



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPC/16

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - V

GRUPO DE ESTUDO CENTRO DE EXCELENCIA EM ENERGIA E SISTEMAS DE POTÊNCIA - CEESP

**DETECÇÃO DE OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA PARA BLOQUEIO DO RELÉ DE DISTANCIA BASEADO NO
ERRO MÉDIO QUADRÁTICO DE FUNÇÕES CARACTERÍSTICAS**

**C. L. Menco(*)
UFSM**

**G. Marchesan
UNIPAMPA**

**F. Stefanello
WEG**

**C. V. Dias
UFSM**

**G. C. Junior
UFSM**

RESUMO

Propõe-se uma metodologia com uma abordagem diferente das empregadas atualmente para o bloqueio de relés de distância em casos de oscilações de potência. O método proposto é fundamentado na comparação dos sinais de tensão e corrente com sinais de referência (função senoidal e triangular). Está comparação é realizada a cada ciclo de 60Hz, e o erro médio quadrático existente entre os sinais amostrados e os de referência são analisados de forma a identificar as oscilações de potência. A análise do comportamento dos erros levou a definição de um padrão que serve como referência para a classificação de eventos de oscilação de potência. Percebe-se uma oscilação de potência se os erros possuem um desvio padrão maior ao ajuste predefinido. O método proposto apresenta como principal vantagem em relação aos métodos tradicionais a capacidade de identificar faltas durante oscilações de potência. Para o desbloqueio do relé no momento que acontece o curto-circuito durante oscilação de potência, o método calcula o fator de assimetria do sinal de corrente em uma janela de 1 ciclo de 60Hz. Se o valor do fator de assimetria é maior que seu ajuste predefinido, o relé é desbloqueado, permitindo sua operação. O método não requer de nenhum ajuste definido pelo usuário, evitando a necessidade de fazer extensos estudos de estabilidade que estimem o comportamento dinâmico do sistema elétrico de potência. O método proposto foi testado para diversos cenários, variando-se a frequência de oscilação, o ângulo de carregamento e resistência de falta, onde foi verificado sua maior eficiência quando comparado com o métodos baseados na medição da taxa de variação da impedância aparente empregados para o mesmo objetivo.

PALAVRAS-CHAVE

Detecção de oscilação de potência, Bloqueio contra oscilação de potência em relés de proteção, Estabilidade de sistemas elétricos de potência, Erro médio quadrático, Filtro de funções

1.0 - INTRODUÇÃO

A estabilidade de sistemas elétricos de potência tem se tornado um assunto prioritário na operação do sistema interconetado de um país. The North American Electric Reliability Corporation (NERC) reportou uma alarmante estatística onde uma parcela do 75% das grandes perturbações que causaram saídas em cascata e blecautes envolvem operações indevidas de relés de distância [1]. Com o objetivo de superar este problema, pesquisadores tem desenvolvido uma ampla gama de esquemas de bloqueio nos últimos anos. A Tabela 1 mostra um resumo dos países como Malásia, Itália, Brasil e Índia; que tiveram a experiência de um grande blecaute causada pela operação indevida de relés de distância na última década [2]–[5]. No Brasil, o sistema elétrico sofreu desligamento desta natureza. Devido a um problema, localizado em uma das LTs que interligam a usina de Itaipu à região Sudeste do Brasil, no dia 10/11/2009 ocorreu uma perturbação geral no SIN, envolvendo diretamente a região Sudeste/Centro-Oeste, desencadeando uma série de desligamentos automáticos. Neste evento, como resultado da oscilação de

potência gerada, verificou-se que a região Sul operou com uma frequência de 63,6 Hz por alguns instantes, enquanto que a região Norte e Centro-Oeste com 58,3 Hz [6].

As técnicas Power Swing Blocking (PSB) são divididas em métodos convencionais e não convencionais [7]. Os métodos convencionais são baseados na medição da taxa de variação da impedância, sendo usadas duas características concêntricas ou blinders para este propósito [8], [9]. De modo a implementar a técnica, intensivos análises da rede são requeridos para identificar a correta separação entre o blinder interno e externo [10], [11]. Adicionalmente, o relé pode operar indevidamente para oscilação estável a menos que a estimativa do limiar seja muito precisa para discriminar entre falta e um evento de oscilação de potência como experimentado por [12]. Na atualidade tem sido propostas alternativas empregando técnicas de análise de sinais transformada Wavelet (WT) e filtros morfológicos (MM) [13], [14], [15]. Mahamedi [13] desenvolveu WT sobre a variação da impedância para detectar oscilações de potência e curtos-circuitos. O autor apresentou que um tempo máximo de resposta igual a 30ms foi observado para detecção de curto-circuito usando este método. O tempo de resposta da técnica baseada em WT é melhorada comparada com as técnicas existentes para distinguir oscilações de potência estáveis e instáveis, de modo a gerar o bloqueio ou atuação da proteção sistêmica segundo o caso [14]. Gautam e Brahma [15] desenvolveram um filtro MM para a detecção de oscilação de potência. Este método detecta eventos de oscilação de potência com um tempo de resposta de 4 ciclos em 60Hz (66.66ms); demonstrando que esta proposta supera qualquer abordagem baseada em blinder convencional. Para curto-circuito trifásico durante oscilação de potência, o tempo de resposta em que detectou a falta foi aproximadamente 8 ciclos, o qual é um período de tempo inaceitável. Assim, a proposta é eficiente para detecção de oscilação de potência, mas tarda muito tempo para detectar um curto-circuito durante oscilação.

O objetivo deste trabalho é apresentar um detector de oscilação de potência confiável que utilize medidas locais e que consiga bloquear o relé em presença de oscilação e desbloquear em evento de curto-circuito. A metodologia proposta usa o conceito do erro quadrático médio de sinais periódicos no tempo em relação ao sinal de entrada amostrado. Baseado em testes foram predefinidos os ajustes da metodologia para o objetivo proposto, como justificado mais na frente. O objetivo é criar um método confiável e que não precise de estudos do sistema elétrico de potência (SEP) para seu ajuste. O método consegue alcançar esse objetivo, empregando filtros com funções características e analisando seu erro quadrático médio para bloquear contra oscilação de potência. Nas seguintes seções se explica a metodologia proposta para o bloqueio contra oscilação de potência. Em seguida, se mostram os resultados e conclusões deste trabalho.

Tabela 1 – Blecautes devido à atuação indevida de relés de distancia

Ano	País	Evento
2003	Itália	Grande falha de potência
2003	Malásia	Blecaute por 5 horas
2005	Malásia	Blecaute na região norte
2009	Brasil	Blecaute em oito estados
2012	Índia	Blecaute na rede ocidental

2.0 - METODOLOGIA PROPOSTA

O método proposto apresenta como principal vantagem em relação aos métodos tradicionais a capacidade de identificar faltas durante oscilações de potência. Assim, o mesmo consegue cumprir sua função de Power Swing Blocking (PSB) através do análise das respostas obtidas pelos filtros das funções características e assimetria, explicados a continuação. Os sinais instantâneos de tensão e corrente são processados pelo método para decidir quando bloquear contra oscilações de potência e desbloquear durante curto-circuito. O método proposto se baseia na comparação do sinal de tensão amostrado pelo relé com funções características (função senoidal e triangular) em janelas de 1 ciclo de 60Hz; aqui se emprega o Erro quadrático médio (EQM) como ferramenta para o análise do comportamento do SEP e classificação de uma perturbação. Porém, percebe-se uma oscilação de potência se os erros possuem um valor maior a um ajuste predefinido, bloqueando o relé contra atuações indevidas. Adicionalmente, é empregado um filtro que calcula a assimetria de uma distribuição dentro em uma janela de dados, de modo a detectar um evento de curto-circuito e desbloquear o relé durante uma condição de oscilação de potência. A FIGURA 1 mostra o diagrama de processamento do sinal através dos filtros os quais tem como entrada o sinal instantâneo de tensão e corrente, obtendo assim os indicadores empregados na classificação de perturbações. Através do filtro de funções características são obtidos os valores de EQM_0 , EQM_5 e EQM_6 , os quais são utilizados para a detecção de uma condição de oscilação de potência e demora um 1 ciclo para fornecer uma saída. Por outro lado, através do filtro de assimetria é obtido o valor do CA_{F_1} , o qual é utilizado para a detecção de curto-circuito durante oscilação de potência.

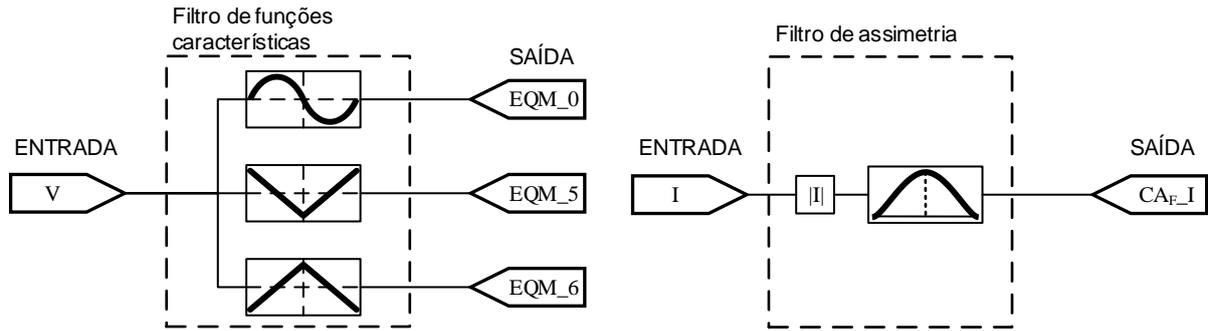


FIGURA 1 – Filtro de funções características e assimetria

2.1 Filtro das funções características

O filtro de funções características está composta pelas funções senoidal, triangular com pico negativo e triangular com pico positivo. Na saída do filtro se obtém o erro quadrático médio (EQM) entre o valor do sinal de entrada e o valor da função característica correspondente para uma janela de 1 ciclo de 60Hz. As variáveis EQM_0 , EQM_5 e EQM_6 ; refere-se ao erro quadrático médio da função senoidal de 60Hz, triangular (∇) e triangular (\wedge) respetivamente. O EQM é uma forma de avaliar a diferença entre um sinal de referência e o verdadeiro valor da quantidade amostrada. Um valor de EQM pequeno, indica uma variação mínima, e portanto, um bom estimador. Assim, quanto mais perto de zero este parâmetro, maior é a similitude entre os sinais. A equação para o erro quadrático médio é dada por:

$$EQM = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |x(n) - xc(n)|^2 \quad (1)$$

Onde:

EQM : Erro quadrático médio;

x : Valores do sinal de entrada em p.u.;

xc : Valores da função característica em p.u.;

N : Tamanho da janela.

Com o objetivo de aplicar o filtro de funções características, devem-se criar as janelas de dados a analisar. O objetivo é sincronizar o sinal de entrada com a função senoidal de 60Hz e criar as janelas de dados que possuem um tamanho igual a 1 ciclo de 60Hz. A janela de dados é sincronizada com a passagem do sinal por zero, do semiciclo negativo para o positivo. O erro quadrático médio fornecido pela função senoidal determina se o sinal de entrada possui o não uma forma de onda senoidal de 60Hz, essa saída é chamada de EQM_0 .

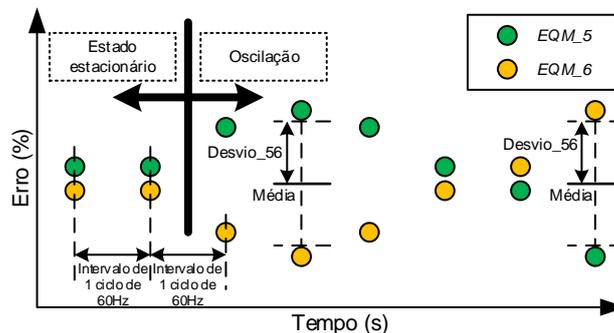


FIGURA 2 – Desvio existente entre a média e os erros quadráticos médios

De modo a determinar se o sinal de entrada sofre deformações por oscilação de potência, foi definido o indicador $Desvio_{56}$ que permite conhecer que diferença (dispersão) existe entre a média e os valores do conjunto, como mostra a FIGURA 2.

Este indicador é calculado a partir dos erros quadráticos médios das funções triangulares EQM_5 e EQM_6 , como segue:

$$Desvio_56 = \left(\left(\frac{\max(EQM_5, EQM_6)}{\frac{EQM_5 + EQM_6}{2}} \right) - 1 \right) \quad (2)$$

Onde:

$Desvio_56$: Desvio com respeito à média;

EQM_5 : Erro quadrático médio da função triangular (\vee);

EQM_6 : Erro quadrático médio da função triangular (\wedge).

2.2 Filtro de assimetria

O filtro de assimetria tem a função de detectar um evento de curto-circuito baseando-se no valor do coeficiente de assimetria da forma de onda. A assimetria é a medida que indica a simetria da distribuição de uma variável respeito à média, sem necessidade de fazer uma representação gráfica. O coeficiente de assimetria indica se há o mesmo número de elementos a esquerda e direita da média. Existem três tipos de curva de distribuição segundo sua assimetria: Assimetria negativa, simétrica e assimetria positiva. A FIGURA 3-1 mostra o comportamento da distribuição para cada tipo. Se $CA_F < 0$, a distribuição possui uma assimetria negativa e se achata a valores maiores que a média. Se $CA_F = 0$, a distribuição é simétrica; assim a distribuição dos dados se adapta à forma da campainha de Gauss, ou distribuição normal. Se $CA_F > 0$, a distribuição tem uma assimetria positiva e se achata a valores maiores que a média. Neste trabalho empregamos o coeficiente de assimetria de Fisher CA_F aplicada em uma janela de dados de 1 ciclo de 60Hz. O CA_F avalia a proximidade dos dados a sua média. Quanto maior seja a soma $\sum (x_i - \bar{x})^3$, maior será a assimetria. Seja o conjunto $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, a equação da assimetria de Fisher é:

$$CA_F = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{Ns^3} \quad (3)$$

Onde:

CA_F : Coeficiente de assimetria de Fisher;

\bar{x} : Média do conjunto;

s : Desvio padrão do conjunto.

N : Tamanho do conjunto.

A FIGURA 3-2(a) e FIGURA 3-2(b) mostra o sinal de corrente medido e a resposta do filtro, onde se abrange estado estacionário, curto-circuito e curto-circuito durante oscilação de potência na mesma simulação. De 0 a 0,99s, o SEP encontrasse em estado estacionário. Em 1s, é aplicado um curto-circuito com duração de 100ms na linha vizinha, este evento faz que o SEP oscile. Em 3s, é aplicado um curto-circuito durante oscilação de potência com duração de 100ms, este evento faz que o SEP perda o sincronismo.

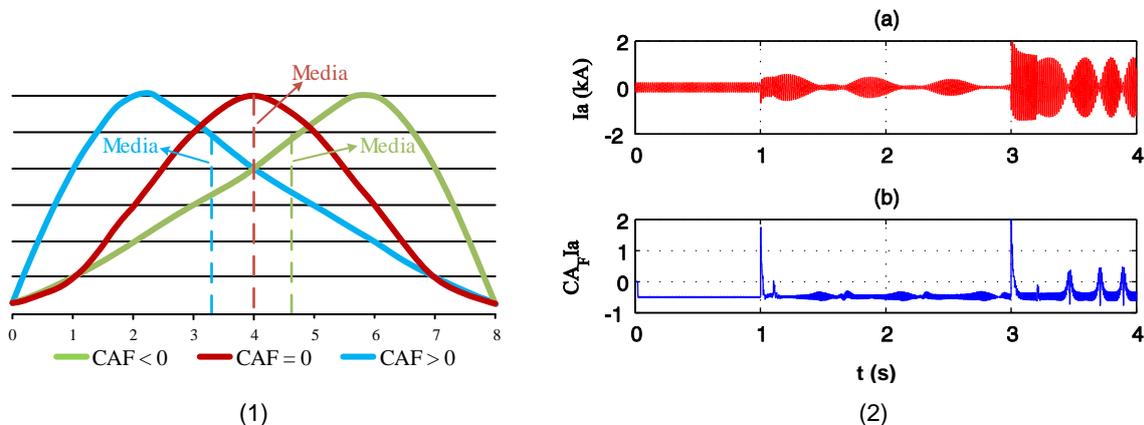


FIGURA 3 – (1) Tipos de assimetria para uma distribuição de dados, (2) Resposta do filtro de assimetria. Pode-se observar que em estado estacionário, CA_F/I_a possui valores menores que zero e próximos a -0,5. Para um evento de curto-circuito o coeficiente de assimetria tem um rápido incremento comparado a estado estacionário e

cenários com altas frequências de oscilação. Na FIGURA 3-2(b) pode-se observar incremento diferenciado no momento de aplicação de um curto-circuito em 1s e 3s. Porém, pode ser definido um limiar de modo a detectar eventos de curto-circuito através do coeficiente de assimetria.

2.3 O Algoritmo

A partir dos sinais instantâneos de tensão e corrente obtemos os valores dos erros quadráticos médios EQM_0 , EQM_5 , EQM_6 , $Desvio_{56}$ e CAF_I , é proposto um esquema de bloqueio contra oscilações de potência e desbloqueio em evento de curto-circuito durante oscilação, como mostra o fluxograma apresentado na FIGURA 4. Primeiro amostramos os sinais e aplicamos os filtros para obter EQM_0 , $Desvio_{56}$ e CAF_I como mostram os blocos 1 e 2 respectivamente. O bloco 3 questiona se os indicadores EQM_0 e $Desvio_{56}$ são maiores que o ajuste_O. Assim, através do bloco 3 o método supervisiona estes indicadores para detectar uma condição de oscilação de potência. Em seguida o bloco 5, questiona se o indicador CAF_I é maior que o ajuste_F; este bloco tem a função de detectar um evento de curto-circuito durante oscilação de potência, bloqueando ou não a atuação do relé como mostram os blocos 6 e 7 respectivamente. No caso do indicador de presença de oscilação for ativada e na seguinte amostra o bloco 3 negue a afirmação, os blocos 8, 9, e 5 vão manter o bloqueio do relé, e só será desbloqueado em presença de curto-circuito. Para a mesma condição do bloco 3 negar a afirmação, os blocos 8, 9, 10, 11 supõem uma mudança de condição de oscilação a estado estacionário, desbloqueando o relé.

O método proposto possui os seguintes ajustes: ajuste_F, ajuste_O e contador CO. Estes ajuste foram baseados pelos resultados fornecidos das simulações de diversas condições de oscilação de potência e curto-circuito durante oscilação de potência. O ajuste_F refere-se ao valor observado de CAF_I na aplicação de curto-circuito como mostrado na FIGURA 3-2(b) em 1 e 3s; o mesmo foi ajustado com um valor de 1 para todas as condições de curto-circuito simulados. O ajuste_O refere-se ao valor observado de EQM_0 e $Desvio_{56}$ quando aplicada uma condição de oscilação de potência que deforma a forma de onda dos sinais instantâneos, deslocando os valores do sinal medido dos valores da função carregada na janela, gerando assim valores maiores a zero em EQM_0 e $Desvio_{56}$; assim o ajuste_O foi ajustado com um valor de 15% em base as condições de oscilação de potência simuladas, tendo presente em obter um tempo de detecção satisfatório e uma correta diferenciação entre estado estacionário e um cenário de oscilação de potência. Por último, o contador CO permite manter o bloqueio do relé quando EQM_0 e $Desvio_{56}$ são menores que o ajuste_O e a presença de oscilação ainda ativa, condição presente no momento de equilíbrio da oscilação de potência. Este contador foi ajustado simulando uma oscilação de potência de baixíssima frequência, fornecendo um tempo de 90 ciclos de 60Hz.

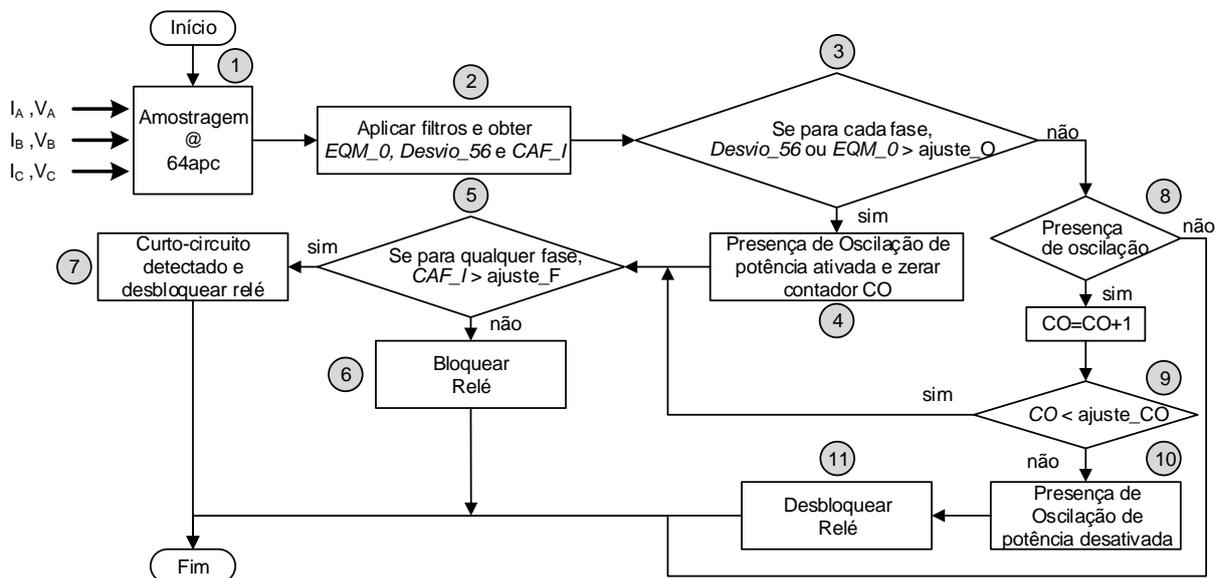


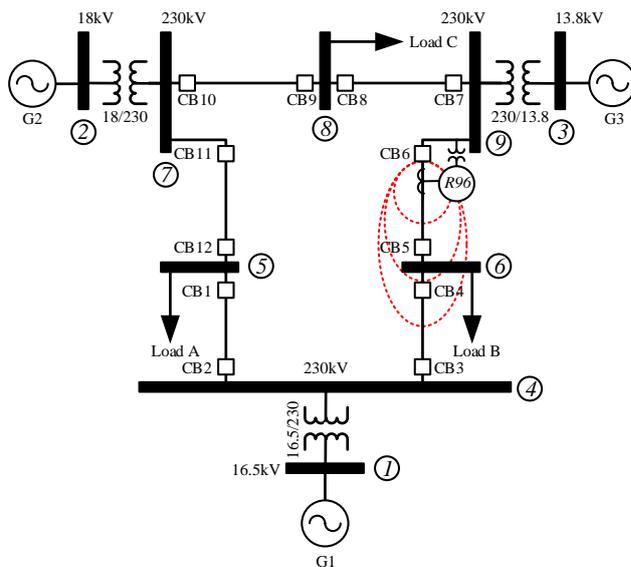
FIGURA 4 – Fluxograma do algoritmo

3.0 - RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Teste e validação em IEEE-9 Bus System

O método proposto é avaliado sobre o IEEE-9 barras mostrado na FIGURA 5. Informação detalhada do IEEE-9 barras pode ser obtida em [16]. Utilizaram-se os programas DigSilent Power Factory para simular o SEP, e MATLAB para analisar os dados. Nas simulações são implementados os reguladores de tensão e velocidade para os geradores. Para a validação do desempenho do método proposto é simulado um caso que contém uma condição de falta durante oscilação estável de potência e oscilação instável de potência.

Para a criação do evento de oscilação estável de potência, um curto-circuito trifásico franco é aplicado em 1s com duração de 100ms sobre 50% da linha de transmissão conectada entre as barras 4 e 5, a resistência de falta (R_f) utilizada foi de 0.01Ohm. Em 3s, é aplicado um curto-circuito trifásico franco com duração de 150ms no 50% da linha conectada entre as barras 6 e 9, conseguindo gerar uma condição de oscilação instável de potência. É analisado o relé de proteção R96 alocado sobre a linha de transmissão conectada entre as barras 6 e 9. O relé R96 é uma ótima seleção para ser analisado durante o fenômeno de oscilação, já que o mesmo se encontra perto do centro elétrico do sistema, onde normalmente os métodos confundem as oscilações com curtos-circuitos. Os sinais instantâneos de corrente e tensão são amostrados a 64apc pelo relé. É usado um transformador de corrente (TC) com relação de 500/5A e transformador de tensão (TP) com relação de 230/0.12kV. Os ajustes das zonas características 1, 2 e 3 são $0.8 \cdot Z_{L69}$, $1.2 \cdot Z_{L69}$ e $Z_{L69} + 0.5 \cdot Z_{L46}$, respectivamente.



Os parâmetros usados para o sistema IEEE 9-Bus, foram obtidos em P. M. Anderson and A. A. Fouad in Power System Control and Stability, 2003 nas páginas 37-40.

Ajuste do Relé Mho R96:

CT: 500/5A - Y , VT: 230/0.12kV - Y

Zona 1: $3.881 \angle 70^\circ \Omega \text{sec}$, Timer Z1: Instant.

Zona 2: $5.821 \angle 70^\circ \Omega \text{sec}$, Timer Z2: 400ms

Zona 3: $6.500 \angle 70^\circ \Omega \text{sec}$, Timer Z3: 800ms

FIGURA 5 - Western Systems Coordinating Council (WSCC) 9-bus test system

A FIGURA 6 mostra o desempenho do método proposto para o caso descrito anteriormente. Pode-se observar, o efetivo bloqueio durante oscilação de potência e rápido desbloqueio em presença de curto-circuito. O tempo de simulação menor que 1s, refere-se ao estado estacionário do SEP. Em estado estacionário, o comportamento dos erros médios quadráticos obtidos empregando as diferentes funções não variam, indicando que não há deformação da forma de onda da tensão, portanto não há oscilação entre 0 e 1 s, como mostra a FIGURA 6(b). Na figura FIGURA 6(d) pode-se ver que o $CA_{F_}$ permanece com valor menor a zero, indicando que não há presença de curto-circuito. Assim, o método proposto não bloqueia o relé em estado estacionário, como mostra a FIGURA 6(d). Em 1s, o valor de $CA_{F_}$ acusa um curto-circuito ativando o detector de falta pela duração do mesmo. A detecção da falta ocorre com 2.2 a 5ms de atraso, satisfazendo a necessidade de um rápido desbloqueio sob presença de falta. Depois de isolado o curto circuito pelos disjuntores responsáveis CB1 e CB2 em 1.1s, surge uma oscilação estável de potência; assim, o detector de oscilação é ativo em 1.122. O tempo médio para detectar e bloquear contra oscilação de potência, é aproximadamente 1,5 ciclos de 60Hz. Para o tempo de simulação de 1.122s até 3s, o método proposto ativa o bloqueio garantindo a não operação do relé R96 por oscilação de potência.

Em 3s, o valor de $CA_{F_}$ acusa um curto-circuito, ativando o detector de falta e desativando o bloqueio, como mostra a FIGURA 6(e). O bloqueio permanece desativo pelo período de falta (150ms), voltando a ativar o bloqueio em 3.160s por causa do reset do detector de falta. Depois de ativo o bloqueio em 3.160s, o mesmo permanece ativo até o fim da simulação, mostrando a capacidade de bloquear contra altas frequências de oscilação.

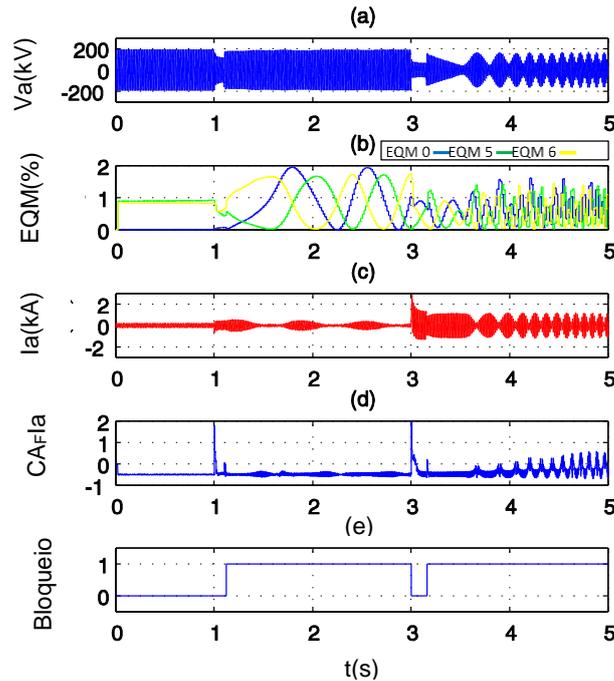


FIGURA 6 – Desempenho do método

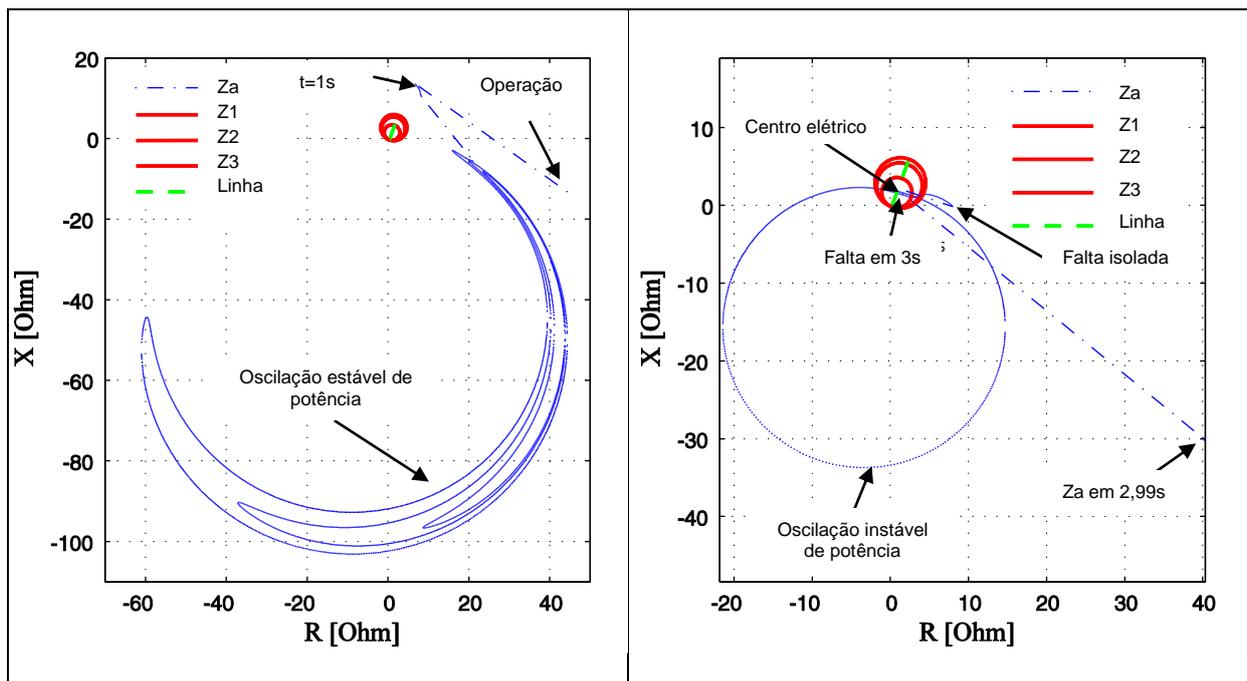


FIGURA 7 – (a) Trajetória da impedância aparente em condição de oscilação estável de potência, (b) Trajetória da impedância aparente em condição de oscilação instável de potência

FIGURA 7(a) mostra a trajetória da impedância aparente (Z_a) vista por R96 com um tempo de simulação limitado a 2.99s. Pode-se observar que a trajetória de Z_a muda em direção à linha em falta em 1s. Depois de isolada a falta pelos disjuntores, Z_a muda em direção ao centro elétrico do SEP, onde se encontram as características de operação de R96. Nesta situação, Z_a não alcança entrar nas características de operação do relé e fica oscilando até amortecer e retornar a um novo ponto de operação. O método proposto detecta oscilação e bloqueia o relé antes de Z_a tentar alcançar as zonas de proteção do relé. Este comportamento é de uma condição de oscilação estável de potência. Para um tempo de simulação maior a 3s, um curto-circuito sobre a linha protegida por R96 durante oscilação estável

de potência causa a perda de sincronismo entre os geradores, porém uma condição de oscilação instável. A FIGURA 7(b) mostra a trajetória da impedância para uma condição de oscilação instável de potência. Nesta situação, Z_a muda em direção ao centro elétrico, atravessando as zonas características de operação de R96. O método proposto consegue bloquear o relé antes de Z_a alcançar as zonas de proteção 1, 2 e 3. Foram testados diversos casos para avaliar a robustez do método proposto. O desempenho do método para detectar curto-circuito durante oscilação satisfaz a necessidade de desbloquear com rapidez o relé de proteção, com tempos próximos a 3ms. Para as simulações foram testadas diversas condições como: tipo de falta, distância de falta e resistência de falta; como mostra a Tabela 2. Em todos os casos simulados o bloqueio contra oscilação de potência e desbloqueio em presença de curto-circuito foi correto e com tempos promissores.

Tabela 2 – Casos testados para avaliação do método proposto

Caso	Distância de falta antes de oscilação (%)	Rf antes de oscilação (Ohm)	Tempo de resposta para bloqueio (ms)	Tipo de falta durante oscilação	Distância de falta durante oscilação (%)	Rf durante oscilação (Ohm)	Tempo de resposta para desbloqueio (ms)
1	50	0.01	22	AG	50	0.01	2,2
2	25	0.1	28	AG	15	0,15	2,37
3	15	0.1	26	BG	15	1,5	2,6
4	80	0.1	31	CG	85	5	3,12
5	35	0.1	26,3	ABG	25	10	3,25
6	50	0.01	22	BCG	75	1	2,63
7	25	0.1	26,12	BCG	20	5	2,8
8	35	0.05	22,5	ACG	50	1,5	2,81
9	80	0.05	22,8	ABC	50	0.1	2,6
10	50	0.05	22,55	AC	25	0.1	2,56
11	25	0.05	22,425	AC	25	1,5	2,64

4.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um foco diferente para a detecção de oscilação de potência através dos filtros de funções características e assimetria trabalhando sobre a forma de onda dos sinais instantâneos de tensão e corrente medidos localmente. O método emprega uma janela com um tamanho de 1 ciclo de 60Hz para processar o sinal; depois de ter passado a primeira janela de dados, a mesma é atualizada a cada 1/8 de ciclo de modo um tempo de resposta competitivo. O desempenho do método proposto é testado sobre o IEEE-9 Bus System sob diversas condições de operação. Para simulações com baixas e altas frequências de oscilação o método consegue responder adequadamente, bloqueando o relé quando necessário. Os resultados obtidos comprovam um desempenho satisfatório para detectar oscilações e evitar a operação indesejada dos relés de distância, ou permitir a operação do relé caso uma falta ocorra no momento em que o relé se encontra bloqueado. O método proposto apresenta como principal vantagem em relação aos métodos tradicionais a capacidade de identificar faltas durante oscilações de potência. Como contribuição, o método emprega ajustes predefinidos baseados em simulações, com os quais consegue trabalhar adequadamente para todos os casos aqui testados, se tornando ajustes universais. Pela simplicidade, a seguinte etapa deste trabalho é embutir o método em um relé de distância e testar para diferentes condições de operação.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Liu and J. Li, "Patterns of Cascaded Events in Blackouts," *Power Energy Soc. Gen. Meet. - Convers. Deliv. Electr. Energy 21st Century*, pp. 1–2, 2008.
- [2] C. Li and X. Chen, "Analysis of the Blackout in Europe on November 4 - 2006," *2007 Int. Power Eng. Conf. (IPEC 2007)*, pp. 939–944, 2007.
- [3] J. P. Conti, "The Day the Samba Stopped [Power Blackouts]," *Eng. Technol.*, vol. 5, no. 4, pp. 46–47, 2010.
- [4] S. Corsi and C. Sabelli, "General Blackout in Italy Sunday September 28 , 2003 , h . 03 : 28 : 00," *Power Eng. Soc. Gen. Meet. 2004. IEEE*, pp. 1691–1702, 2004.
- [5] P. Pentayya, A. Gartia, S. Kumar, and R. Anumasula, "Synchrophasor based Application Development in Western India," *2013 IEEE Innov. Smart Grid Technol. (ISGT Asia)*, pp. 1–6, 2013.

- [6] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, "Informativo ONS - relatório final sobre blecaute de 2009," 2009.
- [7] IEEE PSRC WG D6, "Power Swing And Out-of-Step Considerations on Transmission Lines," 2005.
- [8] J. HOLBACH, "New Out of Step Blocking Algorithm for Detecting Fast Power Swing Frequencies," *2006 Power Syst. Conf. Adv. Metering, Prot. Control. Commun. Distrib. Resour.*, pp. 182–199, 2006.
- [9] L. Martuscello, E. Krizauskas, J. Holbach, and Y. Lu, "Tests of Distance Relay Performance on Stable and Unstable Power Swings Reported Using Simulated Data of the August 14 th 2003 System Disturbance," *2009 62nd Annu. Conf. Prot. Relay Eng.*, pp. 236–255, 2009.
- [10] H. K. Zadeh and Z. Li, "Artificial Neural Network Based Load Blinder for Distance Protection," *Power Energy Soc. Gen. Meet. - Convers. Deliv. Electr. Energy 21st Century*, pp. 1–6, 2008.
- [11] N. Fischer, G. Benmouyal, D. Hou, D. Tziouvaras, J. Byrne-finley, and B. Smyth, "Do System Impedances Really Affect Power Swings – Applying Power Swing Protection Elements Without Complex System Studies," *2012 65th Annu. Conf. Prot. Relay Eng.*, pp. 108–119, 2012.
- [12] V. a Ambekar and S. S. Dambhare, "Comparative Evaluation of Out of Step Detection Schemes for Distance Relays," *2012 IEEE Fifth Power India Conf.*, pp. 1–6, Dec. 2012.
- [13] B. Mahamedi, "A New Power Swing Blocking Function Based on Wavelet Transform," *2nd Int. Conf. Electr. Power Energy Convers. Syst.*, pp. 1–6, 2011.
- [14] S. R. Samantaray and R. Dubey, "Wavelet singular entropy-based symmetrical fault-detection and out-of-step protection during power swing," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 7, no. 10, pp. 1123–1134, 2013.
- [15] S. Gautam and S. M. Brahma, "Application of Mathematical Morphology Based Filters to Detect a Power Swing," *IEEE PES Gen. Meet.*, pp. 1–6, 2010.
- [16] P. M. Anderson and A. A. Fouad, *Power System Control and Stability*. 2003.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Carlos Andrés Lázaro Menco
 Monteria, Córdoba, Colombia, 1986 / nascimento
 Monteria, Córdoba, Colombia, 2007/ graduação
 Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, 2014/ pós-graduação
 Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidad del Sinú, Montería, Colômbia; em 2007;
 Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS,
 Brasil, em 2014; Atualmente cursa Doutorado em Engenharia Elétrica na UFSM. Principais
 interesses de pesquisa são em análise e proteção de sistemas de potência, e sistemas de geração
 distribuída. Possui experiência como Engenheiro de Proteção na Concessionária de Energia do
 Caribe, qual é responsável pela transmissão e distribuição de energia no litoral caribe colombiano.