitiva) em série com a reatância da linha (indutiva). Este efeito melhora a estabilidade do sistema de potência e aumenta a capacidade de carregamento, ou capacidade de transferência de potência do corredor de transmissão.

Pelo visto em [12], os principais benefícios de se aplicar capacitores série em sistemas de transmissão são:

- Regulação de tensão em regime permanente e um aumento do limite de colapso de tensão.
- Maior capacidade de transferência de potência ao elevar limite de estabilidade transitória.
- Melhor equilíbrio de energia reativa.
- Maior capacidade de transferência de potência.
- Compartilhamento de carga ativa entre circuitos paralelos e redução de perdas.
- Redução dos custos de transmissão de energia, devido a redução de investimentos em novas linhas de transmissão.

Engenheiros de proteção sempre enfrentam desafios na definição, configuração e validação de esquemas de proteção

para linhas com compensação série. A validação geralmente envolve testes de transitórios nos relés usando simuladores digitais em tempo real. Ao aplicar todos recursos de proteção e comunicação disponíveis dos modernos relés digitais, pode-se implementar esquemas de proteção, controle e monitoramento seguros e confiáveis para linhas com compensação série, tornando a compensação série ainda mais atraente para as concessionárias.

A aplicação de compensação série tipicamente ocorre em sistemas de transmissão no nível de extra-alta-tensão (EHV), geralmente grandes corredores de transmissão. Nestes sistemas, um esquema de proteção de alta velocidade é um requisito natural devido ao grande montante de energia sendo transportado e a necessidade de manter estabilidade durante distúrbios. Por esta razão, é importante garantir o tempo de disparo mais rápido possível através de esquemas de teleproteção.

Bancos de capacitores podem ser protegidos por varistores de óxido metálico (MOVs) em paralelo com os capacitores. Quando a resistência do MOV se altera, a capacitância efetiva do capacitor série começa a diminuir. A referência [13] mostra que a combinação paralela de um capacitor e um MOV é equivalente a uma combinação em série do resistor (R_C) e a reatância capacitiva (X_{C_C}). A figura 17 mostra o circuito equivalente de tal sistema.

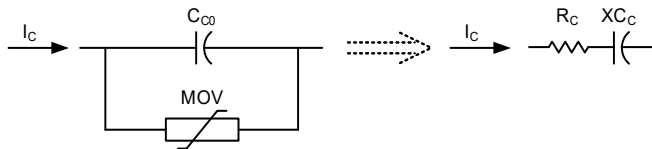


Figura 17. Capacitor com MOV e o circuito equivalente de impedâncias em série

Os valores de R_C e X_{C_C} dependem da corrente passando no capacitor série. A figura 18 mostra um gráfico de R_C e X_{C_C} versus a corrente. A variação de R_C e X_{C_C} é motivo de preocupação para determinar a localização de faltas para proteções de distância, pois a corrente pode variar como um resultado das mudanças na impedância da fonte ou resistência de falta [14].

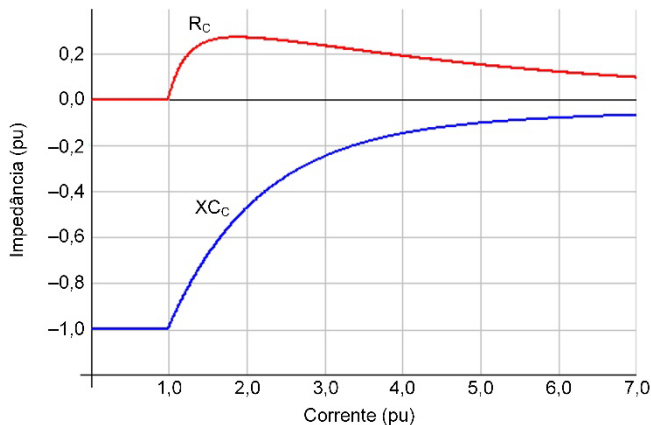


Figura 18. Variação de R_C e X_{C_C} versus a corrente no circuito de impedâncias em série

A compensação série introduz oscilações em correntes e tensões de frequências menores que a frequência nominal do sistema (i.e., oscilações subharmônicas de frequência). Tais oscilações podem causar um aumento mais lento da corrente de falta, quando comparado com um sistema sem compensação [12]. As oscilações subharmônicas de frequência tem um impacto significativo na velocidade da proteção de distância porque podem causar sobrealcançe, que momentaneamente leva ao *dropout* (como mostrado na figura 19), resultando num tempo de disparo maior do que o esperado para um esquema de teleproteção [15].

Tipicamente, por causa das frequências subharmônicas em linhas de transmissão com compensação série, o elemento de zona 1 é reduzido de forma a evitar sobrealcançe para faltas externas. Estas mesmas frequências subharmônicas também podem causar um *dropout* momentâneo no elemento de zona 2 em sobrealcançe, caso a impedância medida oscile acima do ponto limiar de ajuste. Este *dropout* momentâneo pode corresponder ao tempo quando o relé recebe um sinal permissivo do terminal remoto, e assim retardando o tempo de eliminação de falta até que a impedância medida retorne abaixo do ponto limiar de ajuste novamente. Pela mesma razão que o ajuste da zona 1 é reduzido, o ajuste da zona 2 deveria ser aumentado para evitar a ocorrência desta situação de *dropout* momentâneo.

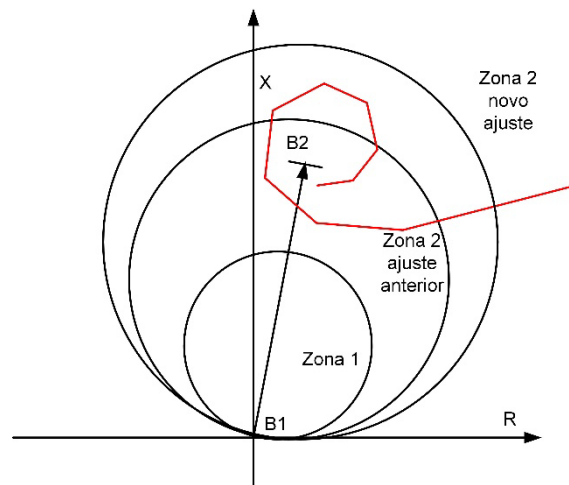


Figura 19. Medida de impedância do elemento de distância devido a frequências subharmônicas

A referência [15] recomenda aumentar o ajuste da zona de sobrealcançe utilizada no esquema de teleproteção de forma a acomodar as oscilações de frequências subharmônicas. Assim sendo, é aceitável, por exemplo, uma zona 2 dedicada para o esquema de teleproteção com alcance de 200 a 300% e zona 4 e zona 5 dedicadas para o esquema escalonado. Esta recomendação pode facilmente ser aplicada num relé com múltiplas zonas. O ajuste para um elemento de sobrealcançe pode ser grande o suficiente para fornecer uma cobertura otimizada para faltas na linha com compensação série sem comprometer a segurança.

X. EFEITOS DE TRANSITÓRIOS DE TPC EM PRIMEIRA ZONA E SOLUÇÕES

Transformadores de potencial com acoplamento capacitivo (TPCs) são amplamente utilizados em sistemas de potência de alta tensão devido a razões econômicas [16]. O circuito básico de um TPC é mostrado na figura 20 e na referência [3]. A tensão da linha é medida através um divisor de tensão formado pelos capacitores C1 e C2, reduzindo a tensão da linha para aproximadamente 15 kV. Esta tensão é aplicada num transformador abaixador através de um reator de sintonia. O transformador abaixador adicionalmente reduz a tensão para níveis de carga nominais de relés de $115/\sqrt{3}$ V.

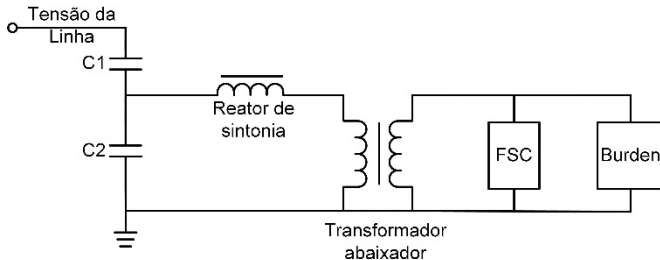


Fig. 20. Circuito básico de um TPC

Conectado em paralelo com o secundário do transformador há um circuito supressor de ferroressonância (FSC). O FSC é necessário para mitigar a ressonância que pode resultar devido a interação da capacitância da fonte e a indutância de magnetização do transformador abaixador e reator de sintonia.

Os TPCs possuem uma resposta transitória que normalmente dura menos de 1,5 ciclos quando uma falta ocorre na linha de transmissão. Muitos fatores afetam a severidade dos transitórios de um TPC, incluindo os seguintes [16]:

- Ponto na onda de tensão onde a falta ocorreu (ângulo de incidência da falta).
- Magnitude da capacitância (valores de C1 e C2).
- Projeto do FSC (ativo ou passivo).
- Composição da carga conectada ao TPC.
- Relação de espiras do transformador abaixador.
- Corrente de excitação do transformador intermediário.

TPCs com alta capacitância e com FSCs passivos fornecem uma melhor resposta transitória durante uma falta. Cargas resistivas de pequeno valor, como encontrada em modernos relés digitais, também melhoram a resposta transitória de TPC. Uma falta ocorrendo no ponto do cruzamento da tensão pelo zero produz transitórios mais acentuados e severos.

Em aplicações com alto valor para a relação fonte-impedância (SIR), o afundamento na magnitude de tensão causada por uma falta na linha de transmissão é muito significativa, o que conduz a transitórios no TPC mais severos. Mesmo aplicações com TPs indutivos podem levar a problemas com alto valor de SIR [17].

Transitórios no TPC afetam a tensão medida por relés digitais, no qual o efeito é uma redução da componente fundamental da tensão de falta. Os transientes no TPC, embora com duração inferior a 1,5 ciclos, podem fazer com que o algoritmo de distância calcule uma impedância menor do que a impedância real até a falta [16]. Transitórios no CCVT fazem

com que os elementos de distância sobrealcancem, causando preocupações de segurança para aplicações do elemento de zona 1, que pode vir a operar para faltas externas.

A figura 21 mostra o máximo ajuste permitido para o alcance da zona 1, considerando somente o efeito de transitórios em TPC para diferentes valores de SIR e para falta ocorrendo quando a tensão passa pelo ponto zero [18]. O alcance da zona 1 deve ser definido levando-se outros fatores em consideração também.

A referência [16] indica que em aplicações onde o SIR é maior do que 4, algumas medidas são necessárias para mitigar a falsa operação devido ao sobrealcançe da zona 1 causado por transitórios em TPC. Algumas possíveis ações para evitar falsas atuações são reduzir o ajuste do elemento de zona 1, retardar o elemento da zona 1 em 1,5 ciclos ou mesmo desabilitar o elemento de zona 1.

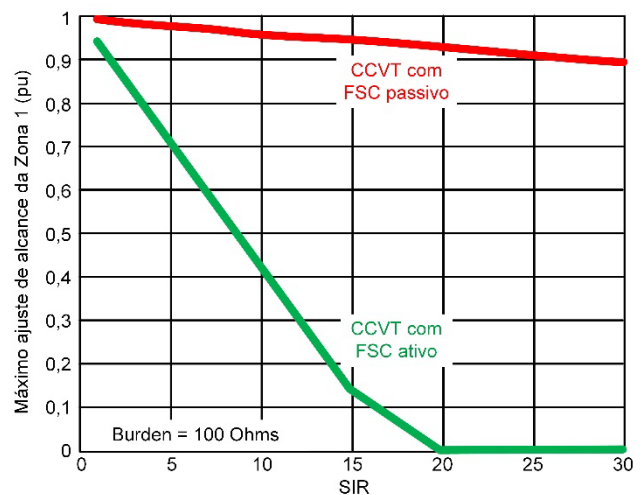


Figura 21. Limites do ajuste de alcance para a zona 1

Entretanto, para relés de distância com cinco zonas de proteção, uma outra estratégia de mitigação pode ser facilmente implementada. A solução consiste em dividir a cobertura da zona instantânea (geralmente 80% do comprimento da linha) em duas seções (ver figura 22). Uma seção é coberta pelo típico elemento instantâneo com um ajuste reduzido e a seção remanescente é coberta por uma zona adicional (zona 5, por exemplo) com um retardo de tempo de 1,5 ciclos. Esta abordagem garante disparo em alta velocidade para faltas sólidas próximas ao terminal e evita falsas atuações para faltas externas devido a sobrealcançe causadas pelos transitórios em TPC.

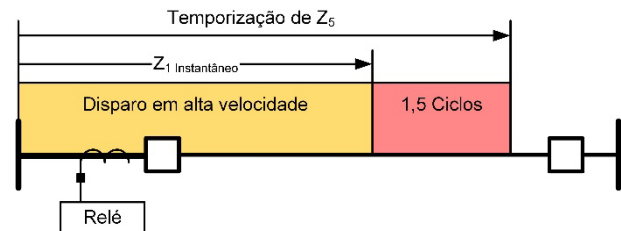


Figura 22. Dividindo a cobertura convencional da zona 1 em duas seções

Alguns modernos relés de distância possuem a opção de habilitar uma lógica de detecção de transitórios em TPC, que é

capaz de detectar os transitórios e dinamicamente retardar o elemento da zona 1 em até 1,5 ciclos [16].

XI. DIRETRIZES GERAIS PARA A APLICAÇÃO DE CINCO ZONAS

Para fornecer algumas diretrizes gerais, os seguintes exemplos de aplicação apresentam resumidamente três diferentes abordagens para usar cinco zonas de distância. Os três exemplos utilizam um relé de proteção que possui três elementos de distância de alta velocidade (zona 1, zona 2 e zona 3) usadas como zonas instantâneas no esquema escalonado e de teleproteção. As zonas remanescentes (zona 4 e zona 5) são elementos de distância convencionais e por esta razão utilizadas no esquema escalonado com temporização.

O primeiro exemplo, mostrado na figura 23, utiliza a zona 5 no esquema escalonado como retaguarda no sentido direito, conforme a seguir:

- Zona 1 ajustada em 80%.
- Zona 2 ajustada em 200% ou mais, sentido à frente, dedicada ao esquema de teleproteção somente.
- Zona 3 ajustada em 200% ou mais, sentido reverso, dedicada ao esquema de teleproteção somente.
- Zona 4 ajustada entre 118% a 150% para cobrir, como retaguarda, o final da linha no esquema escalonado.
- Zona 5 com ajuste de acordo com os requisitos de retaguarda remota no sentido à frente num esquema de distância escalonado.

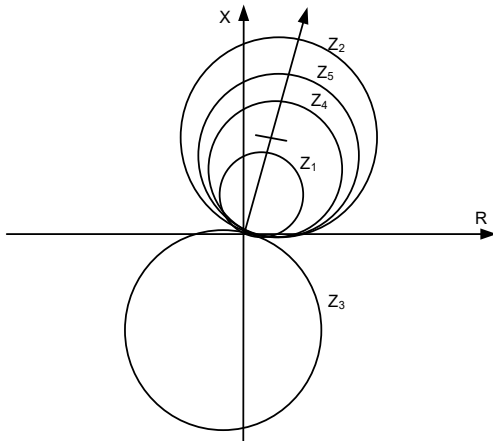


Figura 23. Exemplo de aplicação de cinco zonas de distância com a zona 5 como a zona de retaguarda no esquema de distância escalonado

O segundo exemplo de aplicação, mostrado na figura 24, utiliza a zona 5 no esquema de distância escalonado, atuando como retaguarda no sentido reverso, conforme abaixo:

- Zona 1 ajustada em 80%.
- Zona 2 ajustada em 200% ou mais, sentido à frente, dedicada ao esquema de teleproteção somente.
- Zona 3 ajustada em 200% ou mais, sentido reverso, dedicada ao esquema de teleproteção somente.
- Zona 4 ajustada entre 118% e 150% para cobrir, como retaguarda, o final da linha no esquema de distância escalonado.
- Zona 5 ajustada de acordo com os requisitos de retaguarda remota no sentido reverso num esquema de distância escalonado.

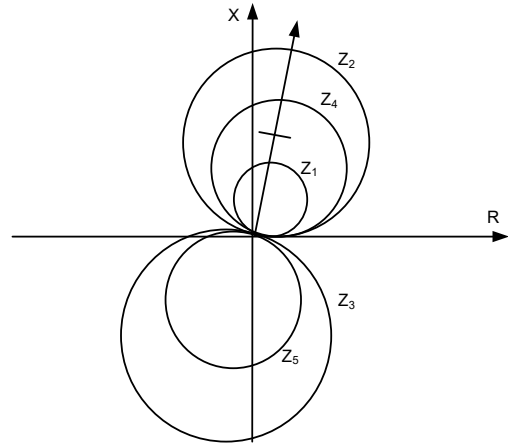


Figura 24. Exemplo de aplicação de cinco zonas de distância com a zona 5 como zona de retaguarda reversa no esquema de distância escalonado

O terceiro exemplo, mostrado na figura 25, utiliza a zona 5 como zona 1 estendida com um retardo de tempo, conforme abaixo:

- Zona 1 ajustada de acordo com o máximo valor de SIR.
- Zona 2 ajustada em 200% ou mais, no sentido à frente, dedicada ao esquema de teleproteção somente.
- Zona 3 ajustada em 200% ou mais, no sentido reverso, dedicada ao esquema de teleproteção somente.
- Zona 4 ajustada entre 118% e 150% para cobrir, como retaguarda, o final da linha no esquema escalonado.
- Zona 5 ajustada em 80% com retardo de 1,5 ciclos.

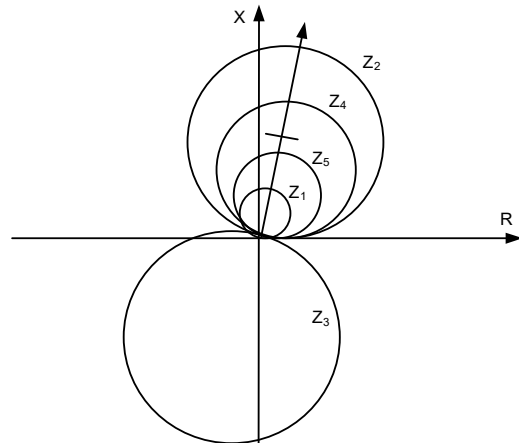


Figura 25. Exemplo de aplicação de cinco zonas de distância usando a zona 5 como zona de subalcançe temporizada

XII. CONCLUSÃO

Um esquema de teleproteção tem objetivo de não somente oferecer cobertura para toda a linha, mas também para eliminar faltas o mais rápido possível. Para conseguir isto, devem ser escolhidos ajustes adequados para as zonas de distância. Para várias aplicações, a utilização de um elemento de sobrealcançe comum para o esquema escalonado e para o esquema de teleproteção tem a possibilidade de encontrar dois requisitos diferentes e contraditórios, criando um difícil enigma para um engenheiro de proteção resolver.

Felizmente os modernos relés digitais fornecem uma série de inovações e características adicionais que os engenheiros de proteção podem aplicar para resolver este enigma. Dentre estas características, o aumento do número de zonas pode ajudar a aumentar o desempenho, segurança e confiabilidade da proteção da linha e do sistema de potência, através da aplicação de zonas independentes e dedicadas tanto para o esquema escalonado coordenado como para esquemas de teleproteção. Situações desafiadoras, tais como acoplamento mútuo, compensação série, linhas longas com linhas curtas adjacentes, saturação de TC's, linhas multiterminais e transitórios em TPC podem ser enfrentadas com as soluções e ajustes propostos para as zonas de sobrealcance usadas nos esquemas de teleproteção apresentadas neste artigo.

XIII. REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Power Systems Relaying & Control Committee, "Application of Overreaching Distance Relays." Available: http://www.pes-psrc.org/old/Reports/Apublications_new_format.htm.
- [2] A. Guzmán, J. Mooney, G. Benmouyal, N. Fischer, and B. Kasztenny, "Transmission Line Protection System for Increasing Power System Requirements," proceedings of the 55th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2002.
- [3] S. R. Chano, J. Afonso, A. Menon, S. Sofroniou, and D. Tziouvaras, "Modern Techniques for Protecting and Monitoring Transmission Lines," *e-CIGRE*, June 2011. Available: https://e-cigre.org/publication/ELT_256_8-modern-techniques-for-protecting-and-monitoring-of-transmission-lines.
- [4] CIGRE Joint Working Group 34/35.11, "Protection Using Telecommunications," *e-CIGRE*, 2001. Available: <https://e-cigre.org/publication/192-protection-using-telecommunications>.
- [5] IEEE Standard C37.113-2015, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines.
- [6] G. Benmouyal, J. Roberts, and S. E. Zocholl, "Selecting CTs to Optimize Relay Performance," proceedings of the 50th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 1997.
- [7] J. Mooney, "Distance Element Performance Under Conditions of CT Saturation," proceedings of the 61st Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2008.
- [8] G. Alexander, K. Zimmerman, M. Thompson, and J. Mooney, "Setting the SEL-421 Relay With Subcycle Elements in a Directional Comparison Blocking Scheme," SEL Application Guide (AG2007-10), 2009. Available: <https://selinc.com>.
- [9] D. A. Tziouvaras, H. J. Altuve, and F. Calero, "Protecting Mutually Coupled Transmission Lines: Challenges and Solutions," proceedings of the 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, March 2014.
- [10] F. Calero, "Mutual Impedance in Parallel Lines – Protective Relaying and Fault Location Considerations," proceedings of the 34th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2007.
- [11] G. E. Alexander, "Applying the SEL-311C Relay on Three-Terminal Lines," SEL Application Guide (AG2000-12), 2017. Available: <https://selinc.com>.
- [12] CIGRE Working Group B5.10, "Protection, Control and Monitoring of Series Compensated Networks," *e-CIGRE*, 2010. Available: <https://e-cigre.org/publication/411-protection-control-and-monitoring-of-series-compensated-networks>.
- [13] D. L. Goldsworthy, "A Linearized Model for Mov-Protected Series Capacitors," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 2, Issue 4, November 1987, pp. 953–957.
- [14] E. Bakie, C. Westhoff, N. Fischer, and J. Bell, "Voltage and Current Inversion Challenges When Protecting Series-Compensated Lines – A Case Study," 69th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2016.
- [15] H. J. Altuve, J. B. Mooney, and G. E. Alexander, "Advances in Series-Compensated Line Protection," proceedings of the 62nd Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, March 2009.
- [16] D. Costello and K. Zimmerman, "CVT Transients Revisited – Distance, Directional Overcurrent, and Communications-Assisted Tripping Concerns," proceedings of the 65th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2012.
- [17] M. J. Thompson and A. Somani, "A Tutorial on Calculating Source Impedance Ratios for Determining Line Length," proceedings of the 68th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, March 2015.
- [18] D. Hou and J. Roberts, "Capacitive Voltage Transformers: Transient Overreach Concerns and Solutions for Distance Relaying," proceedings of the 49th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 1996.

XIV. BIOGRAFIAS

Ricardo Abboud recebeu grau de bacharel em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, em 1992. Em 1993, iniciou atividades profissionais na CPFL Energia como engenheiro de proteção. Em 2000, foi para a Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) como engenheiro de aplicação no Brasil, fornecendo suporte para clientes em relação a proteção e automação de subestações. Em 2005, tornou-se Gerente de Engenharia e em 2014 tornou-se Gerente de Engenharia e Serviços. Em 2016, ele se transferiu para Pullman, Washington e atualmente atua como Gerente Técnico Internacional. É certificado como instrutor da Universidade SEL e é autor e co-autor de vários artigos técnicos.

Jordan Bell recebeu seu bacharelado em engenharia elétrica pela Washington State University em 2006. Iniciou atividades profissionais na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) em 2008 como engenheiro de proteção no grupo de Engenharia e Serviços. Trabalha com análise de oscilografias, ajustes e estudos de coordenação de relés de proteção, estudos de curto-circuito e ensaios de modelo de sistemas de potência utilizando simulador em tempo real. Ele é certificado como engenheiro no estado de Washington e membro do IEEE.

Brian Smyth recebeu o grau de bacharel e de mestre em engenharia elétrica pela Montana Tech na University of Montana em 2006 e 2008, respectivamente. Atuou como professor visitante na Montana Tech em 2008 e lecionou aulas em circuitos elétricos, máquinas elétricas, instrumentação e controle e análise de sistemas de potência. Em 2009 foi para a Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) como engenheiro trainee de sistemas de potência na divisão de pesquisa e desenvolvimento. Atualmente é engenheiro líder de desenvolvimento no departamento de transmissão. Além de trabalhar na SEL, Brian também passou a atuar como professor adjunto na Montana Tech da University of Montana a partir de 2014, onde leciona cursos em proteção de sistemas elétricos. Recebeu o prêmio Distinguished Alumni da Montana Tech em 2016 e do IEEE Southwest Montana Chapter Engineer of the Year em 2017. É membro ativo do IEEE e certificado como engenheiro no estado de Washington.