

PROPOSIÇÃO DE UMA NOVA TÉCNICA PARA A DETECÇÃO DE OSCILAÇÃO ESTÁVEL DE POTÊNCIA EM SEP

Jefferson Oliveira dos Santos¹

João Pedro Soares Martins²

Eduardo Machado Dos Santos³

Resumo:

Mudanças repentinas e perturbações na rede podem resultar variações de tensão e frequência, que provocam violações na restrição operativas, podendo levar o sistema a blecautes. Essa proteção é realizada através dos relés, nos quais deve ser estrategicamente habilitados a operarem corretamente para qualquer defeito. Dentre essas operações distúrbios como, por exemplo, desconexão de geradores, que podem ser controlados a ponto de o sistema alcançar um novo ponto de operação aceitável, é ditas oscilações estáveis. Desse modo, surge a necessidade de combinar características de operação de relés de proteção, visando à rápida eliminação de faltas, além de garantir a seletividade na atuação desses dispositivos. Sendo assim, torna-se indispensável o uso de um relé de distância (função ANSI 21) combinado com uma lógica operacional que bloqueie sua operação durante uma oscilação de potência, tendo em vista a constante ocorrência desse fenômeno em sistemas elétricos. Durante uma oscilação deste tipo, o relé de distância pode atuar indevidamente uma vez que as impedâncias vistas pelo referido relé invadem sua região de operação no plano R-X. Tendo como base a análise das principais técnicas para bloqueio do relé de distância em oscilações de potência, utilizando ferramentas computacionais de baixa complexidade de implementação, este trabalho tem como objetivo propor uma nova técnica para a detecção de OEPs (oscilações estáveis de potência). Tal técnica fundamenta-se na análise do comportamento das amostras dos sinais de tensão da rede, dispostos como pares ordenados em um plano cartesiano junto com o respectivo valor da primeira função-diferença do referido sinal. Utilizou-se a detecção de transitórios, juntamente com a técnica para analisar o módulo e ângulo dos fasores para identificar uma OEP. Logo, constatou-se que no momento da ocorrência de uma OEP a tensão sofre um incremento considerável comparado ao seu comportamento original, sendo assim, utilizou-se a análise das distâncias euclidianas entre pontos, junto ao detector de transitório, para identificar o desvio ocorrido, e assim, verificar a variação de tensão que ocorre em OEP. No estudo, foram simuladas no Matlab® diferentes situações de oscilações estáveis de potência para diversas frequências de oscilação e variados instantes de incidência da oscilação.

Palavras-chave: Detecção, Linhas de transmissão, Oscilação Estável de Potência, Relé de distância, Relé de Bloqueio.

Modalidade de Participação: Pós-Graduação

PROPOSIÇÃO DE UMA NOVA TÉCNICA PARA A DETECÇÃO DE OSCILAÇÃO ESTÁVEL DE POTÊNCIA EM SEP

¹ Aluno de pós-graduação. jeffersonoliveiradosantos@gmail.com. Autor principal

² Aluno de graduação. joaopedro_sm93@hotmail.com. Apresentador

³ Docente. eduardosantos@unipampa.edu.br. Orientador

PROPOSIÇÃO DE UMA NOVA TÉCNICA PARA A DETECÇÃO DE OSCILAÇÃO ESTÁVEL DE POTÊNCIA EM SEP

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) tem crescido cada vez mais consideravelmente sua complexidade, podendo causar perturbações na rede que podem resultar em variações de tensão e frequência, que violem suas restrições operativas. Dentre essas violações, destacam-se distúrbios como, por exemplo, como aqueles provocados pela desconexão de geradores, que podem ser controlados a ponto de o sistema alcançar um novo ponto de operação aceitável, os quais são ditos oscilações estáveis de potência (OEPs). Desse modo, surge a necessidade de combinar características de operação de relés de proteção, visando à rápida eliminação de faltas, além de garantir a seletividade na atuação desses dispositivos no que tange a operação indevida durante a OEPs. Sendo assim, torna-se indispensável o uso de um relé de distância (função ANSI 21), o qual tem sua atuação determinada pela impedância vista pelo relé, combinado com uma lógica operacional que bloqueie sua operação durante uma oscilação estável de potência (função ANSI 68), tendo em vista a constante ocorrência desse fenômeno em sistemas elétricos.

Segundo (DOS SANTOS et al., 2013), quando ocorrem oscilações de potência surgem grandes correntes transitórias e pequenas tensões, registrando pequenas impedâncias transitórias que, caso a respectiva OEP não for detectada pelos relés de proteção, estes irão atuar indevidamente, ocasionar desligamentos desnecessários no sistema. Logo, para que o sistema obtenha novamente o equilíbrio após a desconexão de um gerador ou bloco de carga, os relés de distância não podem atuar durante as OEPs. Para análise dessas situações, elaborou-se um algoritmo composto por dois módulos, com o objetivo de classificar corretamente a ocorrência de OEP, a qual poderá ser utilizada como bloqueio de relé de distância. De acordo com (DOS SANTOS et al., 2013), tal técnica baseia-se na análise da distribuição dos pontos dados pelos pares ordenados das amostras de tensão e suas respectivas funções-diferença para a detecção do transitório, a qual dispara o processo de classificação de OEP. A partir do momento que uma variação brusca na característica dos sinais de tensão de uma das fases é detectada, o algoritmo verifica o módulo e ângulo dos fasores resultantes dos referidos pares ordenados em relação à origem do sistema cartesiano, de modo a identificar a OEP.

2 METODOLOGIA

Para os sinais de tensão da rede trifásica, as primeiras funções-diferença para os sinais das fases A, B e C são dadas, respectivamente, pelas Equações 1 a 3.

$$del1_{VA}(n) = V_A(n) - V_A(n - 1) \quad (1)$$

$$del1_{VB}(n) = V_B(n) - V_B(n - 1) \quad (2)$$

$$del1_{VC}(n) = V_C(n) - V_C(n - 1) \quad (3)$$

Nas Equações 1 a 3, n representa as amostras dos sinais de tensão à qual os valores são associados para as fases A, B e C do sistema.

2.1 IDENTIFICAÇÃO DE TRANSITÓRIOS

Consequentemente, ao representar os valores amostrados de tensão e suas respectivas funções-diferença como pares ordenados num plano cartesiano de eixos $del_1 \times V$, os pontos serão distribuídos em uma trajetória bem definida ao redor da origem do sistema.

A distância euclidiana entre dois pontos no referido plano é relativamente pequena durante uma operação normal do sistema. Porém, quando o transitório ocorre, o respectivo ponto é repentinamente deslocado da trajetória original, ocorrendo um aumento considerável na distância entre esses dois planos.

2.2 CRITÉRIOS DE DETECÇÃO DE TRANSITÓRIOS

A distância entre dois pontos devido ao incremento na distância nos planos $del_1 \times V$, que caracteriza a ocorrência do transitório na rede, pode ser facilmente detectada pelo teorema de Pitágoras. As Equações 4 a 6 concedem as distâncias euclidianas entre dois pontos consecutivos nos planos $del1_{VA} \times V$, $del1_{VB} \times V$, $del1_{VC} \times V$, respectivamente.

$$dist1_{VA}(n)^2 = [del1_{VA}(n) - del1_{VA}(n-1)]^2 + [V_A(n) - V_A(n-1)]^2 \quad (4)$$

$$dist1_{VB}(n)^2 = [del1_{VB}(n) - del1_{VB}(n-1)]^2 + [V_B(n) - V_B(n-1)]^2 \quad (5)$$

$$dist1_{VC}(n)^2 = [del1_{VC}(n) - del1_{VC}(n-1)]^2 + [V_C(n) - V_C(n-1)]^2 \quad (6)$$

Nas Equações 7 a 9, μ e σ representam, respectivamente, a média e o desvio padrão para um conjunto de uma janela contendo N valores de distâncias para uma das respectivas fases do sistema. N representa o número de amostras por ciclo dado pela frequência de amostragem (para $f_{amostragem} = 5760$ Hz, $N = 96$ amostragem por ciclo). Já a janela de dados da fase A é dada pela Equação 10. Para as demais fases, a janela de dados é obtida de forma semelhante ao exposto em (10).

$$Th_{transitório A} = \mu[jan_A(n)] + 1,2 \times \sigma[jan_A] \quad (7)$$

$$Th_{transitório B} = \mu[jan_B(n)] + 1,2 \times \sigma[jan_B] \quad (8)$$

$$Th_{transitório C} = \mu[jan_C(n)] + 1,2 \times \sigma[jan_C] \quad (9)$$

$$jan_A(n) = [dist1_{VA}(n-95), dist1_{VA}(n-94), \dots, dist1_{VA}(n)] \quad (10)$$

A detecção do transitório ocorre sempre que uma das condições expressas em (11) a (13) for satisfeitas.

$$dist1_{VA}(n) > Th_{transitório A}(n) \quad (11)$$

$$dist1_{VB}(n) > Th_{transitório B}(n) \quad (12)$$

$$dist1_{VC}(n) > Th_{transitório C}(n) \quad (13)$$

Logo, sendo satisfeita umas das condições das Equações 11 a 13, o estado do detector muda de zero para um, caracterizando um transitório. A partir daí inicia-se a classificação de OEP.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DE OSCILAÇÕES ESTÁVEIS DE POTÊNCIA

Após a detecção do transitório, a metodologia passa a analisar o módulo e o ângulo das dos fasores da Equação 14, de modo a identificar o OEP. Para analisar esse procedimento, utilizam-se os fasores $\bar{P}(n)$ da fase A.

$$\bar{P}(n) = del1_{VA}(n) + j.V_A(n) \quad (14)$$

O módulo e o ângulo de $\bar{P}(n)$ devem ser calculados, conforme as Equações 15 e 16, os quais são comparados com os valores limítrofes para estes parâmetros obtidos durante a fase detecção do transitório.

$$|\bar{P}(n)| = \sqrt{del1_{VA}(n)^2 + V_A(n)^2} \quad (15)$$

$$\theta(n) = \tan^{-1} \frac{V_A(n)}{del1_{VA}(n)} \quad (16)$$

Os valores limítrofes para o módulo e ângulo de $\bar{P}(n)$ são dados, respectivamente, pelas Equações 17 e 18 antes da ocorrência da detecção do transitório.

$$Th_1 = \max(|\bar{P}(n)|) \quad (17)$$

$$Th_2 = \max(\theta(n)) \quad (18)$$

Simulações constataam que os valores apresentados de $\bar{P}(n)$ e $\theta(n)$ são menores que Th_1 e Th_2 por mais que um quarto do ciclo do sinal de tensão. Com isso, afirma-se que a oscilação estável de potência fica determinada quando as condições descritas pela condição (19) forem satisfeitas durante um quarto do ciclo após a detecção do transitório no sistema.

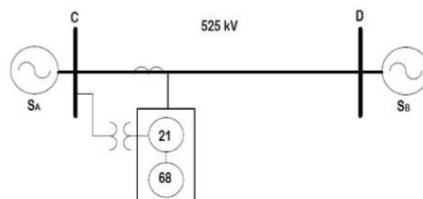
$$\bar{P}(n) < Th_1 \text{ e } \theta(n) < Th_2 \quad (19)$$

3 RESULTADOS e DISCUÇÕES

Os sinais analisados foram obtidos e simulados no programa EMTP-ATP® para obtenção dos sinais de tensão processados pelo algoritmo proposto, para o sistema teste da Figura 1. Cada barra terminal da linha de transmissão é conectada a um gerador. Ambos geradores possuem impedância de sequência zero (Z_{S0}) e impedância de sequência positiva (Z_{S1}) de $3 + j33 \Omega$ e $1 + j11 \Omega$, respectivamente. Além disso, o valor efetivo das fontes é de 525 kV . A impedância da linha de transmissão tem impedância de sequência zero $Z_{L0} = 33 + j330 \Omega$ e impedância de sequência positiva de $Z_{L1} = 11 + j110 \Omega$.

Para simular os casos de OEP, manteve-se constante a frequência do gerador conectado na barra B, a qual foi fixada com valor nominal de 60 Hz . Já para o gerador da barra A, a frequência é mantida constante até o momento da incidência da OEP. Os sinais foram obtidos amostragem uma taxa de 96 amostras/ciclos. Destaca-se que para as oscilações de potência, foram simuladas frequências de oscilação -7 Hz . Além disso, cada oscilação foi simulada para o instante de incidência de 0,3 segundos.

Figura 1 - Sistema Teste Simulado



3.1 FREQUÊNCIA DE OSCILAÇÃO -7; INCIDÊNCIA DE OSCILAÇÃO EM 0,3S; AMOSTRAGEM DE 96 AMOSTRAS/CLICO.

Para esse caso, o transitório foi detectado em 0,30015 s e a OEP foi classificada em 0,30432 s. Ressalta-se que o tempo demandado para a classificação da OEP ($\frac{1}{4}$ de ciclo) é bem menor do que é demandado pelas metodologias clássicas que monitoram as variações da impedância da rede. Esses valores podem ser verificados na Tabela 1, qual apresenta os valores obtidos para outros instantes de incidência da OEP para frequência de oscilação -7 Hz e taxa de amostragem de 96 amostras/ciclo.

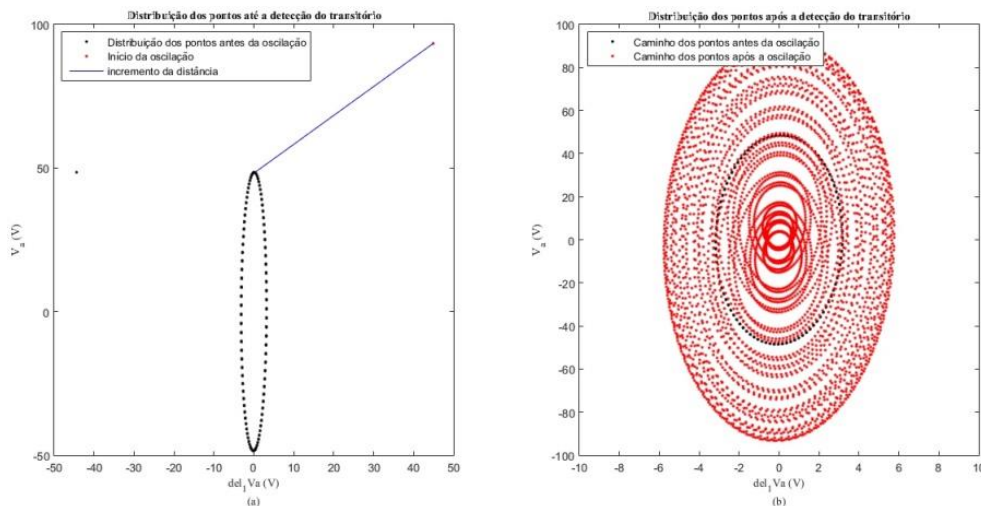
Tabela 1 - Resultados obtidos para frequência de oscilação -7 e 96 Amostras/ciclo

<i>Incidência de Oscilação [s]</i>	<i>Detecção de Transitório [s]</i>	<i>Classificação de oscilação estável [s]</i>
0.2992	0.29929	0.30345
0.2995	0.29963	0.3038
0.2998	0.29981	0.30397
0.3002	0.30033	0.30449
0.3005	0.3005	0.30467
0.3008	0.30085	0.30502

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Nas Figuras 2, em (a) pode-se observar a distribuição dos pontos $del_1 V_A \times V_A$ até o momento da incidência da OEP. Já em (b) nota-se a distribuição dos pontos durante a ocorrência de oscilação.

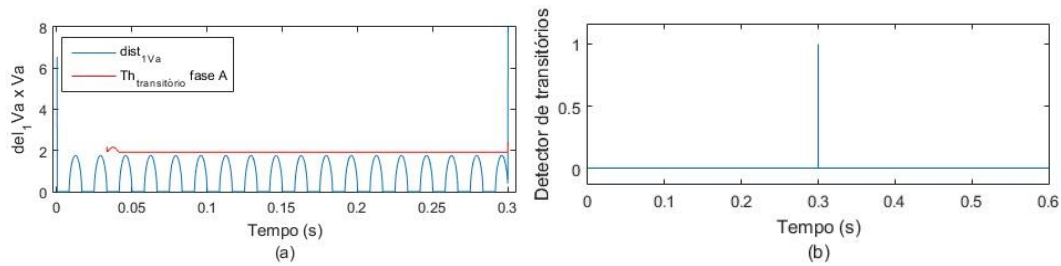
Figura 2 - distribuição dos pontos para incidência da oscilação de 0.3 s. (a) Até o momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Na Figura 3, nota-se que, para a fase A, as distâncias em $del_1 V_A \times V_A$ satisfazem as condições da Equação 14, caracterizando a detecção do transitório. Assim, o estado de detecção muda de 0 para 1 e inicia-se a classificação da OEP.

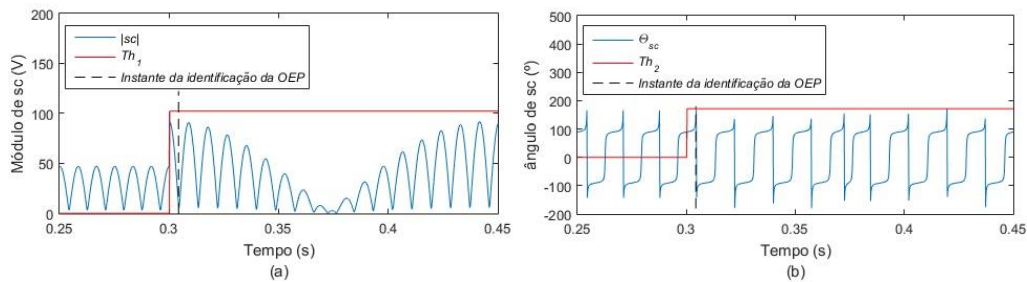
Figura 3 - Atuação do Detector do Transitório para o caso 1. (a) Distancias no plano $\text{del}_1 V_A \times V_A$. (b) Estado do Detector do transitório



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Já na figura 4, verifica-se a fase de classificação da OEP, com o comportamento do módulo e do ângulo dos fasores $\bar{P}(n)$. Nesse caso, esses apresentam os valores limítrofes obtidos pelas Equações 17 e 18 por mais de $\frac{1}{4}$ de ciclo do sinal de tensão, caracterizando a OEP, cuja classificação ocorre no instante 0,30432s, quando as condições da Equação 19 são satisfeitas, ou seja, 4,2 ms, após a detecção do transitório.

Figura 4 - Detalhes da atuação do classificador de OEPs (a) Variação do Módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma nova técnica para detecção das OEPs em SEP foi apresentada e os resultados obtidos frente a diferentes condições de incidência de oscilações e frequências de oscilações foram satisfatória. Tal técnica apresentou-se como boa alternativa para a detecção, pois atua de forma rápida e robusta, podendo ser aplicada em tempo real como método de bloqueio de relés distâncias em condições operacionais que envolvam OEPs.

REFERÊNCIA

E.M. SANTOS, G. CARDOSO JR, P.E. FARIAS E A.P. MORAIS, CT Saturation Detection Based on the Distance Between Consecutive Points in the Plans Formed by the Secondary Current Samples and Their Difference-Functions. **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 28, 2013.