

INSERÇÃO DO EFEITO CORONA EM UM MODELO DE LINHA DE TRANSMISSÃO. Germano Ferreira Wedy, Sérgio Kurokawa. – Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus de Ilha Solteira.

O termo corona é comumente utilizado para descrever as descargas elétricas em gases. Estas descargas ocorrem na presença de um campo elétrico que acelera os elétrons livres presentes no gás. Quando esses elétrons adquirem energia suficiente do campo elétrico, podem produzir novos elétrons livres a partir do choque com outros átomos. Este processo é denominado processo de ionização por impacto. Durante a sua aceleração no campo elétrico, cada elétron livre colide com átomos de oxigênio, nitrogênio e outros gases presentes, perdendo, nessa colisão, parte de sua energia cinética. Ocasionalmente um elétron pode atingir um átomo com força suficiente, de forma a excitá-lo. Nessas condições, o átomo atingido passa a um estado de energia mais elevado. O estado orbital de um ou mais elétrons muda e o elétron que colidiu com o átomo perde parte de sua energia, para criar esse estado. Posteriormente, o átomo atingido pode reverter ao seu estado inicial, liberando o excesso de energia em forma de calor, luz, energia acústica e radiações eletromagnéticas. Um elétron pode igualmente colidir com um íon positivo, convertendo-o em átomo neutro. Esse processo, denominado recombinação, também libera excesso de energia.

O efeito corona também pode manifestar-se em linhas de transmissão de energia elétrica. Neste caso, o mesmo estará presente nos momentos em que o valor do gradiente de potencial na linha excede o valor do gradiente crítico disruptivo do ar. Nestas condições um campo elétrico de alta intensidade provoca a ionização do ar próximo ao condutor, permitindo deste modo a ocorrência de descargas elétricas entre o condutor fase e a terra. Esta descarga fase-terra produz perdas de energia que, para o caso de linhas em tensões extra-elevadas podem variar de alguns quilowatts por quilometro até algumas centenas de quilowatts por quilometro, sob condições adversas de chuva ou garoa. As perdas médias, como se verificou, podem constituir apenas pequenas partes das perdas por efeito joule, porém as perdas máximas podem ter influencia significativa nas demandas dos sistemas, pois a capacidade geradora para atender a essa demanda adicional deverá ser prevista ou a diferença de energia importada, e faz com que o ar ionizado se torne azul. Geralmente, quanto maior a tensão, maior o efeito corona.

A análise do efeito corona é também bastante importante em se tratando da proteção de sistemas de energia elétrica, pois o mesmo exerce influência no nível das sobretensões que ocorrem nas linhas de transmissão e também no formato das ondas que propagam-se ao longo da linha durante a ocorrência de descargas atmosféricas nas mesmas. Portanto, a especificação do nível de isolamento dos equipamentos conectados na linha e a especificação dos pára-raios devem levar em conta a influência do efeito corona.

Em estudos de transitórios eletromagnéticos que ocorrem nos sistemas de energia elétrica, uma linha de transmissão pode ser representada por meio de uma cascata de circuitos π . A Fig. 1 mostra uma linha de transmissão de comprimento d representada por meio de uma cascata de n circuitos π .

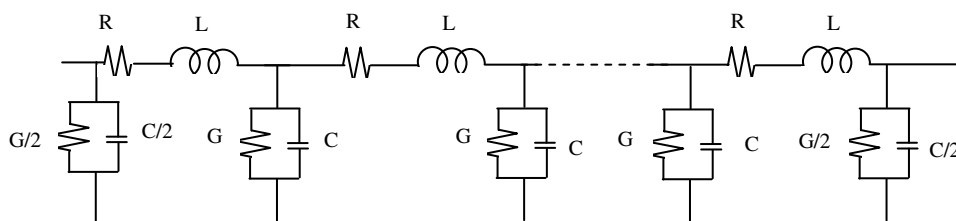


Figura 1 – Linha representada por uma cascata de n circuitos π .

Na Fig. 1 R e L são, respectivamente, a resistência e a indutância do segmento de linha representado por cada um dos elementos π enquanto que G e C são a condutância e a capacitância, respectivamente.

O sistema mostrado na Fig. 1 pode ser representado por meio de uma equação de estado. Deste modo, têm-se:

$$\dot{[x(t)]} = [A][x(t)] + [B]u(t) \quad (1)$$

Na equação (1) $[A]$ e $[B]$ são as matrizes de estado enquanto que $[x(t)]$ é o vetor com as variáveis de estado. Definindo como variáveis de estado as tensões nas capacitâncias e as correntes nas indutâncias, a matriz $[A]$ terá dimensão $2n \times 2n$, $[B]$ e $[x(t)]$ terão dimensões $2n \times 1$.

Para incluir o efeito corona no modelo de linhas de transmissão, este trabalho propõe a utilização do modelo de Gary. Deste modo, o efeito corona será representado por meio de uma capacitância e de uma condutância que deverão ser conectadas em paralelo com os parâmetros transversais da linha em cada um dos circuitos π , do tipo mostrado na Fig. 1, que constituem a cascata que representam a linha. Estes parâmetros são escritos como funções não lineares da tensão.

No modelo de Gary, a capacitância devido ao efeito corona é escrita como sendo:

$$C_C = C \eta \left(\frac{v}{V_C} \right)^{\eta-1} \quad (2)$$

Na equação (2) C_C a capacitância corona, C a capacitância geométrica do segmento de linha representado por um circuito π (veja Fig. 1), v é a tensão que está sendo aplicada sobre a capacitância transversal da linha, V_C é o valor mínimo de tensão necessário para que o efeito corona se manifeste e η é um coeficiente definido como sendo:

$$\eta = 0,22 r + 1,2 \quad (3)$$

sendo r o raio do condutor em centímetros.

A condutância corona, de acordo com o modelo de Gary, é definida como pela seguinte expressão:

$$G_C = k_C \left(\frac{1 - V_C}{v} \right)^2 \quad (4)$$

O modelo de Gary considera que o efeito corona somente se manifesta se a tensão v é maior que V_C e se a taxa de variação de v em relação ao tempo é positiva. Deste modo, para que o efeito corona se manifeste em um determinado ponto P da linha, a tensão V_p neste ponto deve obedecer as seguintes condições:

$$V_p > V_C \quad \text{e} \quad \frac{dV_p}{dt} > 0 \quad (5)$$

Portanto, para que o efeito corona esteja presente em um ponto genérico da linha representada por meio de uma cascata de circuitos π , do tipo mostrado na Fig. 1, é necessário que a tensão neste ponto satisfaça as duas condições mostradas na equação (5). Caso uma das condições não seja atendida, este ponto não terá a capacitância e a condutância que representam o efeito corona.

A capacitância e a condutância que representam o efeito corona na linha devem então ser inseridas na matriz $[A]$ mostrada na equação (1).

Os modelos para a linha e para o efeito corona, mostrados anteriormente, foram utilizados para representar uma linha monofásica de 2184,5 m sujeita a uma descarga atmosférica em uma de suas extremidades conforme mostra a Fig. 2.

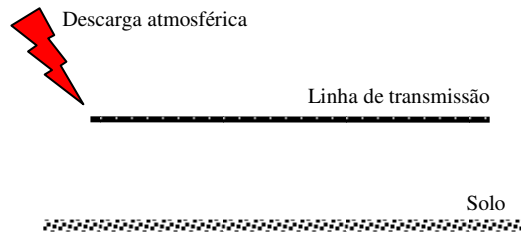


Figura 2 – Linha submetida a uma descarga atmosférica.

Os parâmetros da linha mostrada na Fig. 2 são $R=11,35 \text{ } \Omega/\text{km}$, $L=1,73 \text{ mH/km}$, $G=0,556 \text{ } \mu\text{S/km}$ e $C=7,8 \text{ nF/km}$. Considerou-se que a linha situa-se a uma altura $h=18,9 \text{ m}$ acima do solo e que a mesma possui um condutor cujo raio é $r=2,54 \text{ cm}$. As correntes e tensões em cada um dos circuitos π foram descritas sob a forma de equações de estado cujas soluções foram obtidas por meio de métodos numéricos. Para evitar a ocorrência de reflexões nos terminais da linha, conectou-se no terminal da mesma uma impedância igual à sua impedância característica. Considerou-se que a tensão disruptiva do ar é 550 kV .

A linha de transmissão foi representada por meio de uma cascata de 100 circuitos e a descarga atmosférica foi representada por uma fonte de tensão impulsiva com amplitude de 1560 kV . As equações de estado foram evoluídas numericamente por meio do método de integração trapezoidal.

Foram realizadas duas simulações da descarga atmosférica na linha. Inicialmente considerou-se a linha sem a presença do efeito corona e a segunda simulação foi realizada levando-se em conta o efeito corona na linha. Neste caso, utilizou-se o modelo de Gary para representar o efeito corona.

A Fig. 3 mostra a tensão resultante da descarga atmosférica na extremidade da linha, quando não se leva em conta a presença do efeito corona, enquanto que na Fig. 4 são mostradas as tensões na linha considerando-se a presença do efeito corona.

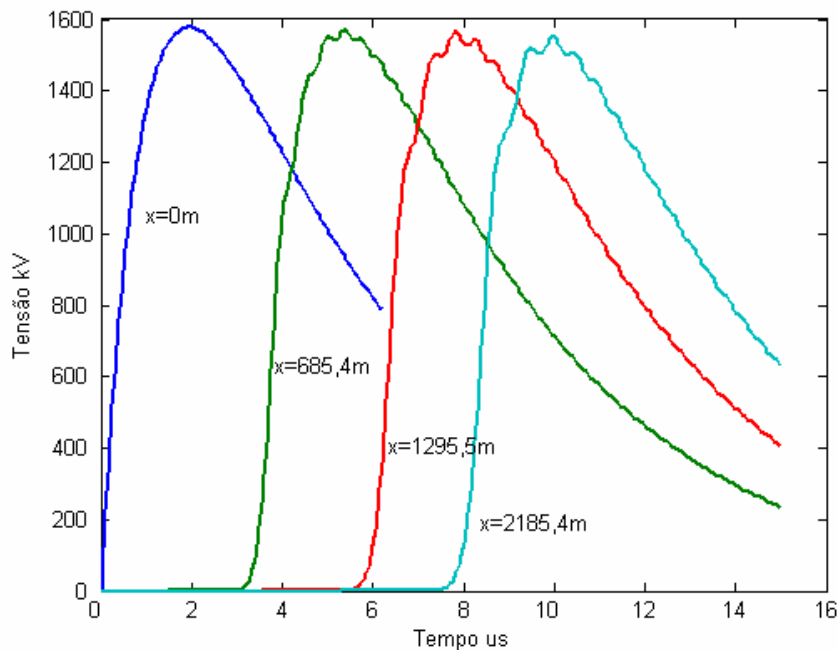


Figura 3 – Formas de ondas da tensão na linha, sem o efeito corona.

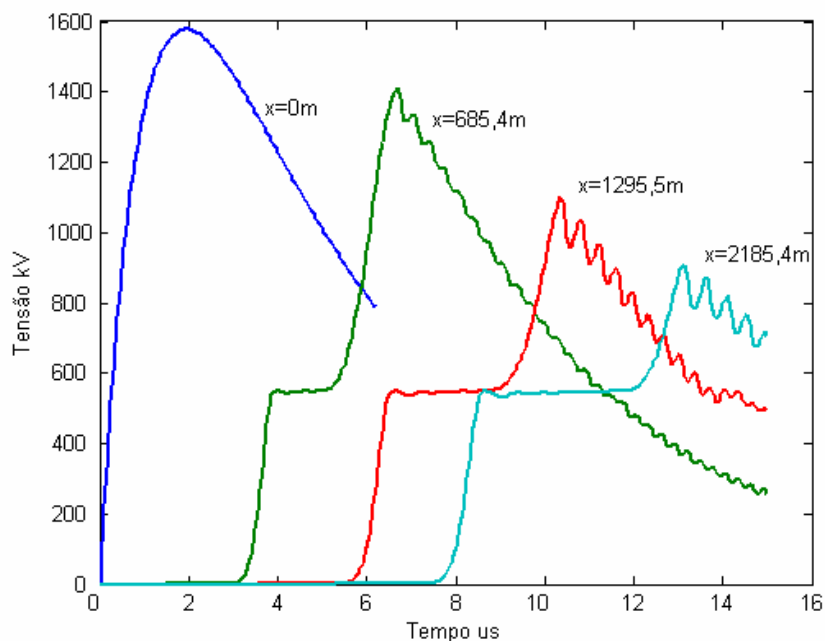


Figura 4 – Formas de ondas da tensão na linha, com o efeito corona.

Comparando as Figs. 3 e 4, verifica-se que o efeito corona provoca distorções nas formas de ondas de tensões resultantes de uma descarga atmosférica que atinge a linha. O efeito corona também reduz a amplitude das sobretensões resultantes da descarga atmosférica na linha.

Portanto, com base nas Figs. 3 e 4, conclui-se que se o nível de isolamento dos equipamentos instalados na linha forem especificados sem levar se em conta o efeito corona, os mesmos estarão superdimensionados.

Quanto aos dispositivos de proteção que são instalados na linha, os mesmos são projetados considerando-se que as sobretensões a que os mesmos estarão submetidos não possuem distorções, ou seja, não se leva em consideração o efeito corona na linha. Uma vez que o efeito corona provoca distorções nas sobretensões, os equipamentos de proteção poderão ter seu desempenho comprometido em situações em que o efeito corona está presente na linha.

Referências Bibliográficas

- [1] M. S Mehmet. International Conference on Power Systems Transients, IPST 2003 in New Orleans, USA.
- [2] ANEEL, Linhas de Transmissão no Brasil. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/67.htm>>. Acesso em 15 mar. 2006.
- [3] CTEEP, Sistema de Transmissão. Disponível em: <http://www.cetep.com.br> . Acesso em 10 fev. 2006.

Bolsa: FAPESP