



Ciências e Inovação: Tecnologias Sustentáveis Para Preservação do Meio Ambiente

Análise da Onda Dupla Exponencial do Impulso de Corrente de Descargas Atmosféricas

Kristian Pessoa dos Santos

Mestrando em Engenharia Elétrica – IFPI/ Parnaíba – kristianpessoa@ifpiparnaiba.edu.br.

Francisco Ronan Viana Araújo

Graduando em Lic. em Física – IFPI/ Parnaíba – ronan.viana@hotmail.com.br.

Resumo: Uma das principais causas de interrupções no fornecimento de energia elétrica em sistemas de distribuição são as descargas. As descargas atmosféricas são fenômenos naturais complexos que se ao atingir os sistemas de energia elétrica causam grandes prejuízos materiais através de correntes impulsivas de alta intensidade e curta duração. Dessa forma, é importante a análise matemática sobre este fenômeno para que sejam desenvolvidos dispositivos de proteção contra surtos atmosféricos. Neste trabalho, é abordada uma análise matemática da corrente elétrica oriunda das descargas atmosféricas através da forma de onda dupla exponencial e através de simulações computacionais obtém-se tais ondas com diversos valores de amplitude e tempo.

Palavras chave: Descargas Atmosféricas, Dupla Exponencial, Corrente Impulsiva.

1. Introdução

As descargas atmosféricas são uma das principais fontes de distúrbios em sistemas elétricos. O fenômeno é complexo e alguns fatores como temperatura, umidade do ar e poluição influenciam em sua intensidade e forma. Grande parte dos desligamentos não programados que ocorrem nas redes de distribuição de energia elétrica é causada por sobretensões e sobrecorrentes causadas por descargas atmosféricas.

Durante as tempestades, é frequente a queima de equipamentos elétricos das concessionárias de energia ou danos a equipamentos sensíveis em unidades consumidoras. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Atmosféricas – INPE, no Brasil, cerca de 70% dos desligamentos na transmissão e 40% na distribuição, são provocados por raios, sendo o número de transformadores queimados por raios em torno de 40%. Estes resultados causam um impacto considerável na qualidade de energia elétrica e a na continuidade do fornecimento [1]. Isto pode ser constatado pela alta correlação entre a incidência de descargas e os índices desligamento do sistema (frequência e duração). Dessa forma, é importante uma análise aprofundada sobre o fenômeno e suas consequências no sistema elétrico.

As correntes de descargas atmosféricas comumente utilizadas em estudos computacionais assumem formas de ondas simplificadas onde são levadas em consideração somente as principais características de correntes de descargas reais, tal como o formato impulsivo com variação muito rápida na frente de onda e variação relativamente mais lenta a partir do instante em que se alcança o valor de pico. Este é o caso, por exemplo, da forma de onda dupla exponencial, muito utilizada na literatura técnica, e é o que será tratado neste trabalho.

2. Procedimentos Metodológicos

Mesmo com tal forma de onda não reproduzindo fielmente a onda real da corrente de descarga, o seu emprego decorre da necessidade de padronização de ensaios experimentais capazes de avaliar, dentro de certos parâmetros, o comportamento de equipamentos, dispositivos

e materiais frente a surtos de tensão e corrente, associados a descargas atmosféricas. A forma de onda dupla exponencial pode ser expressa por [2]:

$$i(t) = i_0 A (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (2).$$

Os parâmetros A, α e β são constantes a determinar, que dependem do formato do impulso da corrente da descarga atmosférica analisada. Na literatura, geralmente usam-se as

aproximações: $t_f \approx \frac{1}{\beta}$ e $t_p \approx \frac{1}{\alpha}$ onde t_f é o tempo de subida e t_p é o tempo para alcançar 50% do valor de pico. Assim, derivando a eq.(1) em relação ao tempo e igualando-se a zero é possível encontrar a equação para o tempo necessário para que a corrente atinja o seu valor de pico [2]:

$$t_{m\acute{a}x} = \frac{\ln(\beta) - \ln(\alpha)}{(\beta - \alpha)} \quad (2).$$

Substituindo $t_{m\acute{a}x}$ na eq.(1), obtém-se o valor de pico da corrente e o parâmetro A [2]:

$$A(\alpha, \beta) = (e^{-\alpha t_{m\acute{a}x}} - e^{-\beta t_{m\acute{a}x}})^{-1} \quad (3).$$

3. Resultados e Discussões

Com os resultados obtidos e com o auxílio de softwares específicos para cálculos matemáticos como Mathcad ou Matlab é possível obter gráficos do comportamento de descargas atmosféricas simuladas em laboratório mediante parâmetros estabelecidos de resistência, capacitância e indutância de um circuito elétrico e compará-lo com os valores padronizados pela IEC 60060-1 [3].

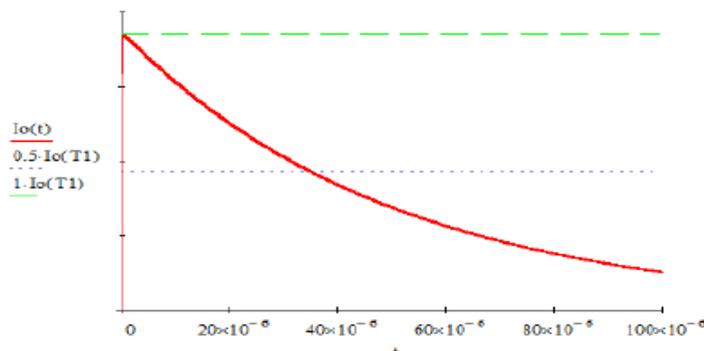


Figura 1 – Onda dupla exponencial da corrente elétrica usando Mathcad.



Ciências e Inovação: Tecnologias Sustentáveis Para Preservação do Meio Ambiente

4. Considerações Finais

O presente trabalho apresentou uma análise matemática da forma de onda dupla exponencial da corrente elétrica oriunda de uma descarga atmosférica. Além disso, o equacionamento foi inserido em um software de cálculo para que este possa gerar diversas configurações da dupla exponencial variando de acordo com valores de parâmetros de resistência, capacitância e indutância que simulam condições reais de sistemas de energia, Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas - SPDA ou mesmo de um sistema de aterramento de uma unidade consumidora podendo, portanto, simular matematicamente o seu comportamento mediante uma descarga atmosférica.

5. Referências

- [1] BRASIL, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE disponível em:
<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/sistema.eletrico.php>>
- [2] WANG, J.; ZHANG, X. *Double-Exponential Expression of Lightning Current Waveforms*. The 4th Conference on Environmental Electromagnetics. p.320-323, aug/2006.
- [3] SATO, S.; HARADA, T.; HANAI, M. *IEEE 60060-1 Requirements in Impulse Current Waveform Parameters*. The 7th International Power Engineering Conference. p 01- 05, 2005.