

Dimensionamento de anel anti-corona em isolador polimérico para classe de tensão de 500 kV através do estudo de campo elétrico.

HUEDERSON APARECIDO BOTURA DA SILVA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
huedersonbotura@hotmail.com

ALEXANDRE DE ASSIS MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
amota@puc-campinas.edu.br

LIA TOLEDO MOREIRA MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
lia.mota@puc-campinas.edu.br

Resumo – Este artigo apresenta os resultados iniciais do trabalho de dimensionamento de um anel anti-corona para isolador polimérico com nível de tensão de 500 kV. A estrutura do desenho do isolador foi criada através de um programa desenvolvido em programação *Hypertext Preprocessor* (PHP) e depois incorporada no programa Gmsh, responsável pelo pré-processamento. O processamento e o pós-processamento foram realizados utilizando o programa Getdp, na qual foi obtida a simulação do campo elétrico do isolador sem a utilização do anel anti-corona.

Abstract – *This article show the initial results of work of sizing of a anti corona ring for isolator polimeric with level of tension of 500 kV. The structure of drawing of the isolator was created through of a program developed in the programming Hypertext Preprocessor (PHP) and after incorporated in program Gmsh, responsible by the preprocessing. The processing and post processing was conducted using the program Getdp in which was obtained the simulation of the field electric of the isolator without the using of the anti corona ring.*

Palavras-chave: Anel anti-corona, Gmsh, Getdp, Elementos Finitos, Campo elétrico.

Introdução

O Brasil apresenta um cenário de expansão no quesito de Linhas de Transmissão (LT), possuindo vários projetos em desenvolvimento na qual podemos citar a Integração das Usinas do Rio Madeira, Belo Monte, Teles Pires, Tapajós, Boa Vista e Interligação Brasil-Peru. Com essas ampliações no quadro de LTs a previsão da evolução de linhas interligando o país terá um acréscimo de 42% nos próximos 10 anos se comparado com o cenário atual que é de 101.118 km de extensão. Dentre os níveis de tensão com maior possibilidade de crescimento destaca-se a classe de 500 kV com previsão de 21.650 km seguida pela classe de 600 kV com previsão de 14.024 km [1]. A utilização de classes Extra Alta Tensão (EAT) possui o intuito de reduzir os custos do projeto da LT, reduzindo entre outros o diâmetro dos cabos utilizados e conseqüentemente o efeito Joule [2]. Em contrapartida um fator muito relevante nessas LT é o efeito corona. O efeito corona é ocasionado quando o valor crítico do ar (3 kV/mm) é ultrapassado ocasionando perdas acima de centenas de kW/km, este efeito causa também ruído, que pode atingir 65dB [3], e a famosa coroa luminosa [4]. Estudos comprovam que quanto maior o nível de tensão das LT's maior será o efeito corona agregado e o ruído gerado [5]. Também ocasiona a

formação da criação de ozônio que é uma das principais causas de corrosão em isoladores poliméricos. Com a utilização de isoladores compostos poliméricos é possível realizar o dimensionamento de uma LT de 800 kV com as distâncias de uma LT de 500 kV quando era utilizado material de vidro e/ou porcelana [6]. Para minimizar os efeitos causados nos isoladores poliméricos pelo efeito corona a alternativa é a utilização de anel anti-corona, que propicia uma melhor distribuição do campo elétrico.

Metodologia

As equações de Maxwell descrevem os fenômenos eletromagnéticos, entretanto quando realizamos análises geométricas complexas sua solução analítica é impraticável [7]. Uma das soluções encontradas para este problema é a utilização de cálculo numérico obtendo uma solução aproximada para o problema em questão. Dentre os vários métodos de cálculo numérico o que mais se destaca é o Método dos Elementos Finitos (MEF). O MEF divide a geometria em questão em várias subpartes, que são os elementos finitos, que em alguns casos em duas dimensões normalmente são triângulos. Para problemas com soluções eletromagnéticas, a solução do sistema é o vetor potencial magnético ou potencial elétrico nos nós da malha, que geram os campos magnéticos ou elétricos no interior dos elementos finitos. A eletrostática é regida pela quarta equação de Maxwell (Lei de Gauss), expressa pela equação (1).

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = Q_i \quad (1)$$

O vetor deslocamento \mathbf{D} por sua vez está relacionado com o campo elétrico (\mathbf{E}) através da equação (2) do campo de indução elétrica.

$$\mathbf{D} = \epsilon \cdot \mathbf{E} \text{ [C/m}^2\text{]} \quad (2)$$

O campo elétrico (\mathbf{E}) está relacionado com o potencial elétrico através da equação (3).

$$\mathbf{E} = -\nabla V \text{ [N/C]} \quad (3)$$

É possível calcular um ponto R qualquer, dentro deste elemento finito, através da interpolação linear dos potenciais de seus respectivos vértices, deste modo o potencial elétrico neste ponto é representado pela equação (4).

$$V_{(x,y)} = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \quad (4)$$

Na qual os coeficientes α_1 , α_2 e α_3 são funções respectivas de V_1 , V_2 e V_3 , a solução deste sistema é expressa nas equações (5), (6) e (7).

$$\alpha_1 = \left(\frac{1}{2\Delta}\right) \times (a_1 V_1 + a_2 V_2 + a_3 V_3) \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{1}{2\Delta}\right) \times (b_1 V_1 + b_2 V_2 + b_3 V_3) \quad (6)$$

$$\alpha_3 = \left(\frac{1}{2\Delta}\right) \times (c_1 V_1 + c_2 V_2 + c_3 V_3) \quad (7)$$

Resolvendo as equações (5), (6) e (7) obtemos:

$$a_1 = x_2 y_3 - x_3 y_2 \quad (8)$$

$$b_1 = y_2 - y_3 \quad (9)$$

$$c_1 = x_3 - x_2 \quad (10)$$

$$\Delta = \frac{(b_1 c_2 - b_2 c_1)}{2} \quad (11)$$

O potencial elétrico em um ponto qualquer dentro do elemento é obtido substituindo as equações (5), (6) e (7) na equação (4), obtendo:

$$V_{(x,y)} = N_1V_1 + N_2V_2 + N_3V_3 \quad (12)$$

Utilizando as equações (3) e (12) podemos escrever as duas componentes do campo elétrico, na qual o campo elétrico dentro deste elemento torna-se constante para aproximação da função potencial conforme equações (13) e (14).

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} = -\left(\frac{1}{2\Delta}\right) \times (b_1V_1 + b_2V_2 + b_3V_3) \quad (13)$$

$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} = -\left(\frac{1}{2\Delta}\right) \times (c_1V_1 + c_2V_2 + c_3V_3) \quad (14)$$

Assim quanto maior o número de elementos utilizados na resolução do sistema, maior será a precisão da resposta obtida, mas em contrapartida mais complexa ficará a resolução do sistema. Para o desenvolvimento deste projeto serão utilizados os programas livres Gmsh [8] e Getdp [9]. O Gmsh será utilizado para gerar a malha do isolador, na etapa chamada pré-processamento, e o Getdp será utilizado para realizar o processamento e o pós-processamento.

O projeto em questão será restringido ao dimensionamento de um anel anticorona para um isolador polimérico de 500 kV, não será levado em consideração a estrutura da torre nem o tipo do arranjo dos cabos da LT. Como o isolador possui simetria axial, o desenho deste será realizado em duas dimensões e o Getdp no processamento realizará a simulação de linhas do campo elétrico no isolador em uma simetria de 2π . O desenho do isolador no Gmsh será realizado utilizando um programa desenvolvido em linguagem de programação PHP, que será utilizado devido ao grande número de aletas que se repetem. Após o desenho do isolador será gerado a malha do mesmo, e em seguida através da biblioteca “EleSta_v” será realizado a simulação do campo elétrico, utilizando o ponto máximo da tensão obtendo assim o valor máximo do campo elétrico.

O dimensionamento do anel anti-corona será realizado tomando como base a simulação do ponto elétrico do isolador sem o anel. Após isto serão realizadas várias simulações alterando o diâmetro, altura e largura do anel anti-corona, até que seja encontrado uma geometria na qual o anel distribua o campo elétrico da melhor forma possível, levando em conta também as questões financeiras, tendo assim um produto com o melhor custo *versus* benefício.

RESULTADOS

O programa em PHP gerou as coordenadas e formas do desenho do isolador que foi inserido no Gmsh, mostrado nas Figuras 1 e 2.

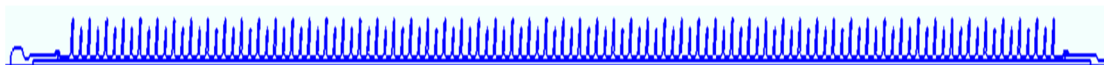


Figura 1: Desenho do isolador 500 kV no programa Gmsh.



Figura 2: Detalhe do terminal fase e de algumas aletas do isolador

A malha contendo os elementos finitos é demonstrada na Figura 3.

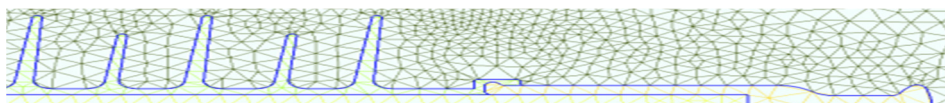


Figura 3: Detalhe dos elementos finitos ao redor do terminal fase e das aletas.

A simulação do isolador sem a utilização do anel anti-corona é mostrado na Figura 4.

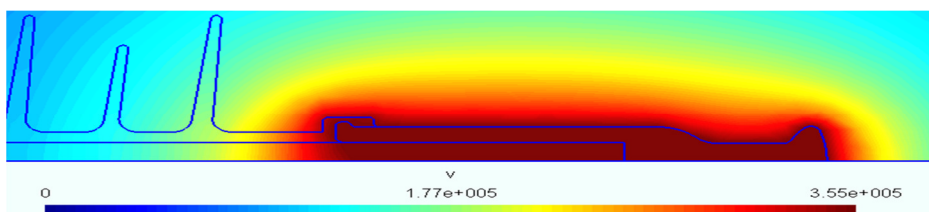


Figura 4: Campo elétrico ao redor do terminal fase.

Conclusão:

A simulação do campo elétrico no isolador sem anti-corona utilizando os programas Gmsh e Getdp apresentaram a base para as demais simulações que irão ocorrer para várias dimensões de anel anti-corona, até que sejam determinadas as dimensões do anel anti-corona que resulte em uma melhor distribuição do campo elétrico, considerando a questão financeira custo *versus* benefício.

Referências

- [1] ESMERALDO, P.C.V. (2011), “Perspectivas da Transmissão em Longa Distância no Brasil e Interligações com a América Latina”. *Trabalho apresentado no Seminário Projeto Transmitir*, Brasília (DF), 09 fev. 2011.
- [2] JARDINI, J.A., SANTOS, M.L. (2011), “Transmissão em Meia Onda mais Estado da Arte”. *Trabalho apresentado no Seminário Projeto Transmitir*, Brasília (DF), 09 fev. 2011.
- [3] MELLO, D.R. (2007), “Avaliação de ensaios de radiointerferência e corona visual em cadeias de isoladores”. *Palestra ministrada em Furnas*, jun. 2007.
- [4] GIANELLI, B. F. (2007). Caracterização do efeito corona em isoladores poliméricos do tipo bastão submetidos à poluição salínica. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais) - UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 73p., 2008.
- [5] LEÃO, R.M. (2008). *Rádio interferência proveniente de linhas de alta tensão*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008, 146p.
- [6] REIS, L.B. (2011), “Transmissão em CC 800 kV e Multiterminais”. *Trabalho apresentado no Seminário Projeto Transmitir*, Brasília, 09 fev. 2011.
- [7] CARDOSO, J. R. (1995). *Introdução ao método dos elementos finitos para engenheiros eletricitistas*. São Paulo, Brasil: Editoração Própria, 1995, p. 3-33.
- [8] GEUZAINÉ, C., REMACLE, J.F. (2010). *Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities*. Version 2.5.0, Oct 15 2010. Disponível em <http://geuz.org/gmsh/>. Acesso em: 19 Out 2011.
- [9] DULAR, P., GEUZAINÉ, C. (2011). *GetDP: a General Environment for the Treatment of Discrete Problems*. Version 2.1.1, April 12 2011. Disponível em <http://geuz.org/getdp/>. Acesso em: 19 Out 2011.

Contato

Huederson Botura é engenheiro eletricista e está cursando Projetos Mecânicos na Faculdade de Tecnologia “Arthur de Azevedo” e mestrando na PUC-Campinas, no curso de Gestão de Redes de Telecomunicações. Atua como engenheiro de desenvolvimento na Indústria Eletromecânica Balestro Ltda. Telefone de contato: (19) 9142-0611 e e-mail huedersonbotura@hotmail.com