



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

BR/GDS/11
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - X

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

CHAVEAMENTO CONTROLADO APLICADO AO RELIGAMENTO RÁPIDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Karcius M. C. Dantas (*)
UFCG

Washington L. A. Neves
UFCG

Damásio Fernandes Jr.
UFCG

Luiz C. A. Fonseca
Chesf

RESUMO

Um método para chaveamento controlado de linhas de transmissão com compensação reativa em derivação é apresentado. O método é capaz de detectar a extinção de defeitos fase-terra e fase fase-terra, evitando que religamentos ocorram sob falta. Após identificar a extinção dos defeitos, é possível religar a linha e minimizar o tempo morto em que esta fica fora de operação. Assim, reduz-se o tempo de recomposição do sistema, aumentando a sua confiabilidade e disponibilidade. O método é avaliado por meio de registros oscilográficos reais, bem como por meio de simulações digitais via ATP e os resultados comprovam a sua eficiência.

PALAVRAS-CHAVE

Chaveamento Controlado, Extinção de Falhas, Linhas de Transmissão, Sobreensões de Manobras.

1.0 - INTRODUÇÃO

Dentre as alternativas utilizadas para reduzir as sobreensões de manobras em sistemas de potência, chaveamento controlado de disjuntores ganharam grande destaque nos últimos anos (1)-(5). Alguns métodos de chaveamento controlado aplicado para manobras de energização e religamento de linhas de transmissão (LTs) tem sido reportados na literatura (6)-(10). Contudo, apesar da principal razão para o religamento de uma linha ser a eliminação de uma falta na linha e a necessidade de restaurar o sistema o mais rápido possível, estes métodos não consideram as características das tensões na linha em situações de falta, nem a possibilidade de uma falta permanente (11), (12), o que poderia acarretar em um religamento sob condição de defeito, com grande impacto para o sistema. Esse trabalho tem o objetivo de superar estes problemas.

Um método para chaveamento controlado de disjuntores de linhas de transmissão foi proposto e avaliado previamente pelos autores (13)-(16). Aqui é dado mais um passo em relação ao chaveamento controlado de linhas com compensação reativa em derivação. Os instantes apropriados para o religamento são determinados a partir da análise das características dos sinais de tensão na linha, aplicando-se transformações modais. Com este procedimento, determinam-se os instantes de extinção de faltas fase-terra e fase-fase-terra e evita-se o religamento da linha sob defeito.

A avaliação do método se dá por meio de registros oscilográficos reais provenientes da rede de oscilografia da Chesf, bem como por meio de simulações digitais via EMTP (Electromagnetic Transients Program) em que dados do SIN (Sistema Interligado Nacional) são utilizados para estudo de casos. Os resultados obtidos comprovam a eficiência do método em identificar a extinção de defeitos bem como em reduzir os surtos de manobras.

2.0 - PRINCÍPIOS DO CHAVEAMENTO CONTROLADO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Normalmente, o comando para energização ou religamento de LTs é realizado em um instante aleatório ($t_{comando}$) em relação à forma de onda da tensão entre os contatos do disjuntor, que representa o sinal de referência para o chaveamento controlado. Ainda, a manobra somente é efetivada após o período denominado tempo de operação

(*)Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Elétrica, R. Aprígio Veloso, n° 882, Bairro Universitário, CEP: 58.429-900, Campina Grande, PB - Brasil. Tel: (+55 83) 2101-1144 – Email: karcius@dee.ufcg.edu.br

do disjuntor ($T_{operacao}$). Na Figura 1 é ilustrada a estratégia para controle de manobras de fechamento. O procedimento consiste em controlar o instante $t_{comando}$ atrasando-o por um intervalo de tempo T_{atraso} de forma que o instante apropriado para o chaveamento (t_{otimo}), o qual é previamente determinado, ocorra em um instante $T_{atraso} + T_{operacao}$ depois de $t_{comando}$.

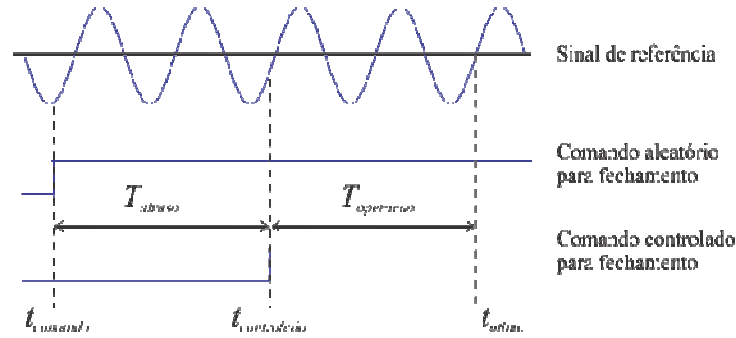


FIGURA 1 – Temporização do chaveamento controlado

Para manobras de energização de linhas de transmissão, não há cargas residuais nas linhas. Neste caso, o instante apropriado para a manobra de cada fase ocorre na passagem por zero da tensão do lado da fonte, a qual é o sinal de referência para o chaveamento controlado. Já a manobra de religamento é normalmente efetivada com a presença de cargas residuais na linha e o sinal de referência é a tensão entre os contatos do disjuntor. Estão indicados na Figura 2 os instantes apropriados para o religamento de uma das fases de uma linha com 80% de compensação reativa em derivação, os quais ocorrem na passagem por zero e no período de menor pulsação do sinal de referência. Esta situação, em que não há faltas na linha, é a considerada pelos métodos existentes. Por outro lado, é apresentado na Figura 3 o sinal de referência para uma fase sã desta mesma linha, quando da ocorrência de uma falta fase-terra. Comparando-se com a Figura 2, o efeito da falta na forma de onda do sinal de referência é evidente.

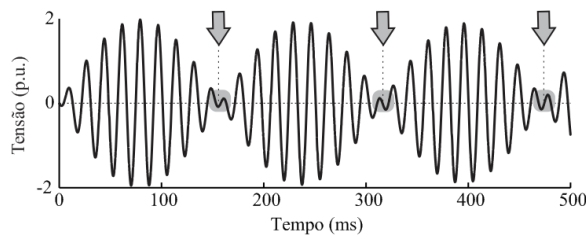


FIGURA 2 – Tensão entre os contatos do disjuntor para LT em aberto com 80% de compensação

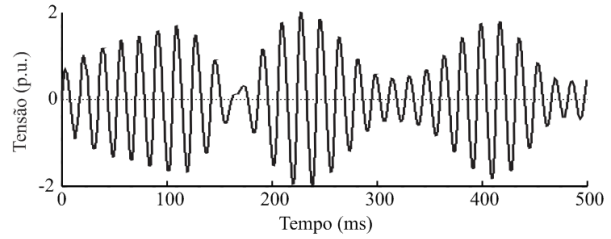


FIGURA 3 – Tensão entre os contatos do disjuntor para LT em aberto com 80% de compensação sob condição de falta

3.0 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE CARGAS RESIDUAIS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Quando um disjuntor opera no sentido de desligar uma linha de transmissão com compensação reativa em derivação, o comportamento da carga residual retida na capacitância da linha assume forma oscilatória devido ao circuito formado entre esta capacitância e a indutância dos reatores. Para melhor entendimento da natureza oscilatória da carga residual, considere inicialmente a abertura trifásica de uma linha perfeitamente transposta com compensação reativa em derivação, sem a ocorrência de qualquer defeito. Devido ao acoplamento entre as fases da linha e à composição trifásica dos reatores, o conjunto linha-reator possui duas frequências naturais de oscilação, referentes aos modos 1 e 0. Estas frequências podem ser determinadas desprezando-se a reatância da linha, a qual é bem inferior à do reator, e são dadas por:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad \text{Equação 1}$$

e

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}} \quad \text{Equação 2}$$

em que

- f_1, f_0 - Frequências de oscilação da carga residual na linha para os modos 1 e 0, respectivamente.
- L_1, C_1 - Parâmetros para o modo 1 do reator e da linha, respectivamente.
- L_0, C_0 - Parâmetros para o modo 0 do reator e da linha, respectivamente.

Nas situações em que ocorrem defeitos na linha de transmissão, as frequências de oscilação da carga residual podem ser obtidas a partir da análise de defeitos por meio de transformações modais, usando a matriz de Karrenbauer. Para os casos analisados, as conexões dos circuitos modais para análise de defeitos usando a essa matriz são similares às aquelas obtidas a partir da análise clássica por meio de componentes simétricos. A relação entre as tensões do lado da linha no domínio de fases (v_a , v_b e v_c) e no domínio modal (v_0 , v_1 e v_2), utilizando esta matriz, pode ser expressa da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_0 \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}. \quad \text{Equação 3}$$

Pode-se mostrar que para defeitos fase-terra, após a abertura da linha, os circuitos modais referentes ao conjunto linha-reator são conectados em série, conforme a Figura 4.

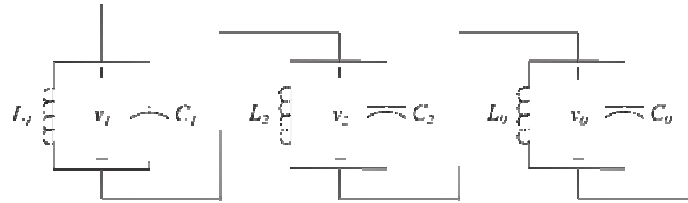


FIGURA 4 - Conexão dos circuitos modais para análise da carga residual para a LT sob defeito fase-terra.

Com base na análise do circuito elétrico representado nesta figura, as seguintes equações para as tensões modais são obtidas:

$$v_0(t) = v_0(0) \cos \left(\sqrt{\frac{2L_1 + L_0}{L_1 L_0 (C_1 + 2C_0)}} t \right), \quad \text{Equação 4}$$

$$v_2(t) = -\frac{v_0(t)}{2} + \left[\frac{v_2(0) - v_1(0)}{2} \right] \cdot \cos \left(\sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} t \right) \quad \text{Equação 5}$$

e

$$v_1(t) = -\frac{v_0(t)}{2} - \left[\frac{v_2(0) - v_1(0)}{2} \right] \cdot \cos \left(\sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} t \right) \quad \text{Equação 6}$$

As frequências de oscilação da carga residual, para uma linha sob defeito fase-terra, são determinadas pelos argumentos das funções cosseno nas Equações 4, 5 e 6. No momento em que o defeito é extinto, os circuitos de sequência são desacoplados e consequentemente, as frequências de oscilação da carga residual passam a ser determinadas pelas Equações 1 e 2. O oscilograma da Figura 5, obtido a partir de simulações digitais via ATP (Alternative Transients Program) (17), é típico de um defeito fase-terra em linhas de transmissão com 80% de compensação reativa em derivação. Nele, o defeito tem início em $t = 100$ ms e após a abertura trifásica da linha em $t = 200$ ms a carga residual comporta-se de forma oscilatória com a presença de duas componentes de frequência referentes aos modos 1 e 0, conforme apresentado na Figura 6.

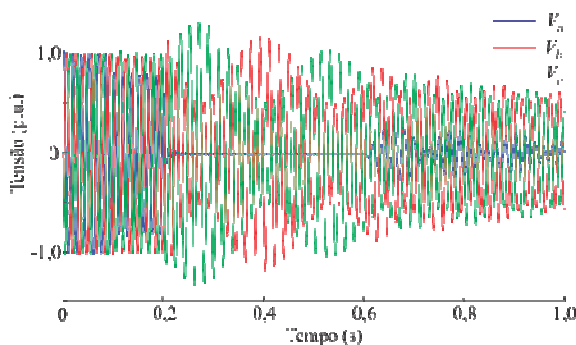


FIGURA 5 - Forma de onda da tensão na linha, após a abertura trifásica do disjuntor devido a um defeito fase-terra.

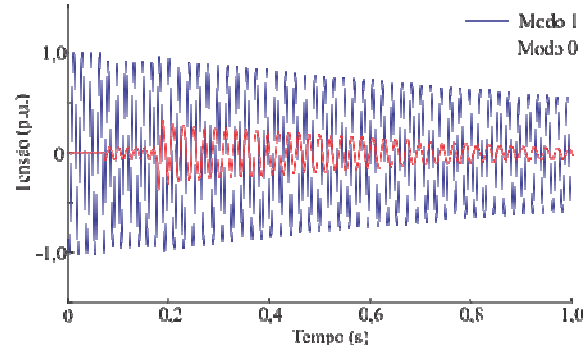


FIGURA 6 - Componentes modais 1 e 0 que compõem o sinal de tensão de uma fase da linha, para uma manobra de abertura trifásica do disjuntor devido a um defeito fase-terra.

Já para defeitos fase-fase-terra, pode-se mostrar que após a abertura da linha, devido às conexões dos circuitos modais, há apenas uma componente de frequência na fase sã, a qual é dada pela Equação 7. Caso haja a extinção da falta em apenas uma das fases, a tensão na linha se comportará de forma similar a uma falta fase-terra.

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + 2L_0}{L_1 L_0 (C_0 + 2C_1)}} \quad \text{Equação 7}$$

No caso de faltas fase-fase, pode-se mostrar que há duas componentes de frequência na carga residual da linha, as quais são dadas pelas Equações 1 e 2. Estas frequências também são observadas após a extinção da falta, tal como discutido anteriormente. Para faltas trifásicas, pode haver cargas residuais na linha, porém, estas cargas são rapidamente amortecidas e após o tempo morto, a tensão na linha é desprezível.

4.0 - MÉTODO PROPOSTO

Um método para chaveamento controlado de linhas de transmissão com compensação reativa em derivação é apresentado aqui. Este método é um melhoramento do proposto em (9) e baseia-se em um algoritmo simples de detecção de passagem por zero e transformações modais para analisar a tensão na linha após sua abertura. As componentes de frequência contidas nestes sinais de tensão são obtidas de acordo com a Seção 3.0 usando a Equação 3. Uma vez que cada componente assume uma forma de onda senoidal, os períodos dos sinais são determinados por meio de duas passagens consecutivas por zero e suas amplitudes são determinadas detectando-se o valor de pico entre esses dois zeros. Em seguida, os sinais de referência (tensão entre os contatos do disjuntor) são estimados à frente no tempo objetivando prever instantes apropriados para o religamento.

Quando a linha é aberta com o intuito de eliminar uma falta, é necessário verificar se a falta foi extinta durante o tempo morto da linha (t_{morto}) para evitar o religamento sob defeito. O método proposto identifica a extinção de defeitos fase-terra e fase-fase-terra.

4.1 Extinção de Defeitos Fase-Terra

Com base na Figura 4, o defeito persiste na linha enquanto $v_1 + v_2 = -v_0$. Ou seja, os sinais $-v_0$ e $v_1 + v_2$ são iguais e possuem uma forma de onda senoidal cuja frequência é determinada pelo argumento da função cosseno na Equação 4. Uma vez que a falta é extinta, $-v_0$ oscila com uma frequência determinada pela Equação 2 enquanto $v_1 + v_2$ oscila com uma frequência determinada pela Equação 1. Consequentemente, é possível determinar a extinção de faltas fase-terra baseando-se na seguinte proposição: enquanto $v_1 + v_2 = -v_0$, a falta persiste.

Esta proposição é válida apenas para a situação ideal em que a impedância de defeito e a reatância série da linha são desprezadas. Na prática, a soma das tensões modais ($v_0 + v_1 + v_2$) possui um valor diretamente proporcional ao da impedância de defeito. Com o intuito de superar esta dificuldade, ao invés de verificar a igualdade $v_1 + v_2 = -v_0$ ponto a ponto, verifica-se se os sinais $v_1 + v_2$ e $-v_0$ são próximos um do outro durante um determinado intervalo. Um parâmetro estatístico apropriado para este fim é o coeficiente de determinação R^2 . Este coeficiente adimensional quantifica a proximidade dos sinais entre zero e um, em que valores mais próximos de um indicam uma maior proximidade. A definição para R^2 é dada da seguinte forma:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad \text{Equação 8}$$

em que SSE é a soma quadrática das diferenças entre os sinais $v_1 + v_2$ e $-v_0$, tomadas ponto a ponto em um intervalo com N amostras de cada sinal:

$$SSE = \sum_{k=1}^N \{[v_1(k) + v_2(k)] - [-v_0(k)]\}^2 \quad \text{Equação 9}$$

e SST é a soma quadrática das diferenças entre as amostras de $-v_0$ e o valor médio deste sinal (\bar{v}_0) no intervalo com N amostras:

$$SST = \sum_{k=1}^N \{[-v_0(k)] - \bar{v}_0\}^2 \quad \text{Equação 10}$$

Caso SST seja menor que SSE , é possível obter um valor negativo para R^2 . Isto indica uma completa discrepância entre os sinais. Apenas para efeito de visualização dos resultados e sem prejuízo de qualquer natureza, caso $R^2 < 0$, considera-se neste trabalho que $R^2 = 0$.

Considerando um intervalo correspondente a um ciclo da frequência fundamental e uma taxa de amostragem de 16 amostras por ciclo, tem-se que o valor de R^2 é calculado para $N = 16$ amostras. A cada nova amostra obtida, um novo valor para R^2 é calculado com base nas últimas 16 amostras. Imediatamente após a abertura da linha, o valor de R^2 deve ser próximo de um, uma vez que os sinais $v_1 + v_2$ e $-v_0$ devem estar próximos um do outro. Quando o defeito é extinto, tem-se que estes sinais passam a ser distintos e deve-se obter um valor nulo para R^2 . Assim, com base no valor de R^2 , é possível determinar a extinção de defeitos fase-terra.

4.2 Extinção de Defeitos Fase-Fase-Terra

Considerando que as fases envolvidas na falta (por exemplo, fases A e B) apresentam valores de tensão nulos, pode-se mostrar, a partir da Equação 3, que a igualdade na Equação 11 é satisfeita. Ou seja, a condição para uma falta fase-fase-terra envolvendo as fases A e B ($v_1 + v_2 = -v_0$) é a mesma para uma falta fase-terra envolvendo a fase A. Uma análise similar pode ser feita para uma falta fase-terra envolvendo a fase B. Assim, a extinção de uma falta fase-fase-terra é determinada de forma similar ao caso de uma falta fase-terra, no entanto, as duas fases envolvidas na falta devem ser analisadas.

$$v_1 + v_2 = -v_0 = \frac{1}{3}(-v_c) \quad \text{Equação 11}$$

5.0 - AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Com o método proposto, é possível religar a linha nos primeiros instantes apropriados imediatamente após a extinção do defeito e assim, minimizar o tempo morto em que a linha fica fora de operação. Além disso, no caso da linha ser aberta devido a faltas externas, a redução do tempo morto é possível, pois a análise dos sinais de tensão é iniciada logo após a abertura da linha.

Este método é avaliado por meio de registros oscilográficos reais e simulações digitais usando o ATP, em que dados do SIN, reportados em (9), são usados para estudos de casos. O diagrama unifilar do sistema elétrico avaliado é apresentado na Figura 7 e o foco é na linha de 400 km entre Milagres e S. J. do Piauí. Para-raios de óxido de zinco (ZnO) com tensão nominal de 420 kV e um nível de proteção a impulso de manobra de 830 kV em 2 kA foram conectados nos terminais desta linha.

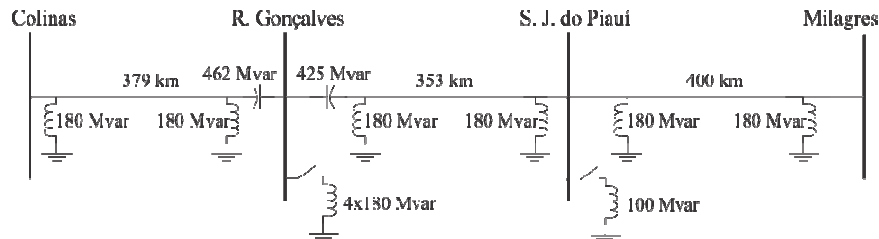


FIGURA 7 – Diagrama unifilar de parte do SIN utilizada para avaliação do método proposto.

As seguintes condições de operação para a linha de transmissão em questão foram consideradas:

- Reatores com $X0/X1 = 1,73$ conectados em ambos terminais da linha (58% compensação);
- Reatores com $X0/X1 = 1,73$ conectados apenas em Milagres (29% compensação);
- Situação hipotética para a linha com 80% de compensação e reatores com $X0/X1 = 2,90$.

5.1 Análise Quanto à Determinação da Extinção de Faltas

Faltas fase-terra e fase-fase-terra ao longo da linha de transmissão foram simuladas considerando diferentes parâmetros: grau de compensação da linha (29, 58 e 80%) e resistência de falta ($r_{falta} = 0,1, 10$ e 100Ω). A falta ocorre em $t = 100$ ms e em $t = 200$ ms a linha é aberta. Em torno de $t = 600$ ms a falta é extinta. Alguns resultados relacionados ao desempenho do método proposto são apresentados nas Figuras 8 e 9. Para todos os casos analisados, o método proposto foi capaz de identificar a extinção das faltas.

Ainda, cerca de 50 registros oscilográficos advindos da rede de oscilografia da Chesf foram utilizados para avaliação do método. Nas Figuras 10 e 11 são apresentados registros oscilográficos típicos para defeitos fase-terra em linhas de 500 kV da Chesf, bem como a aplicação do método proposto para identificação da extinção destes defeitos. A depender das características das linhas e dos reatores, o comportamento da carga residual pode ser bastante distinto durante e após o defeito. Na Figura 10, por exemplo, o defeito ocorre aproximadamente no instante $t = 50$ ms e após a abertura da linha em torno de $t = 100$ ms, a carga residual oscila com duas componentes de frequência (referentes aos modos 1 e 0). O mesmo fenômeno ocorre para a Figura 11. Observa-se ainda, que mesmo após o defeito ser extinto, a componente de frequência referente ao modo zero continua bastante evidente no sinal. Em situações reais, não há informações suficientes sobre as ocorrências, tais como: condição de operação da linha, resistência de defeito, local de ocorrência do defeito, instante exato em que o

defeito foi extinto, etc. Apesar disto, ao observar o comportamento das cargas residuais, tanto para as fases sãs quanto para as fases sob defeito, verifica-se que o método proposto é capaz de identificar a sua extinção corretamente.

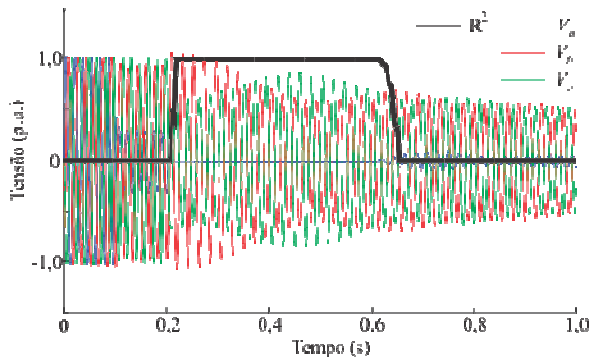


FIGURA 8 – Tensão na linha Milagres – S.J. do Piauí, com 58% de compensação, para simulação digital de abertura trifásica devido a defeito fase-terra em Milagres com $r_{falha} = 0,1 \Omega$ e detecção da extinção do defeito.

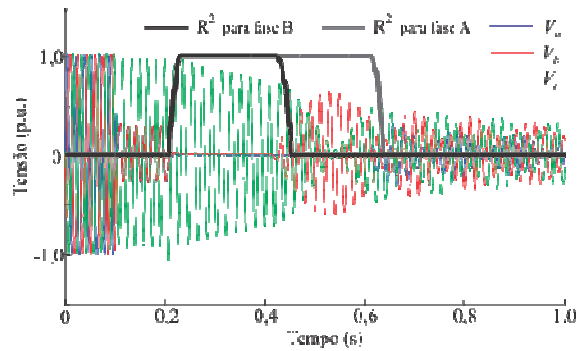


FIGURA 9 – Tensão na linha Milagres – S.J. do Piauí, com 80% de compensação, para simulação digital de abertura trifásica devido a defeito fase-fase-terra no meio da linha com $r_{falha} = 10 \Omega$ e detecção da extinção do defeito.

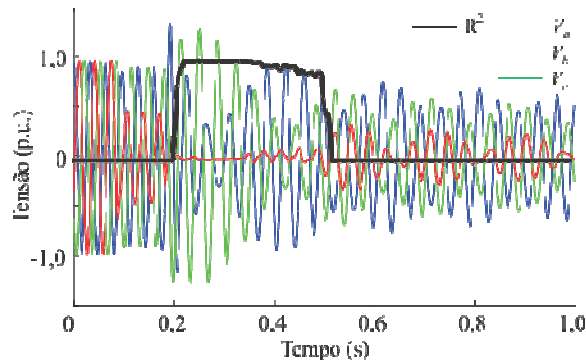


FIGURA 10 – Oscilografia real da tensão na linha 05V5, entre as subestações de Fortaleza II e Quixadá, para abertura trifásica devido a defeito fase-terra e detecção da extinção do defeito.

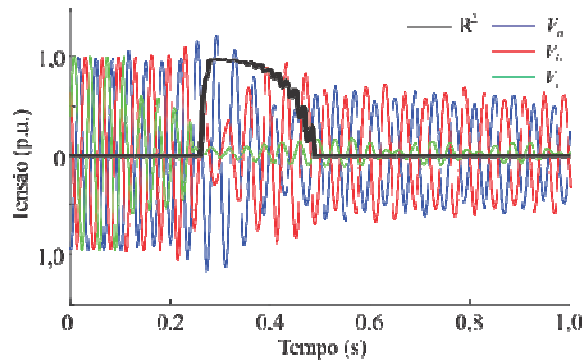


FIGURA 11 – Oscilografia real da tensão na linha 05V3, entre as subestações de Milagres e Quixadá, para abertura trifásica devido a defeito fase-terra e detecção da extinção do defeito.

5.2 Análise de Sobretensões

Verifica-se aqui o desempenho do método proposto para chaveamento controlado de linhas de transmissão quanto à redução das sobretensões de manobras de energização e religamento da linha Milagres – S.J. do Piauí. Para uma correta avaliação do método, dispersões estatísticas em relação ao tempo de operação dos disjuntores devem ser consideradas. Desta forma $T_{operacao}$ é dado em função do tempo nominal de operação do disjuntor ($T_{nominal}$) e da variação estatística neste tempo de operação ($\Delta T_{estatístico}$): $T_{operacao} = T_{nominal} + \Delta T_{estatístico}$. Esta variação estatística foi representada por uma distribuição de probabilidade Gaussiana considerando uma variação máxima de 2 ms.

O desempenho do método proposto é comparado com o dos resistores de pré-inserção (RPI), onde uma resistência de 400Ω e um tempo de inserção de 8 ms foram usados. Ainda, para fins de comparação, considera-se a situação em que há apenas para-raios nos terminais da linha durante as manobras.

Para cada caso avaliado, um total de 400 simulações estatísticas foram realizadas e os máximos valores de sobretensões ao longo da linha com probabilidade de ocorrência menor ou igual a 2% são apresentados na Figura 12. As sobretensões são avaliadas nos terminais da linha e a 25, 50 e 75% de seu comprimento total. Observa-se que o uso do RPI ou do método proposto em conjunto com para-raios limita as sobretensões de manobra eficientemente e os níveis de tensão obtidos são bem inferiores do que os níveis obtidos apenas com para-raios.

A fim de facilitar a análise comparativa, são apresentados na Tabela 1 os máximos valores de sobretensão com probabilidade de ocorrência menor ou igual a 2% para cada condição de operação abordada. Os melhores resultados obtidos com o método proposto, o que elimina a necessidade do RPI, se devem a uma boa precisão na determinação dos sinais de referência em instantes futuros, o que permite a determinação dos instantes apropriados para o fechamento dos disjuntores.

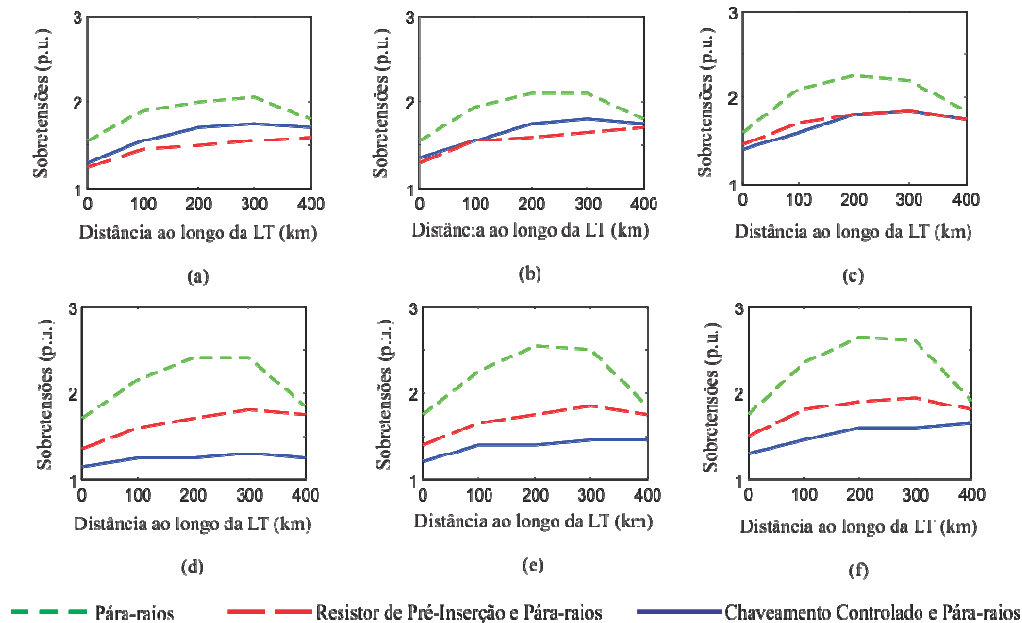


FIGURA 12 - Sobretensões ao longo da LT: (a) Energização (80% de compensação); (b) Energização (58% de compensação); (c) Energização (29% de compensação); (d) Religamento (80% de compensação); (e) Religamento (58% de compensação); (f) Religamento (29% de compensação).

TABELA 1 – Máximos valores de sobretensão com probabilidade de ocorrência menor que 2% ($V_{base} = 550$ kV)

Condição de Operação	Máxima Sobretensão (p.u.)					
	Energização			Religamento		
	PR	RPI	CC	PR	RPI	CC
80% compensação	2,05	1,60	1,75	2,40	1,80	1,30
58% compensação	2,10	1,70	1,80	2,55	1,85	1,45
29% compensação	2,25	1,85	1,85	2,65	1,95	1,65

PR – Apenas Para-raios

RPI – Resistor de pré-inserção e para-raios

CC – Chaveamento Controlado e para-raios

6.0 - CONCLUSÕES

Um método para chaveamento controlado de linhas de transmissão com compensação reativa em derivação foi apresentado. Esse método também é capaz de detectar a extinção de defeitos fase-terra e fase-fase-terra após a abertura trifásica da linha e foi avaliado por meio de registros oscilográficos reais, bem como por meio de simulações digitais usando o ATP. Os resultados obtidos comprovam a eficiência do método para os fins que se propõe.

Com base no exposto, pode-se evitar que ocorra uma manobra de religamento da linha sob condição de defeito, caso após o tempo morto pré-determinado haja indicação de que o defeito não foi extinto. Consequentemente, evita-se a realização de uma manobra sem sucesso e o respectivo impacto que uma manobra desta natureza pode causar ao sistema. Caso a extinção do defeito seja verificada durante o tempo morto especificado, pode-se enviar um comando para o religamento da linha antes que este tempo seja atingido. Com isto, é possível a partir da aplicação do método proposto, reduzir o tempo morto em que a linha fica fora de operação e aumentar a confiabilidade dos sistemas elétricos, reduzindo o respectivo tempo de recomposição.

Com base nos resultados obtidos para redução de sobretensões de manobras, conclui-se que o método proposto para chaveamento controlado de linhas pode eliminar a necessidade do uso dos resistores de pré-inserção, aumentando assim a confiabilidade dos disjuntores de linhas e reduzindo os seus custos de fabricação e manutenção. Porém, uma vez que diversos parâmetros do sistema elétrico podem influenciar nos níveis de sobretensões de manobras, devido às particularidades de cada sistema, os resultados ora obtidos, a priori não devem ser generalizados e uma análise detalhada da aplicação do método apresentado deve ser realizada. Dentre os parâmetros que devem ser levados em consideração nas análises encontram-se as especificações dos disjuntores com relação à variação no tempo de operação de fechamento e taxa de decaimento da rigidez dielétrica do mesmo.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CIGRE Task Force 13.00.1, "Controlled Switching: A State of the Art Survey - Part I," *ELECTRA*, no. 162, pp. 65–97, Oct. 1995.
- (2) CIGRE Working Group 13.07, "Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers - 1st Part," *ELECTRA*, no. 183, pp. 42–73, Apr. 1999.
- (3) H. Ito, "Controlled Switching Technologies, State-of-the-Art," *Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific, IEEE/PES*, Oct. 2002.
- (4) M. Sanaye-Pasand, M. Dadashzadeh, and M. Khodayar, "Limitation of Transmission Line Switching Overvoltages Using Switchsync Relays," *International Conference on Power Systems Transients (IPST)*, Montreal, Canada, Jun. 2005.
- (5) D. Goldsworthy, T. Roseburg, D. Tziouvaras, and J. Pope, "Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers - Application Examples and Benefits," *61st Annual Conference for Protective Relay Engineers*, College Station, Texas USA, Apr. 2008.
- (6) K. Froehlich, C. Hoelzl, M. Stanek, A. C. Carvalho, W. Hofbauer, P. Hoegg, B. L. Avent, D. F. Peelo, and J. H. Sawada, "Controlled Closing on Shunt Reactor Compensated Transmission Lines. Part I: Closing Control Device Development," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 12, no. 2, pp. 734–740, Apr. 1997.
- (7) U. Samitz, H. Siguerdidjane, F. Boudaoud, P. Bastard, J. Dupraz, M. Collet, J. Martin, and T. Jung, "On Controlled Switching of High Voltage Unloaded Transmission Lines," *e&i Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 119, pp. 415–421, Dec. 2002.
- (8) G. Pilz, P. Schegner, C. Wallner, H. Muhr, and S. Pack, "An Algorithm for the Three-Pole Controlled Auto-Reclosing of Shunt Compensated Transmission Lines with an Optimization for the Second and Third Pole," *e&i Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 121, pp. 446–451, Dec. 2004.
- (9) K. M. C. Dantas, D. Fernandes Jr., W. L. A. Neves, B. A. Souza, and L. C. A. Fonseca, "Mitigation of Switching Overvoltages in Transmission Lines via Controlled Switching," *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, Pittsburgh, USA, Jul. 2008.
- (10) P. Mestas, M. Tavares, and A. Gole, "Implementation and Performance Evaluation of a Reclosing Method for Shunt Reactor-Compensated Transmission Lines," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 26, no. 2, pp. 954–962, Apr. 2011.
- (11) CIGRE Working Group A3.07, "Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers. Benefits & Economic Aspects," Jan. 2004.
- (12) P. Mestas, M. Tavares, and A. Gole, "Parametric Analysis of Three-Phase Autoreclosing Method for Compensated Transmission Lines," *International Conference on Power Systems Transients (IPST)*, Delft, The Netherlands, Jun. 2011.
- (13) K. M. C. Dantas, W. L. A. Neves, D. Fernandes Jr., G. A. Cardoso, and L. C. A. Fonseca, "On Applying Controlled Switching to Transmission Lines: Case Studies," *International Conference on Power Systems Transients (IPST)*, Kyoto, Japan, Jun. 2009.
- (14) K. M. C. Dantas, W. L. A. Neves, D. Fernandes Jr., G. A. Cardoso, and L. C. A. Fonseca, "Avaliação de Chaveamento Controlado de Linhas de Transmissão em Tempo Real". Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife - Brasil, 2009.
- (15) K. M. C. Dantas, W. L. A. Neves, D. Fernandes Jr., "Aplicação de Chaveamento Controlado para Manobras de Religamento de Linhas de Transmissão: Estudos de Caso". Revista Eletroevolução, v. 58, p. 53_61, 2010.
- (16) K. M. C. Dantas, W. L. A. Neves, D. Fernandes Jr., G. A. Cardoso, and L. C. A. Fonseca, "Real Time Implementation of Transmission Line Controlled Switching," *International Conference on Power Systems Transients (IPST)*, Delft, The Netherlands, Jun. 2011.
- (17) ATP - *Alternative Transient Program*, Leuven EMTP Center, Herverlee, Belgium, 1987.