



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GPC/10  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

## **GRUPO - V**

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

#### **BLOQUEIO POR OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA SEM PARAMETROS DO SISTEMA “ZERO-SETTING PSB”**

**Gabriel(\*)**

**Benmouyal Daqing Hou  
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc**

**Demetrios Tziouvaras**

## **RESUMO**

Este artigo descreve um método de proteção de bloqueio por oscilação de potência com zero ajustes que é independente dos parâmetros do sistema e baseado no monitoramento da taxa de variação da tensão no centro da oscilação na linha. O novo método não requer quaisquer estudos de estabilidade ou ajustes do usuário para efetuar o bloqueio correto dos elementos do relé que são propensos a operar durante oscilações de potência estáveis ou instáveis. O método é aplicável a linhas de transmissão longas, pesadamente carregadas, que apresentam problemas significativos na aplicação dos elementos de bloqueio por oscilação de potência baseados em métodos tradicionais.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Oscilação de Potência, Blinders, Out-of-Step

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Oscilações de potência são variações no fluxo de potência que ocorrem quando as tensões internas dos geradores de diferentes locais do sistema de potência escorregam umas em relação às outras. A mudança no fluxo de potência que ocorre após a eliminação de uma falta no sistema é uma forma de oscilação de potência. As oscilações de potência podem fazer com que a impedância apresentada a um relé de distância caia dentro de suas características de operação, longe da condição de carga do estado de regime preexistente, causando a abertura indesejada de uma linha de transmissão. Os relés de distância não devem dar trip durante oscilações de potência para que o sistema de potência possa obter um novo equilíbrio e retornar a uma condição estável. Por outro lado, as concessionárias designam certos pontos do sistema como pontos de separação e aplicam esquemas OST para separar áreas do sistema durante oscilações de potência instáveis ou condições de perda de sincronismo (“out-of-step” – OOS).

A filosofia da proteção de oscilação de potência é simples e direta: evitar a abertura de qualquer elemento do sistema de potência durante oscilações de potência estáveis; proteger o sistema de potência durante oscilações de potência instáveis ou condições OOS. Tradicionalmente, dois tipos de funções básicas estão disponíveis para lidar com a detecção de oscilação de potência e separação do sistema durante oscilações de potência instáveis ou condições OOS. A função PSB é projetada para detectar oscilações de potência, diferenciar oscilações de potência de faltas e bloquear os elementos do relé de distância para que não emitam um comando de trip durante as oscilações de potência. A função PSB impede que os elementos do sistema atuem e emitam um sinal de trip ao acaso e para uma diferença indesejada do ângulo de fase da tensão da fonte entre os sistemas que estão no processo de perder o sincronismo um com o outro.

Quando duas áreas de um sistema de potência, ou dois sistemas interligados, perdem o sincronismo, as áreas têm que ser separadas umas das outras, rápida e automaticamente, para evitar danos aos equipamentos e desligamento de partes importantes do sistema de potência. A função OST executa esta separação. O principal

objetivo da função OST consiste em diferenciar as oscilações de potência estáveis das instáveis e iniciar a separação das áreas do sistema nos locais apropriados para uma diferença apropriada do ângulo de fase da tensão da fonte entre os sistemas. Idealmente, os sistemas devem ser separados em determinados locais de forma a manter um equilíbrio carga-geração em cada uma das áreas separadas. A separação do sistema nem sempre atinge o equilíbrio carga-geração desejado. Nos casos em que a carga da área separada está acima da geração local, é necessário aplicar algum tipo de esquema de rejeição de cargas não essenciais para evitar um blackout total da área. O desligamento descontrolado dos disjuntores durante uma condição OOS pode causar danos aos equipamentos, representando uma preocupação de segurança para as equipes da concessionária. Portanto, um desligamento controlado de determinados elementos do sistema de potência é necessário para evitar danos aos equipamentos e interrupções de energia de forma generalizada, bem como para minimizar os efeitos da perturbação.

A diferença na taxa de variação do vetor impedância tem sido utilizada tradicionalmente para detectar uma oscilação de potência estável ou uma condição OOS e bloquear a operação dos elementos de proteção de distância antes que a impedância entre nas características de operação do relé de proteção. Este método de detecção é baseado no fato de que leva certo tempo para que o ângulo do rotor avance devido às inércias do sistema. Em outras palavras, a taxa de variação do vetor impedância é lenta durante oscilações de potência estáveis ou instáveis, porque leva um tempo finito para que os rotores dos geradores alterem a posição uns em relação aos outros devido às respectivas inércias elevadas. Ao contrário, a taxa de variação do vetor impedância é muito rápida durante uma falta no sistema. A implementação real da medição da taxa de variação da impedância é normalmente efetuada através de dois elementos de medição da impedância juntamente com um dispositivo de temporização. Se a impedância medida permanecer entre os dois elementos de medição da impedância por um tempo predeterminado, o relé declara uma condição de bloqueio por oscilação de potência e emite um sinal de bloqueio por oscilação de potência para bloquear a operação dos elementos do relé de distância..

## 2.0 - ESQUEMAS PSB BASEADOS EM BLINDERS CONVENCIONAIS

Os esquemas PSB convencionais são baseados principalmente na medição da impedância de sequência-positiva na localização do relé. Durante condições normais de operação do sistema, a impedância medida é a impedância de carga, e seu lugar geométrico está longe das características de proteção do relé de distância. Quando ocorre uma falta, a impedância medida move-se imediatamente do local da impedância de carga para o local que representa a falta no plano de impedâncias. Durante uma falta no sistema, a taxa de variação da impedância é determinada principalmente pelo montante da filtragem do sinal do relé. Durante uma oscilação no sistema, a impedância medida move-se lentamente no plano de impedâncias, e a taxa de variação da impedância é determinada pela frequência de escorregamento de um sistema equivalente de duas fontes. Os esquemas PSB convencionais usam a diferença entre a taxa de variação da impedância durante uma falta e durante uma oscilação de potência para diferenciar entre uma falta e uma oscilação. Para executar esta diferenciação, o esquema usa tipicamente duas características de impedâncias concêntricas, separadas pela impedância  $\Delta Z$ , no plano de impedâncias, usando um temporizador para verificar o tempo de percurso do lugar geométrico da impedância durante sua trajetória entre elas. Se a impedância medida cruzar as características concêntricas antes de o temporizador expirar, o relé declara o evento como uma falta no sistema. Caso contrário, se o temporizador expirar antes que a impedância cruze ambas as características das impedâncias, o relé classifica o evento como uma oscilação de potência.

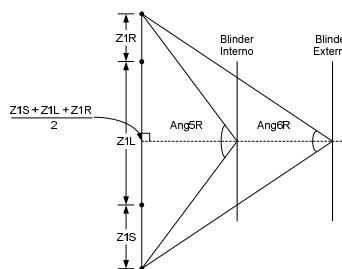


Figura 1 Ângulos da Máquina de Duas Fontes Equivalente Durante OOS

Em um sistema de potência complexo, é muito difícil obter os valores corretos da impedância da fonte, conforme mostrado na Figura 1, os quais são necessários para definir os ajustes do temporizador OSBD e blinders. As impedâncias da fonte variam constantemente de acordo com mudanças no sistema, tais como, por exemplo, adição de nova geração e outros elementos do sistema. As impedâncias da fonte podem também mudar drasticamente durante uma perturbação de grande porte e quando houver solicitação para que as funções PSB e OST executem ações apropriadas. Observe que a concepção da função PSB seria simples se as impedâncias da fonte permanecessem constantes e se fosse fácil obtê-las. Normalmente, estudos de estabilidade do sistema muito detalhados são necessários para considerar todas as condições de contingências na determinação de uma impedância da fonte equivalente mais adequada para configurar a função PSB convencional.

Além de precisar de estudos detalhados do sistema e parâmetros detalhados da fonte, pode também haver dificuldades para uma linha longa com cargas pesadas, onde a região de carga está próxima do elemento de distância que precisa ser bloqueado numa condição de oscilação. Nesta condição, o espaçamento entre os blinders interno e externo pode ser pequeno o suficiente para causar um erro de temporização significativo para uma oscilação de potência. Se a região de carga invadir o elemento de distância que se quer bloquear durante oscilações, então é impossível colocar as características do PSB entre as regiões de carga e distância, e a função de bloqueio PSB convencional não pode ser aplicada.

### 3.0 - UM DETECTOR DE OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA BASEADO NA TAXA DE VARIAÇÃO DA TENSÃO NO CENTRO DA OSCILAÇÃO DE SEQUÊNCIA-POSITIVA

#### 3.1 Lógica de Detecção do Bloqueio por Oscilação de Potência

A função de bloqueio por oscilação de potência baseia-se em três funções para detectar uma oscilação de potência. Essas funções são: o detector da inclinação ("slope") da tensão do centro da oscilação, o detector da assinatura da oscilação e o detector de PSB seguro. O diagrama de blocos da função PSB é mostrado na Figura 2.

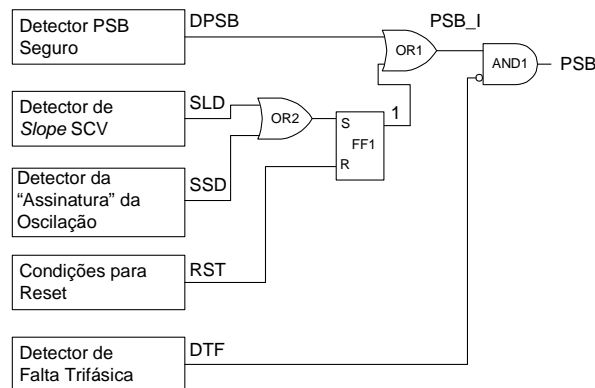


Figura 2 Lógica da Função Básica de Bloqueio por Oscilação de Potência

#### 3.2 O Detector da Assinatura da Oscilação

O detector da assinatura da oscilação ("swing signature detector" – SSD) complementa o detector da inclinação ("slope") e suplementa a lógica do PSB seguro em alguns casos. O princípio básico do detector da assinatura da oscilação é mostrado na Figura 3. Ele é baseado no fato de que se um detector de falta atuar (essencialmente elementos tipo mho) durante uma oscilação de potência, não haverá descontinuidade no sinal de SCV1 anterior à detecção porque a detecção da falta não é o resultado de uma falta real.

Para implementar este princípio, conforme mostrado na Figura 3, a lógica armazena o valor absoluto da derivada de primeira ordem, dSCV1, continuamente em uma memória buffer durante um intervalo de alguns ciclos. O valor máximo desta memória buffer é então estabelecido como dSCV1MAX. Se a falta detectada for uma falta real, este valor máximo da inclinação, dSCV1MAX, será muito alto porque houve uma descontinuidade na forma de onda de SCV1. Diversas amostras mais antigas são então comparadas a este valor máximo. Se a falta for real, todas essas amostras estarão abaixo de um valor limite variável que é proporcional ao valor da inclinação máxima. Se a falta for o resultado de uma oscilação de potência, nenhuma descontinuidade estará presente no buffer, todas as amostras antigas comparadas estarão acima do mesmo limiar variável e a saída SSD será ativada.

O detector da assinatura da oscilação é, portanto, um algoritmo que distingue entre uma oscilação de potência e uma falta real no instante que o elemento de distância mais remoto, a ser bloqueado por detecção de oscilação, atua. Em uma situação normal, observe que o detector de inclinação detectará uma oscilação de potência em primeiro lugar e, em seguida, ativará o sinal do PSB. O sinal do PSB, por sua vez, vai bloquear os detectores de falta mho, e a lógica SSD não será processada.

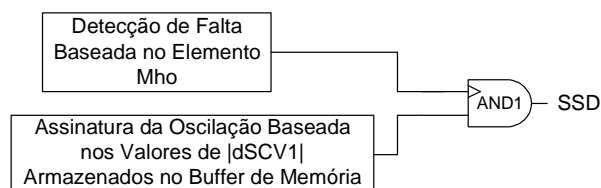


Figura 3 Princípio de Detecção da Assinatura da Oscilação

#### 3.3 A Função de Bloqueio Seguro por Oscilação de Potência

A função do PSB seguro (“dependable PSB” – DPSB) vai ativar o sinal de PSB em situações onde nem o detector de inclinação e nem o detector da assinatura da oscilação podem detectar uma oscilação de potência de forma suficientemente rápida. Isso acontecerá particularmente após uma falta externa de longa duração ter sido eliminada e o sistema entrar numa condição de oscilação de potência. A função do PSB confiável emite um sinal de PSB temporário e, após algum tempo, o detector de inclinação detecta qualquer oscilação de potência no sistema. Portanto, o objetivo do detector confiável de oscilação de potência consiste em fornecer um sinal DPSB temporário que vai ativar o bit PSB para compensar o tempo de atuação do detector de inclinação.

Um exemplo deste tipo de situação pode ocorrer após uma falta de longa duração logo atrás ou na extremidade remota de uma linha de transmissão em um sistema marginalmente estável. Conforme mostrado na Figura 4, se uma falta à frente ou reversa próxima for eliminada com um atraso significativo, existe a possibilidade de o sistema ter entrado em uma oscilação de potência. Em tais circunstâncias, a trajetória de  $Z_1$  no relé pode cruzar o detector mho de fase da Zona 1 ou Zona 2 logo após a eliminação da falta e sem a oscilação de potência ser detectada. Os elementos mho de fase do relé podem então emitir um sinal de trip como resultado da oscilação de potência e não devido a uma falta real.

Como regra geral, para uma falta externa à frente, a lógica emite um sinal DPSB se o sinal de um detector de falta permaneceu por vários ciclos, nenhuma oscilação de potência tiver sido detectada, o relé não emitiu nenhum trip, e pelo menos um dos elementos mho de fase da Zona 1 atuou. Para uma falta reversa, a lógica emite um sinal DPSB se uma oscilação de potência não tiver sido detectada, o sinal de um detector de falta permaneceu por vários ciclos e desapareceu, o relé não emitiu nenhum trip, e um elemento mho de fase da Zona 2 atuou dentro de um determinado tempo.

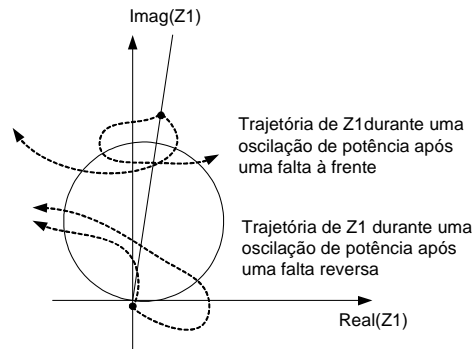


Figura 4 Tipos de Faltas Detectadas pela Função DPSB

### 3.4 O Detector de Falta Trifásica

Se ocorrer uma falta trifásica em uma linha de transmissão durante uma oscilação de potência, haverá uma descontinuidade na forma de onda de SCV1 correspondente. Esta descontinuidade pode ser monitorada quando a segunda derivada de SCV1 tiver um valor maior do que o normal. Além disso, a SCV1 terá um valor baixo e sua taxa de variação será muito pequena. Essas propriedades são consideradas no detector de falta trifásica de forma a implementar um detector muito rápido, independente da velocidade da oscilação. A Figura 5 mostra um diagrama lógico simplificado do detector de falta trifásica. As faltas trifásicas serão detectadas com um tempo mínimo e máximo de dois e cinco ciclos, respectivamente.

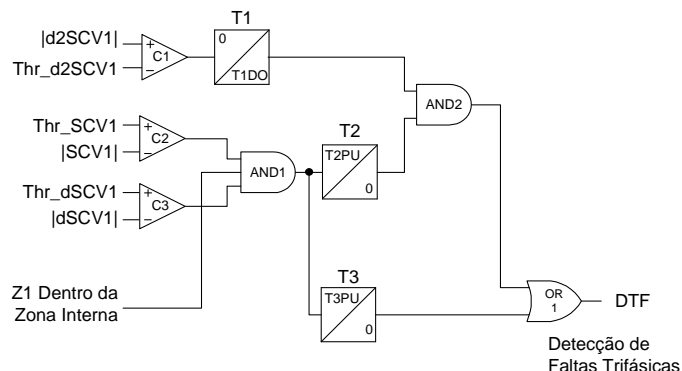


Figura 5 Lógica de Detecção de Faltas Trifásicas

### 3.5 A Lógica de Reset

Quando existem condições que permitem deduzir que a oscilação de potência desapareceu, a lógica de reset envia um sinal de reset para o flip-flop principal da Figura 2. A condição principal, indicando um desaparecimento da oscilação de potência, é a taxa de variação do sinal de SCV1 exibindo um valor muito pequeno (abaixo de  $\text{Min\_dSCV1}$ ). A lógica de reset está mostrada na Figura 6.

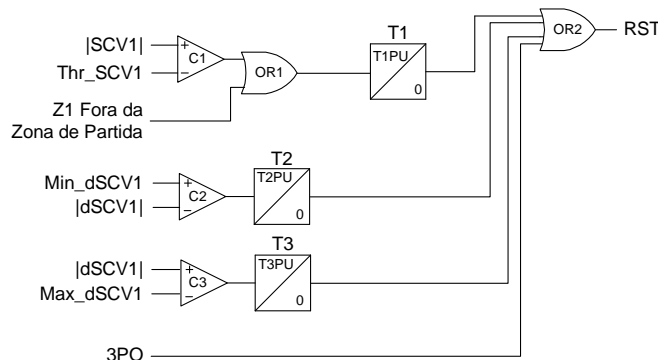


Figura 6 Lógica de Reset

### 3.6 A Zona de Partida

O objetivo da zona de partida ("starter zone") consiste em reduzir a sensibilidade do detector de oscilação de potência, permitindo que o PSB seja ativado apenas para trajetórias da impedância de sequência-positiva, Z1, que tem possibilidade de cruzar qualquer característica do elemento mho durante uma oscilação de potência.

A área coberta pela zona de partida não é, de modo algum, crítica, e é definida como um retângulo, conforme mostrado na Figura 7, cujas dimensões são definidas automaticamente de forma a incluir todas as características mho que precisam ser bloqueadas durante uma oscilação de potência. A zona de partida também vai abranger a maior característica do relé que está sendo usada pela lógica OST, se a função OST for habilitada.

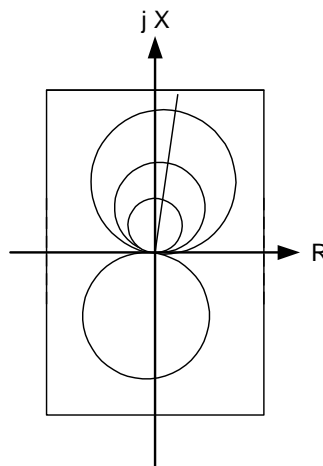


Figura 7 Zona de Partida

## 4.0 - TRIP POR PERDA DE SINCRONISMO USANDO A NOVA DETECÇÃO DE OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA

Os esquemas OST convencionais são também baseados no conceito da taxa de variação do vetor impedância medido durante uma oscilação de potência. A função OST é projetada para diferenciar entre uma oscilação de potência estável e uma instável e, se a oscilação de potência for instável, enviar um comando de trip no tempo apropriado para abrir os disjuntores da linha. Os esquemas OST tradicionais usam características de distância similares àqueles dos esquemas PSB. Os esquemas OST também usam um temporizador para medir quanto tempo leva para a impedância medida trafegar entre as duas características. Se o temporizador expirar antes que o vetor impedância medido trafegue entre as duas características, o relé classifica a oscilação de potência como uma oscilação instável e emite um sinal de trip.

Um dos aspectos mais importantes e difíceis de um esquema OST é o cálculo dos ajustes apropriados para as características OST do relé de distância e o ajuste da temporização de OST. É importante estar seguro que uma oscilação de potência estável nunca cruze a característica OST mais distante, visando evitar uma separação do sistema durante uma oscilação de potência estável da qual o sistema pode se recuperar. Para calcular os ajustes acima, é necessário efetuar estudos de estabilidade extensos e caros, e nunca se pode ter certeza de que todos os cenários possíveis do sistema tenham sido considerados. Outro aspecto difícil dos esquemas OST consiste em

determinar o instante adequado para emitir um sinal de trip para o disjuntor visando evitar danos aos equipamentos e garantir a segurança das equipes técnicas. Para proteger adequadamente os disjuntores e garantir a segurança das pessoas, a maioria das concessionárias não permite o desligamento sem controle durante uma condição de perda de sincronismo e restringe a operação dos relés OST quando o ângulo de tensão relativo entre os dois sistemas é menor que 90 e maior que 270 graus. Esta abertura é referida como "Trip-on-the-Way-Out" (TOWO). Comparada com "Trip-on-the-Way-In" (TOWI), a ser discutido abaixo, TOWO tem menor impacto sobre os disjuntores envolvidos porque a tensão de recuperação transitória que resulta da abertura em um ângulo menor entre os dois sistemas é mais favorável.

No passado, estudos de estabilidade de alguns sistemas de potência interconectados indicaram que a espera para dar trip até que o ângulo de fase relativo dos dois sistemas atingisse 270 graus pode causar instabilidade das sub-regiões dentro do sistema de cada concessionária. Portanto, TOWO não foi considerado rápido o suficiente, e novos requisitos foram impostos aos fabricantes de relés para desenvolverem esquemas OST que permitissem aos sistemas dar trip antes que um ângulo de fase relativo de 90 graus fosse alcançado. Isso é referido como TOWI. TOWI é útil em alguns sistemas para evitar afundamentos de tensão acentuados e potencial perda de cargas. TOWI é tipicamente aplicado em sistemas muito grandes, cujo movimento angular de um em relação ao outro é muito lento e onde há um perigo real de ocorrer danos térmicos às linha de transmissão se a abertura for atrasada até que haja um ângulo mais favorável entre os dois sistemas. É necessário ter cuidado em tais aplicações, uma vez que o relé emite o comando de abertura para os disjuntores quando os ângulos de fase relativos dos dois sistemas se aproximam de 180 graus e porque tais aplicações resultam em maior esforço dos disjuntores durante o trip quando comparadas às aplicações TOWO.

Todas as complexidades dos ajustes de OST discutidas anteriormente e a necessidade de estudos de estabilidade podem ser eliminadas se a função OST usar como uma de suas entradas a saída de uma função PSB robusta que garanta que o sistema está sendo submetido a uma oscilação de potência e não a uma falta. Portanto, a função OST pode ser implementada para rastrear e verificar se a trajetória da impedância medida cruza o plano complexo de impedâncias da direita para a esquerda ou da esquerda para a direita e emitir um TOWO para uma diferença desejada do ângulo de fase entre as fontes. Projetamos uma função OST para obter vantagens do bit PSB confiável, podendo ser aplicada sem necessidade de executar quaisquer estudos de estabilidade caso seja desejada a aplicação de TOWO. A função OST oferece as três opções seguintes:

1. TOWO durante o primeiro ciclo de escorregamento
2. TOWO após a ocorrência de um determinado número de ciclos de escorregamento
3. TOWI antes de terminar o primeiro ciclo de escorregamento

O esquema OST monitora e rastreia a trajetória da impedância de sequência-positiva,  $Z_1$ , à medida que ela se move no plano complexo. Quatro blinders resistivos e quatro blinders reativos são ainda usados no esquema OST, conforme mostrado na Figura 8, mas os ajustes desses blinders são fáceis de serem calculados. Os blinders resistivos de OST mais distantes podem ser colocados praticamente em qualquer lugar no plano complexo de impedâncias sem preocupação sobre se uma oscilação de potência estável atravessa esses blinders ou se a impedância de carga de uma linha longa, com cargas pesadas, invade as mesmas. Além disso, não há nenhum ajuste do temporizador de OST envolvido no novo esquema OST. Para usar a opção TOWI raramente aplicada, ainda seria necessário efetuar estudos de estabilidade para obter os ajustes adequados do relé OST.

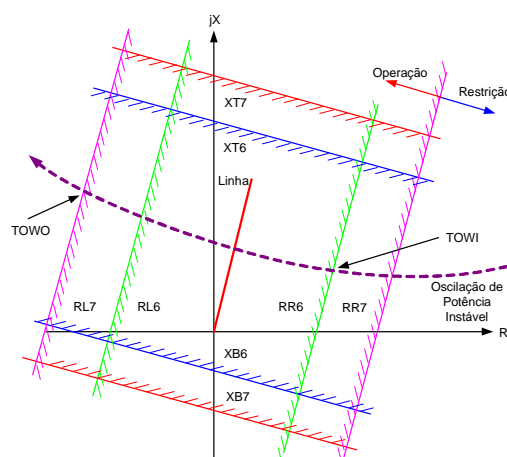


Figura 8 Características dos Blinders do Esquema OST

## 5.0 - CONCLUSÃO

Quando um sistema de potência perde sua estabilidade e entra numa condição de perda de sincronismo, o sistema de potência deve ser separado em alguns locais estratégicos para manter os subsistemas operando próximos do equilíbrio entre gerações e cargas. A função de trip por perda de sincronismo é usada para o propósito de separação. Em todos os outros locais, a função de bloqueio por oscilação de potência é necessária para evitar que os elementos de distância atuem e emitam um comando de trip durante oscilações no sistema de potência.

A função PSB convencional baseada nos esquemas com blinders é uma das funções mais difíceis de serem ajustadas. Extensos estudos de estabilidade do sistema e informações detalhadas das fontes são necessárias para ajustar esta função. Nos sistemas interconectados modernos e complexos, é um desafio obter a impedância da fonte equivalente. A impedância da fonte também está mudando constantemente. Devido à grande quantidade de trabalho envolvido no ajuste da função PSB convencional, ela é frequentemente deixada de fora e não é usada nem mesmo quando é fornecida pelos modernos relés de distância microprocessados.

Este artigo descreve uma função PSB baseada na tensão do centro da oscilação. Ao contrário de outras grandezas elétricas como a resistência e a potência ativa, a tensão do centro da oscilação não depende das impedâncias da fonte do sistema e da linha e de outros parâmetros do sistema. A tensão do centro da oscilação fica entre os valores limites de zero e um por unidade da tensão do sistema.

A nova função PSB descrita neste artigo não precisa de nenhum ajuste do usuário além daqueles para ativar ou desativar a função. Não são necessários estudos de estabilidade do sistema e impedância da fonte para a função PSB. A função PSB com patente pendente combina a detecção da assinatura da oscilação, a detecção da inclinação ("slope") e a função do PSB seguro para fornecer uma detecção confiável de oscilação de potência sob várias condições do sistema. A função também atende a todos os requisitos exigentes dos modernos esquemas de proteção de oscilação de potência. Entre eles, a detecção de faltas durante bloqueio por oscilação de potência, detecção de faltas trifásicas evolutivas, detecção de oscilações de potência durante condições de polo aberto e detecção de faltas durante o bloqueio por oscilação de potência com polo aberto.

A função PSB foi testada em um ambiente de modelagem do relé com dados de diferentes simulações EMTP e com dados de algumas perturbações reais. Isso permitiu comprovar que a função PSB baseada na tensão do centro da oscilação detecta com sucesso oscilações de potência estáveis e condições de perda de sincronismo do sistema para uma ampla faixa de frequências de escorregamento sem quaisquer ajustes do usuário.

Através do uso da saída da função PSB robusta, uma função OST pode ser implementada para rastrear a trajetória da impedância medida através do plano complexo de impedâncias e para emitir um TOWO para uma diferença do ângulo de fase especificada entre as fontes. A complexidade dos ajustes e a necessidade de efetuar estudos de estabilidade da função OST para uma aplicação TOWO podem ser eliminadas.

## 6.0 - REFERÊNCIAS

- [1] D. Hou, S. Chen, and S. Turner, "SEL-321-5 Relay Out-of-Step Logic," Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Application Guide AG97-13, 23 de julho, 1997.
- [2] F. Ilar, "Innovations in the Detection of Power Swings in Electrical Networks," Brown Boveri Publication CH-ES 35-30.10E, 1997.
- [3] V. Centeno, J. De La Ree, A. G. Phadke, G. Michel, and R. Burnett, "Adaptive Out-of-Step Relaying Using Phasor Measurement Techniques," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 6, no. 4, p. 12–17, outubro de 1993.
- [4] O. Faucon and L. Dousset, "Coordinated Defense Plan Protects Against Transient Instabilities," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 10, no. 3, p. 22–26, julho de 1997.
- [5] J. Holbach, "New Out-of-Step Blocking Algorithm for Detecting Fast Power Swing Frequencies," *Proc. 30th Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, WA, 21–23 de outubro, 2003.
- [6] D. Hou, A. Guzman, and J. Roberts, "Innovative Solutions Improve Transmission Line Protection," *Proc. 24th Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, WA, 21–23 de outubro, 1997.
- [7] D. Hou and J. Mooney, "Protective Relay Having Dependable Out-of-Step Blocking Capability," SEL patent application.
- [8] E. W. Kimbark, *Power System Stability*, vol. 2, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1950.
- [9] J. Machowski and D. Nelles, "New Power Swing Blocking Method," *Proc. Sixth International Conference on Developments in Power System Protection* (Conf. Publ. No. 434), pp. 218–221, London, UK, março de 1997.

- [10] A. G. Phadke, B. Pickett, M. Adamiak, and M. Begovic, "Synchronized Sampling and Phasor Measurements for Relaying and Control," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 1, p. 442–452, janeiro de 1994.
- [11] E. O. Schweitzer III, G. Benmouyal, and A. Guzmán, "Synchronized Phasor Measurement in Protective Relays for Protection, Control, and Analysis of Electrical Power Systems," *Proc. 29th Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, WA, 22–24 de outubro, 2002.
- [12] D. Tziouvaras and D. Hou, "Out-of-Step Protection Fundamentals and Advancements," *Proc. 30th Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, WA, 21–23 de outubro, 2003.
- [13] "Wide Area Protection and Emergency Control," IEEE Power System Relaying Committee, 2002 Report, disponível em [HThttp://www.pes-psrc.org/T..](http://www.pes-psrc.org/T..)