

TÍNH TOÁN PHÂN BỐ ĐIỆN TRƯỜNG CỦA ĐƯỜNG DÂY 500 kV BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

NGUYỄN ĐÌNH THẮNG, TRẦN KỲ PHÚC, LÊ TUẤN ANH

I. MỞ ĐẦU

Trong công tác thiết kế đường dây, đặc biệt là đường dây siêu cao áp 500 kV, việc tính toán cường độ điện trường do đường dây sinh ra là hết sức quan trọng, để đảm bảo giá trị cường độ điện trường cho phép tại mép hành lang an toàn, ở khu vực đông dân cư, nhằm tránh ảnh hưởng của điện trường đến con người.

Đối với các trường hợp lí tưởng (mặt đất dưới đường dây là mặt phẳng lí tưởng, trên đó không có các đối tượng che chắn hoặc làm nhiễu phân bố trường...) việc tính toán cường độ điện trường bằng phương pháp giải tích cho kết quả hoàn toàn chính xác. Tuy nhiên, trong thực tế, mặt đất dưới đường dây là không bằng phẳng và có các đối tượng che chắn hoặc làm nhiễu trường (cây cối, nhà cửa...). Việc giải bài toán trong các trường hợp này bằng phương pháp giải tích là không thể thực hiện được. Do vậy, cần phải sử dụng phương pháp số.

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ máy tính, phương pháp số đã trở thành phương pháp có tốc độ phát triển nhanh nhất và được sử dụng nhiều nhất hiện nay. Phương pháp số là một công cụ phân tích điện từ rất hiệu quả. Nó có thể giải quyết được các bài toán rất phức tạp mà phương pháp giải tích không thể thực hiện được.

Trong các phương pháp số, phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) có một vai trò nổi trội, do tính đa năng, sự toàn diện, khả năng xử lí linh hoạt và có thể kết hợp với nhiều chương trình tiêu chuẩn.

Trong phạm vi bài báo này sẽ giới thiệu phương pháp tính toán cường độ điện trường của đường dây siêu cao áp 500kV một mạch, trong trường hợp lí tưởng, bằng phương pháp phần tử hữu hạn, thông qua phần mềm ANSYS. Sau đó, sẽ so sánh kết quả tính toán với phương pháp phương pháp giải tích.

II. TỔNG QUAN VỀ PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Phương pháp PTHH là một phương pháp số được sử dụng để giải các phương trình vi phân mô tả hoặc mô tả gần đúng rất nhiều loại bài toán vật lí hoặc phi vật lí. Ví dụ: các bài toán tĩnh, quá độ, tuyến tính hoặc phi tuyến trong cơ học chất lỏng, rắn; điện từ học; động lực học...

Nội dung cơ bản của phương pháp PTHH là sự chia nhỏ một mô hình toán học thành một số hữu hạn các thành phần riêng rẽ (không chồng lên nhau), có hình dạng đơn giản gọi là phần tử hữu hạn, hay ngắn gọn là phần tử. Quá trình chia nhỏ này được gọi là quá trình rời rạc hoá. Các phần tử được liên kết tại một số điểm nhất định, gọi là nút. Hành vi của mỗi phần tử được thể hiện dưới dạng một số hữu hạn các bậc tự do (*Degrees of Freedom - DOF*), biểu diễn giá trị

của một hàm hoặc nhiều hàm ẩn tại một tập hợp các điểm nút. Các hàm này được giải một cách xấp xỉ hoá. Sau đó, hành vi của toàn bộ mô hình toán học được xác định bằng cách liên kết hoặc tổ hợp hành vi của tất cả các phần tử. Quá trình tổ hợp yêu cầu lời giải phải liên tục tại bề mặt tiếp xúc giữa các phần tử liên kề.

Việc sử dụng phương pháp PTHH để giải quyết bất kỳ bài toán nào cũng bao gồm các bước cơ bản sau:

Giai đoạn tiền xử lý (Preprocessing phase)

1. Định nghĩa phạm vi, vùng xem xét của bài toán.
2. Lựa chọn hình thức giới hạn lưới (trường hợp bài toán có phạm vi xem xét mở/ không giới hạn - *open boundary*).
3. Lựa chọn các phần tử rời rạc hoá (*discrete elements*) và các hàm hình dáng (*shaped functions*) để thể hiện hành vi vật lý của một phần tử, nghĩa là sử dụng một hàm liên tục, xấp xỉ để thay cho lời giải tại mỗi phần tử.
4. Viết phương trình (phương trình Laplace - Poisson cho trường hợp trường tĩnh) cho một phần tử để tạo ra các phương trình phần tử.
5. Tổ hợp các phần tử để xây dựng phương trình tổng thể.
6. áp dụng các điều kiện bờ, điều kiện ban đầu và tải trọng/nguồn kích thích.

Giai đoạn xử lý (Solution phase)

7. Lựa chọn phương pháp giải. Giải đồng thời một tập hợp các phương trình đại số tuyến tính và phi tuyến để có được kết quả tại các nút, ví dụ: điện áp tại các nút trong bài toán điện từ.

Giai đoạn hậu xử lý (Postprocessing phase)

8. Xử lý số liệu để có được các thông số cần tìm, ví dụ: điện trường tại các nút, phần tử trong bài toán điện từ.

III. TỔNG QUAN VỀ PHẦN MỀM ANSYS

ANSYS (*Analysis Systems*) là một gói phần mềm *Phân tích sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Analysis)* hoàn chỉnh của hãng Swanson Analysis Systems, Inc. - Mỹ, dùng để mô phỏng, tính toán thiết kế công nghiệp, đã và đang được sử dụng trên toàn thế giới trong hầu hết các lĩnh vực kỹ thuật:

- ❖ Kết cấu
- ❖ Nhiệt
- ❖ Dòng chảy (bao gồm cả động lực học dòng chảy - CFD)
- ❖ Điện/ Tĩnh điện
- ❖ Điện từ
- ❖ Tương tác giữa các môi trường, giữa các hệ vật lý.

ANSYS có thể giải các bài toán ứng suất tuyến tính, kết cấu phi tuyến hình học - vật liệu - phần tử, có thể phân tích bài toán động với các phương pháp Modal, phổ, điều hoà, dao động

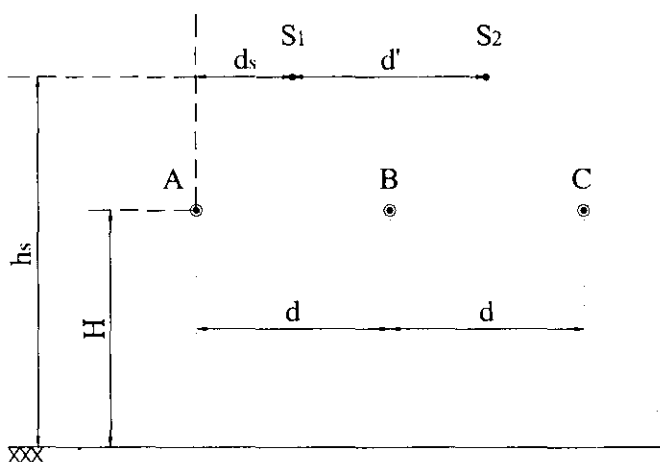
ngẫu nhiên, giải các bài toán uốn tuyến tính và phi tuyến, bài toán nhiệt ổn định, truyền nhiệt, đối lưu, bức xạ nhiệt, dòng chảy thủy lực, trường điện từ, truyền âm..., các bài toán hỗn hợp âm - cấu trúc, điện - từ, thủy lực - cấu trúc, từ - nhiệt, từ - cấu trúc... Ngoài ra, ANSYS còn có khả năng liên kết với các phần mềm khác như: *Pro/Eng*, *Mechanical Desktop*, *Flotran*... để phân tích và thẩm định các thiết kế, có khả năng sử dụng các bản vẽ thiết kế của các chương trình khác để phân tích thông qua kỹ thuật *IGES*.

Phần mềm ANSYS có nhiều mô đun khác nhau, trong đó ANSYS/Multiphysics là sản phẩm tổng quát nhất của ANSYS, nó chứa tất cả các khả năng của ANSYS và bao trùm tất cả các lĩnh vực kỹ thuật.

IV. TÍNH TOÁN CƯỜNG ĐỘ ĐIỆN TRƯỜNG CỦA ĐƯỜNG DÂY 500 kV MỘT MẠCH BẰNG PHẦN MỀM ANSYS

1. Lựa chọn mô hình đường dây

Xét một đường dây 500 kV một mạch, có dây dẫn ba pha (A, B, C) được bố trí trên mặt phẳng ngang, với khoảng cách pha d và ở độ treo cao H . Đường dây treo hai dây chống sét (S_1, S_2) có độ treo cao h_s và cách nhau một khoảng cách d' , như trên hình 4.1.



Hình 4.1. Mô hình đường dây 500kV một mạch

Các thông số của đường dây phục vụ cho việc tính toán mô phỏng bao gồm:

- Điện áp định mức : $U = 500 \text{ kV}$
- Loại dây dẫn : ACSR 330/42
- Loại dây chống sét : 1 dây chống sét PHLOX 116 và 1 dây chống sét kết hợp cáp quang OPGW 81
- Số dây dẫn của một pha : $n = 4 \times 330$
- Bán kính đẳng trị của dây dẫn: $r_{dt} = 0,20 \text{ m}$

- Bán kính của dây chống sét : $r_s = 0,007 \text{ m}$
- Khoảng cách pha trên cột đỡ : $d = 12,6 \text{ m}$
- Độ cao dây dẫn tính toán : $H = 10 \div 16 \text{ m}$
- Khoảng cột đại biểu : 450 m
- Độ cao tính toán : $h_p = 1 \text{ m}$
- Khoảng cách tính toán, từ tìm tuyến: $x = 0 \div 35 \text{ m}$

Bài toán xác định điện trường bên dưới đường dây siêu cao áp là loại bài toán tĩnh điện đặc biệt, có phạm vi mở hay đường biên không giới hạn (*open boundary domain*). Để giải quyết các bài toán loại này, có hai phương pháp chủ yếu: (1) sử dụng các phần tử vô hạn (*infinite elements*) hoặc (2) dùng phương pháp *Trefftz*. Trong phạm vi bài báo này sẽ áp dụng phương pháp sử dụng các phần tử vô hạn.

2. Giới thiệu phương pháp sử dụng các phần tử vô hạn

Các phần tử vô hạn cho phép mô phỏng hiệu ứng suy giảm trường ở vô cùng, trong bài toán tĩnh điện, thay cho việc phải đưa ra các điều kiện bờ giả định tại vùng bên ngoài của mô hình hình học. Ví dụ: trong bài toán xác định điện trường của một dây dẫn mang điện, đặt trong không khí, nếu không sử dụng phần tử vô hạn, sẽ phải xây dựng mô hình cho phần không khí xung quanh dây dẫn đến một vị trí “vô cùng” giả định và đưa ra các điều kiện bờ tại biên của các phần tử không khí. Khi sử dụng các phần tử vô hạn, chỉ cần xây dựng mô hình cho một phần không khí xung quanh dây dẫn.

Nói chung, lượng không khí cần mô phỏng nói trên phụ thuộc vào loại bài toán cần giải quyết. Đối với các bài toán có phạm vi mở, cần phải mở rộng phần không khí ra khá xa vùng xem xét trước khi đặt các phần tử vô hạn.

3. Lựa chọn kiểu phần tử và đặc tính vật liệu

Lựa chọn kiểu phần tử

- Môi trường không khí xung quanh dây dẫn: chọn kiểu phần tử PLANE121, có các đặc điểm sau:

- + *Kích thước*: 2D (chỉ trong mặt phẳng Oxy).
- + *Hình dạng và đặc tính*: tứ giác hoặc tam giác, 8 nút hoặc 6 nút.
- + *Bậc tự do*: điện áp (VOLT) tại mỗi nút.

- Phần tử tượng trưng cho đường biên không giới hạn: chọn kiểu phần tử INFIN110, có các đặc điểm sau:

- + *Kích thước*: 2D.
- + *Hình dạng và đặc tính*: tứ giác, 8 nút hoặc 4 nút.
- + *Bậc tự do*: thế tĩnh điện (*electrostatic potential*) tại mỗi nút.

Lựa chọn đặc tính vật liệu

Trong bài toán phân tích tĩnh điện, cần phải xác định hằng số điện môi (ϵ_{xx}) cho phần tử.

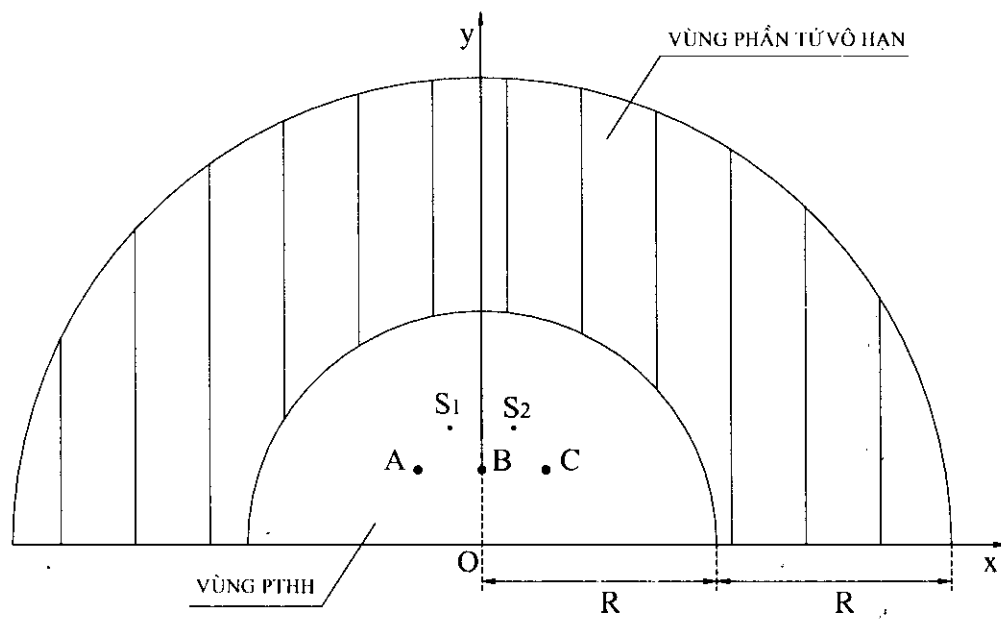
- Hằng số điện môi tương đối của môi trường không khí: $\epsilon_{kk} = 1$.

4. Xây dựng mô hình hình học (Modeling)

Do mô hình của đường dây 500kV một mạch tương đối đơn giản nên ở đây sẽ sử dụng các công cụ mô phỏng có sẵn của ANSYS để xây dựng mô hình hình học. Mô hình sẽ được xây dựng trong không gian hai chiều (2D).

Theo lý thuyết, các phần tử vô hạn biểu diễn giá trị điện áp bằng không tại điểm xa vô cùng. Đồng thời, mặt đất cũng có giá trị điện áp bằng không. Do đó, mặt đất và các phần tử vô hạn sẽ có một đường biên chung ở phía ngoài cùng của mô hình hình học.

Do sử dụng phần tử vô hạn INFIN110 để biểu diễn đường biên mờ, nên phần không khí xung quanh đường dây (vùng PTHH) sẽ được mô hình hóa bằng một nửa đường tròn, có tâm đặt tại mặt đất, trùng với tim đường dây và có bán kính từ tim tuyến: $R = 50$ m. Vùng phần tử vô hạn sẽ nằm tiếp xúc phía ngoài vùng PTHH và được mô tả bằng một hình vành khăn, có bán kính trong là R và bán kính ngoài là $2 \cdot R$ (xem hình 4.2).



Hình 4.2. Mô hình tính toán

5. Chia lưới cho mô hình (Meshing)

Đối với vùng PTHH (vùng không khí xung quanh dây dẫn), là vùng cần xem xét, tính toán cường độ điện trường, mật độ chia lưới cần phải mịn, do đó sử dụng phương pháp chia lưới tự do, các phần tử hình tam giác (*Tri*) với các cạnh có kích thước là 1 m.

Đối với vùng phần tử vô hạn, là vùng tượng trưng cho đường biên mở, không cần xem xét kết quả tính toán, do đó sử dụng phương pháp chia lưới thưa, có quy tắc với các phần tử hình tứ giác (*Quad*), xem hình 4.3.

6. Đặt tải trọng và điều kiện biên (*Loads*)

Tải trọng đặt lên mô hình:

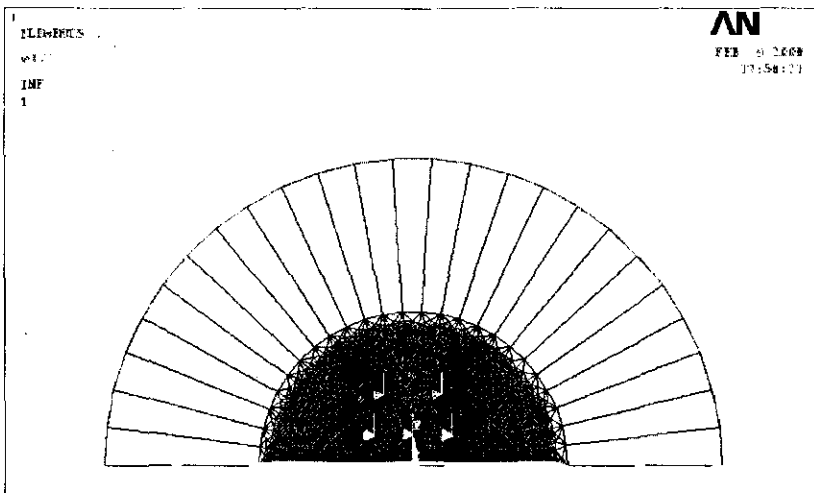
- Dây dẫn: đặt một giá trị điện áp $U = (500/\sqrt{3})$ kV lên dây dẫn của ba pha A, B, C.
- Dây chống sét: đặt giá trị điện áp $U = 0$ lên các dây chống sét S_1 và S_2 .

Điều kiện biên của bài toán là:

- Mặt đất có giá trị điện áp $U = 0$.
- Bề mặt bên ngoài của vùng phần tử vô hạn được đánh dấu cờ (*Flag*) bằng tải bề mặt *INF*.

7. Giải bài toán (*Solution*)

Do bài toán có tính chất trường đơn (chỉ xem xét điện trường) nên chọn phương pháp giải JCG (*Jacobi Conjugate Gradient*), có tốc độ giải nhanh.



Hình 4.3. Mô hình PTHH trong ANSYS

8. Xử lý kết quả (*General PostPro*)

Từ kết quả tính toán là giá trị điện áp tại các nút, phần tử, có thể xác định được cường độ điện trường tại các điểm bất kỳ trong mô hình. Có thể hiển thị kết quả dưới dạng đồ thị (*Graph*) hoặc phân bố dưới dạng hình màu (*Contour Plot*).

9. Kết quả tính toán

Kết quả tính toán phân bố cường độ điện trường bên dưới đường dây 500kV một mạch bằng phần mềm ANSYS được thể hiện như trong hình 4.4. Kết quả này cũng được so sánh với kết quả tính toán bằng phương pháp giải tích (áp dụng trực tiếp luật Gauss).

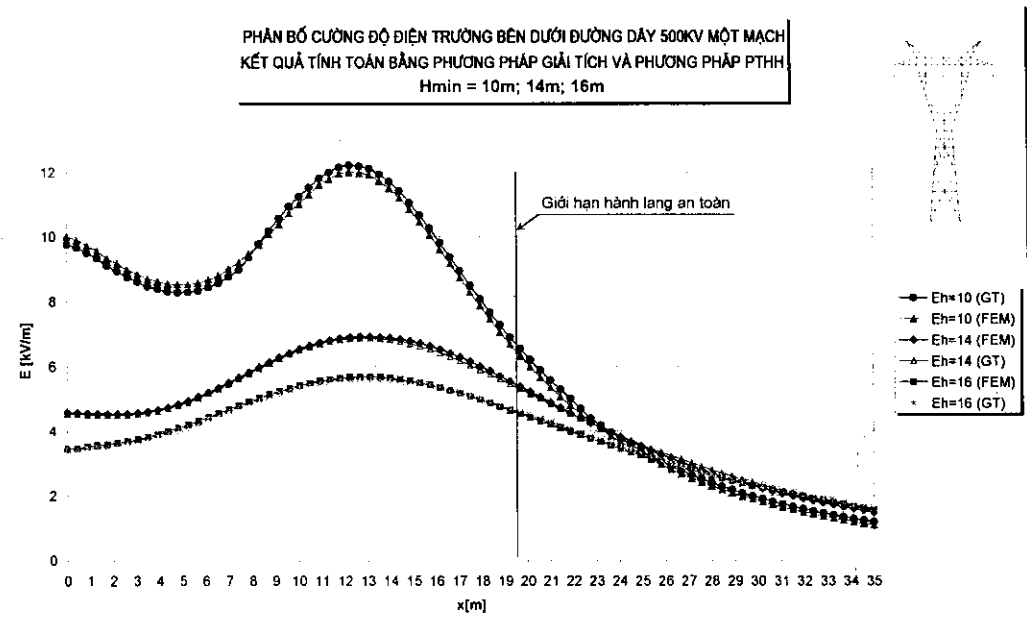
Trong đó:

- $E_h = 10$ (GT): kết quả tính toán bằng phương pháp giải tích (đường phân bố cường độ điện trường khi độ cao thấp nhất từ dây dẫn tới đất $H_{\min} = 10\text{m}$).
- $E_h = 10$ (FEM): kết quả tính toán bằng phương pháp PTHH - phần mềm ANSYS (đường phân bố cường độ điện trường khi độ cao thấp nhất từ dây dẫn tới đất $H_{\min} = 10\text{m}$).

Từ hình 4.4 có thể thấy, kết quả tính toán của hai phương pháp trên là hoàn toàn tương tự nhau.

V. KẾT LUẬN

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (phần mềm ANSYS) để tính toán phân bố cường độ điện trường bên dưới đường dây 500kV một mạch, trong trường hợp lý tưởng, cho kết quả hoàn toàn tương tự với phương pháp giải tích. Đây là cơ sở quan trọng để có thể giải quyết bài toán trên trong trường hợp mặt đất dưới đường dây là không bằng phẳng và có các đối tượng che chắn hoặc làm nhiễu trường bằng phương pháp phần tử hữu hạn.



Hình 4.4. Kết quả tính toán bằng phương pháp PTHH và phương pháp giải tích

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đình Thắng, Lê Tuấn Anh - Tính toán điện trường đường dây siêu cao áp 500 Kv, Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Các trường đại học kỹ thuật (52) (2005).
2. Nguyễn Đình Thắng, Lê Tuấn Anh - Các phương pháp tính toán điện trường đường dây siêu cao áp, Tạp chí Khoa học và Công nghệ 44 (1) (2006).
3. Carlos A. Felippa - Introduction to Finite element methods, University of Colorado - Boulder, Colorado, USA, 2004.
4. John L. Volakis, Arindam Chatterjee, Leo C. Kempel - Finite element method for Electromagnetics, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York; Oxford University Press, 1998.

5. Saeed Moaveni - Finite element analysis - Theory and Application with ANSYS; PRENTICE HALL, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2007.
6. ANSYS User's Manual 11.0, Release 11.0; ANSYS, Inc., 2006.

SUMMARY

ELECTRIC FIELD COMPUTATION FOR 500 kV TRANSMISSION LINE USING FINITE ELEMENT METHOD

In transmission line design, especially extra high voltage 500 kV transmission line, the computation of the electric field distribution below the line plays a very important role in order to assure the allowed electric field strength at the edge of ROW in inhabited area and to protect people from the adverse effects of electric field.

In ideal cases (the ground under the line is flat and in absence of physical objects disturbing the field distribution), analytical methods are the most satisfactory solution for problems of electric field calculations with exact results. However, in fact the ground is not flat and trees and structures (houses, buildings...) are present under or in the immediate neighbourhood of the line. Using analytical methods in this case is impossible. So we have to use numerical solutions.

With the advent of computing power, numerical methods are the most recent and rapidly advancing. They are very powerful electromagnetics analysis tools. Numerical methods can solve very complex problems that the use of analytical approach is impossible.

Among the various numerical methods, the finite element method (FEM) has a dominant position because it is versatile, having a strong interchangeability and can be incorporated into standard programs.

This paper presents the calculation method of the electric field distribution below 500kV single circuit transmission line, in an ideal case, by finite element method through the ANSYS software. The results of this method are the same as the analytical method. This is the base to solve the problems of field distribution in case that the ground is not flat and trees and structures are present in the line vicinity using finite element method.

Địa chỉ:

Nhận bài ngày 12 tháng 4 năm 2007

Nguyễn Đình Thắng, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Trần Kỳ Phúc, Viện Năng lượng

Lê Tuấn Anh, Công ty CP Tư vấn XD điện I