

## **AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO PARA REDUÇÃO DE DESLIGAMENTOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO POR BACKFLASHOVER**

Felipe Vasconcellos; Fernando Moreira  
Departamento de Engenharia Elétrica da UFBA, felipe.vasconcellos@ufba.com.br  
Departamento de Engenharia Elétrica da UFBA, moreiraf@ufba.br

### **Introdução**

As descargas atmosféricas são uma das principais fontes de perturbações causadas em linhas de transmissão no Brasil, gerando sobretensões nas linhas de transmissão que podem levá-las ao seu desligamento. As faltas causadas por descargas atmosféricas causam sérios danos em componentes das linhas, a exemplo das cadeias de isoladores, além de problemas de estabilidade e *blackouts* (VISACRO FILHO, 2005).

Quando a descarga atmosférica atinge o cabo-guarda ou a torre, a intensidade do campo elétrico em torno da estrutura da torre se eleva significativamente. A partir de um dado instante, o campo elétrico em torno da estrutura pode atingir um valor crítico, causando o rompimento da rigidez dielétrica do ar, gerando um arco elétrico entre o cabo-guarda e a fase ou entre a torre e a fase, denominado de *backflashover*.

Os backflashovers exercem importante influência no desempenho de um sistema de transmissão, pois se estima que entre 40% a 70% dos desligamentos de linhas de transmissão são provocadas por tal fenômeno (SHUWEN, et al., 2011).

Assim, neste trabalho serão simulados e avaliados os efeitos da variação das características da corrente de descarga e da resistividade do solo no dimensionamento dos sistemas de aterramento das torres de uma linha de 138 kV com o objetivo de manter os níveis de sobretensão nas cadeias de isoladores da torre dentro do valor mínimo do Nível Básico de Isolamento (650 kV para essa classe de tensão) e evitar assim a disrupção sobre a cadeia de isoladores.

### **Metodologia**

A análise do desempenho dos sistemas elétricos frente às descargas atmosféricas se inicia pela modelagem adequada de cada elemento (torre de transmissão, linha de transmissão, sistema de aterramento, corrente da descarga atmosférica) considerando os aspectos transitórios inerentes ao fenômeno.

A descarga atmosférica foi representada utilizando-se uma fonte de corrente conforme modelo proposto por Heidler (HEIDLER, et al., 1999), disponível no ATPDraw como uma fonte de corrente tipo 15.

A torre foi modelada por linhas sem perdas. Nesse modelo a torre de transmissão é composta por linhas curtas sem perdas que representam a impedância de cada trecho da torre. Por sua vez esses valores são calculados em função das dimensões e configurações das torres.

Os vãos da linha de transmissão foram modelados pelo modelo de linha de transmissão Bergeron do ATP, considerando-se parâmetros distribuídos a frequência constante, linha não transposta e efeito pelicular. Para o cálculo dos parâmetros são utilizados os dados físicos de cada um dos cabos, tais como: posição física relativa, diâmetro e resistência ôhmica.

O sistema de aterramento das torres de transmissão é composto por todos os elementos metálicos que compõem a torre e que mantém contato com o solo ou com as fundações e qualquer dispositivo de aterramento, tais como: hastes de aterramento, anéis horizontais,

contrapesos, ou ainda qualquer combinação destes que estejam enterrados no solo. (KINDERMANN, et al.).

O modelo elétrico do condutor contrapeso será o modelo  $\pi$ , cujos valores dos parâmetros são obtidos por meio das formulações de Sunde (SUNDE, 1949). Cada célula de circuito  $\pi$  utilizado representa uma seção do cabo contrapeso. A representação generalizada do condutor contrapeso utilizada nas simulações é modelada por  $n$  células idênticas, correspondentes cada uma a um metro do referido condutor. O modelo elétrico da haste de aterramento é o proposto por Sunde (SUNDE, 1949).

Nas simulações a corrente de descarga incidirá diretamente no topo da torre central, considerando duas torres adjacentes e com dois “tipos” de corrente de descargas, resultado de medições na estação de Morro do Cachimbo-MG (VISACRO *et al.*, 2004).

A torre adotada nas análises tem uma configuração padrão para linhas de 138 kV circuito simples, sua altura é de 25,1 metros com impedância de surto de 180  $\Omega$ , nos seus quatro trechos que mede, respectivamente: 3,45; 1,90; 1,90 e 17,85 metros. A velocidade de propagação da onda de surto é de 280 Mm/s.

Foi considerada uma linha de transmissão com uma das suas extremidades conectada a uma fonte de tensão de 138 kV entre fases e implementada com comprimento de 20 km nas torres das extremidades para simular uma linha de transmissão infinita (neste caso, as reflexões não retornam antes do fim do tempo total de estudo, não afetando os resultados porque só há interesse nas sobretensões máximas).

Foram adotados os valores de permissividade dielétrica relativa igual a 10 e permeabilidade relativa igual a um para as simulações(LIMA, 2010).

## Resultados e discussão

Neste item serão analisadas as amplitudes das sobretensões que determinam a ocorrência de disrupções devido ao fenômeno de backflashover e a análise da influência dos arranjos de aterramento nessas ocorrências. Em todos os casos o objetivo é alcançar os arranjos de aterramento suficientes para garantir que as sobretensões nos isoladores estejam abaixo de 650 kV.

Caso 1: Corrente de Descarga com amplitude de 45,3 kA, tempo de frente de 5,6 $\mu$ s, tempo de cauda de 53,5 $\mu$ s e resistividade de 500 $\Omega$ .m:

Foram testadas duas topologias utilizando apenas hastes de aterramento de 3/4’’x1,5m e 5/8’’x2,4m, com resultados de respectivamente 3500 kV e 3000 kV. Como os resultados não foram satisfatórios em relação ao objetivo, foram incrementadas as topologias para o uso de cabo contrapeso de aço-cobre 4 AWG, enterrados a 60cm da superfície do solo, no sentido longitudinal da linha conectados ao pé da torre e associados a hastes de aterramento ou não.

Foram comparados os resultados da associação de 1m de cabo contrapeso com a haste de 5/8’’x2,4m e 1m de cabo contrapeso apenas, para avaliar a eficiência da associação. As sobretensões máximas foram de 2500 kV e 2650 kV, respectivamente. A partir de 10 metros de cabo contrapeso, a influência da haste passa a ser desprezível, pois em ambos os casos foram medidas sobretensões de 1300 kV, então a partir desta simulação, foi descartado o uso de tal associação. Por último foram comparados os resultados de uma topologia com um cabo contrapeso de 20m e outra utilizando dois cabos conectados a dois pés da torre, com resultados de 900 kV e 565 kV respectivamente, sendo o último eficaz para a proteção da linha em relação ao fenômeno do *backflashover*.

Caso 2: Corrente de Descarga com amplitude de 85,2 kA, tempo de frente de 9,9 $\mu$ s, tempo de cauda de 145,2 $\mu$ s e resistividade de 500 $\Omega$ .m:

Em função da relação diretamente proporcional da corrente de descarga e dos valores de sobretensão, as simulações já se iniciaram com um sistema mais robusto do aterramento Utilizando um arranjo composto de quatro cabos contrapeso conectados a cada pé da torre.

Assim sendo, foram simulados duas situações com 4x20m e 4x10m. Resultou-se, respectivamente, em 600kV e 800kV de tensão máxima. Assim sendo, a primeira topologia foi suficiente para evitar a descarga disruptiva de retorno.

Caso 3: Corrente de Descarga com amplitude de 45,3 kA, tempo de frente de 5,6 $\mu$ s, tempo de cauda de 53,5 $\mu$ s e resistividade de 1000 $\Omega$ .m:

Utilizando as mesmas configurações de 4x10 e 4x20, resultou-se em 750kV e 550kV, respectivamente. Deste modo, o último arranjo eficaz para proteger a linha da interrupção na cadeia de isoladores.

Caso 4: Corrente de Descarga com amplitude de 85,2 kA, tempo de frente de 9,9 $\mu$ s, tempo de cauda de 145,2 $\mu$ s e resistividade de 1000 $\Omega$ .m:

Sendo esse o caso mais crítico, os estudos já principiam utilizando a mesma topologia com quatro cabos, porém com arranjos de 4x40m e 4x30m, sendo os resultados, respectivamente, 630kV e 720kV. Desta forma, o primeiro arranjo se faz necessário para evitar o desligamento por *backflashover*.

### Conclusões

Considerando uma linha de 138 kV típica, foram realizadas diversas simulações variando os valores dos parâmetros da corrente da descarga atmosférica e da resistividade do solo. Os resultados comprovam que, para os casos estudados, ao aumentar o comprimento do cabo contrapeso, reduz-se a impedância de aterramento das torres e conseqüentemente atenua-se as sobretensões nos isoladores.

Também foi verificado, que à medida que o comprimento dos cabos contrapeso aumenta, a influência das hastes de aterramento torna-se insignificante, corroborando assim as configurações usuais das concessionárias de energia, pois estas não apresentam tais associações.

**Palavras-Chave:** Descargas Atmosféricas; Backflashover; Sistemas de Aterramento; ATP; Desempenho de Linhas de Transmissão.

### Referências

**BABA, Y. e ISHII, M. 1999.** Numerical electromagnetic field analysis on measuring methods of tower surge impedance. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2, abril de 1999, Vol. 14, pp. 630-635.

**CHISHOLM, W. A., CHOW, Y. L. e SRIVASTAVA, K. D. 1983.** Lightning Surge Response of Transmission Towers. *IEEE Trans.* 1983, Vols. PAS-102, pp. 3232-3242.

**HEIDLER, F., CVETIC, J. M. e STANIC, B. V. 1999.** Calculation of lightning current parameters. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2, abril de 1999, Vol. 14, pp. 399-404.

**KINDERMAN, G. e CAMPAGNOLO, J.M. 1995.** *Aterramento Elétrico*. Porto Alegre : Editora Sagra;DCLuzzatto, 1995.

**LIMA, A. B. 2010.** *MÉTODO PARA CÁLCULO DA IMPEDÂNCIA DE MALHAS DE ATERRAMENTO DE TORRES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO*. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil : s.n., Setembro de 2010.

**MOTOYAMA, H. e MATSUBARA, H. 2000.** Analytical and experimental study on surge response of transmission tower. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2, abril de 2000, Vol. 15, pp. 812-819.

**SHUWEN, W. e WENXIN, S. 2011.** Back flashover protection performance analysis of 220 kV double circuit transmission line. *Proc. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*. Março de 2011.



**SUNDE, E. D. 1949.** *Earth Conduction Effects in Transmission Systems.* New York : Dover Publ., 1949.

**VISACRO FILHO, S. 2005.** *Descargas Atmosféricas: uma abordagem de engenharia.* São Paulo : Artliber, 2005.

