

## MÔ PHÒNG ĐÁP ỨNG QUÁ ĐỘ SÉT CỦA LƯỚI NỔI ĐẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Vũ Phan Tú<sup>(1)</sup>, Nguyễn Nhật Nam<sup>(1)</sup>, Huỳnh Văn Vạn<sup>(2)</sup>, Huỳnh Quốc Việt<sup>(1)</sup>

(1) Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(2) Trường Đại học Tôn Đức Thắng

(Bài nhận ngày 19 tháng 08 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 19 tháng 03 năm 2010)

**TÓM TẮT:** Bài báo trình bày việc áp dụng phương pháp Phần tử hữu hạn (PTHH) cho tính toán và mô phỏng đáp ứng quá độ sét trên lưới nổi đất. Lưới đồng nhất và lưới tối ưu sau khi nén đã được sử dụng trong tính toán này. Các kết quả kiểm tra trên các dạng nổi đất khác nhau như thanh và lưới cho thấy hiệu quả của phương pháp đề nghị và ảnh hưởng của việc nén thanh đến giá trị quá độ khi vị trí vào của dòng sét khác nhau.

**Từ khóa:** phương pháp Phần tử hữu hạn, mô phỏng đáp ứng quá độ sét, lưới nổi đất.

### 1. GIỚI THIỆU

Hệ thống nổi đất là một phần tử quan trọng trong hệ thống điện bởi vì nó: i) Tạo nên sự an toàn cho con người; ii) đảm bảo vận hành của mạng điện và iii) đảm bảo tản dòng sét vào trong đất. Chính vì thế mà khi thiết kế hệ thống nổi đất, một trong những vấn đề cần được quan tâm là tính toán thiết kế tối ưu và đáp ứng quá độ sét trên lưới nổi đất. Rất nhiều tiếp cận cho bài toán này như phương pháp giải tích, sai phân hữu hạn miền thời gian [2]-[3], phương pháp Moment...

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất việc áp dụng phương pháp Phần tử hữu hạn [1] cho việc tính toán và mô phỏng đáp ứng sét trên lưới nổi đất trong hai trường hợp lưới đều và lưới tối ưu sau khi được nén [4]. Các kết quả trình bày trên các hình vẽ cho thấy mức độ chính xác của phương pháp và ảnh hưởng của việc nén lưới tối ưu đến đáp ứng quá độ.

### 2. THIẾT KẾ LƯỚI TỐI ƯU

Dòng điện sự cố sẽ chạy trong các thanh dẫn của lưới nổi đất và tản vào trong đất. Tuy nhiên phân bố dòng điện tản tại mọi điểm của thanh dẫn lưới nổi đất là không giống nhau. Dòng điện tản vào trong đất tại các thanh dẫn gần mép lưới nổi đất thì lớn hơn dòng điện tản vào trong đất ở tại các thanh dẫn ở giữa lưới nổi đất. Chính vì vậy cách hiệu quả nhất để dòng điện tản vào đất ở giữa và ở biên của lưới nổi đất bằng nhau thì chúng ta phải bố trí khoảng cách giữa các thanh trong lưới không đều nhau theo một tỉ số gọi là tỉ số nén lưới. Đây còn được gọi là phương pháp

nén lưới. Khoảng cách giữa 2 thanh nổi đất ở giữa lưới nổi đất thì lớn và càng về biên lưới thì càng nhỏ. Điều này đảm bảo tất cả thanh nổi đất được sử dụng hiệu quả và giảm được điện áp bước và điện áp tiếp xúc.

Khi thanh dẫn nổi đất được sắp xếp theo qui luật hàm mũ, khoảng cách giữa 2 thanh dẫn sẽ giảm từ giữa đến biên của lưới. Khoảng cách giữa 2 thanh dẫn ở giữa được tính theo công thức sau - [4]-[6]

$$D_i = D_{\max} C^i, \quad i = 0 : m \quad (1)$$

Trong đó  $C$  là tỉ số nén ( $0 < C < 1$ ). Nếu  $C=1$  lưới nổi đất với khoảng cách giữa các thanh bằng nhau. Nếu số thanh dẫn nổi đất  $T$  của 1 phía là số chẵn thì  $m=T/2 - 1$ . Nếu số thanh dẫn nổi đất  $T$  của 1 phía là số lẻ  $m=(T-1)/2 - 1$ . Chiều dài của hệ thống ở một phía là  $a$ ,  $T$  là số thanh dẫn nổi đất phía đó thì khoảng cách giữa 2 thanh nổi đất ở giữa là:

$$D_{\max} = \frac{a(1-C)}{1+C-2C^{\left(\frac{T}{2}+1\right)}} \quad (2)$$

+ Nếu  $T$  chẵn :

$$D_{\max} = \frac{a(1-C)}{2(1-C^{\left(\frac{T-1}{2}\right)})} \quad (3)$$

+ Nếu  $T$  lẻ

Đối với hệ thống nổi đất cụ thể thì  $a$  và  $T$  xác định nên  $D_{\max}$  tính được công thức (2) và

(3), và khoảng cách giữa 2 thanh nối đất ở một phía cũng xác định được theo công thức (1).

**Bảng 1.** Kết quả tính toán khi có nén lưới và không nén lưới của lưới CR64 [7]

| Tên TBA (IEEE) | Tỉ số nén tối ưu | $E_m(V)$ (lưới đều) | $E_m(V)$ (sau khi nén lưới) | $E_s(V)$ (lưới đều) | $E_s(V)$ (sau khi nén lưới) |
|----------------|------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| CR64           | 0,84             | 594                 | 495                         | 483                 | 448                         |

Từ Bảng 1 chúng ta thấy rằng sau khi nén lưới thì điện áp trên lưới giảm 16.6% và điện áp bước giảm 7,2%. Đây chính là ưu điểm chính của việc nén lưới.

### 3. PHƯƠNG PHÁP PTHH CHO HỆ PHƯƠNG TRÌNH QUÁ ĐỘ

#### 3.1 Mô hình đường dây truyền tải đồng nhất

Lưới nối đất là một hệ thống gồm các thanh và cọc ghép nối lại với nhau. Do đó chúng ta hoàn toàn có thể dự đoán được sự lan truyền của quá điện áp và dòng điện trên lưới nối đất khi biết được quá trình quá độ xảy ra trên một thanh hay cọc nối đất đơn lẻ. Vì vậy, chúng ta đầu tiên phải khảo sát quá trình lan truyền sóng điện áp và dòng trên thanh (cọc) nối đất mà hệ phương trình mô tả quá trình lan truyền này có dạng sau [2]-[3]

$$\begin{cases} -\frac{\partial v}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = Gv + C \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases} \quad (4)$$

Với  $R, L, G$  và  $C$  lần lượt là điện trở, điện cảm, điện dẫn và điện dung trên đơn vị dài của đường dây truyền tải

#### 3.2. Phương pháp phần tử hữu hạn

Đầu tiên, chúng ta chia thanh (cọc) nối đất thành nhiều phân đoạn nhỏ, mỗi phân đoạn được đặc trưng bởi các giá trị áp và dòng như sau [1]

$$v(x, t) = \sum_{i=1}^M \Phi_i(x) V_i(t) \quad (5)$$

$$i(x, t) = \sum_{j=1}^N \Psi_j(x) I_j(t) \quad (6)$$

Áp dụng hệ (5)-(6) và hệ (4) sau khi biến đổi, chúng ta có

$$I_j^{n+\frac{1}{2}} = \left( R + \frac{L}{\Delta t} \right)^{-1} \left[ \frac{L}{\Delta t} I_j^{n-\frac{1}{2}} - \sum_{a=1}^2 \frac{d\Phi_a}{dx} V_a(t) \right] \quad (7)$$

$$V_i^{n+1} = \left( G + \frac{C}{\Delta t} \right)^{-1} \left[ \frac{C}{\Delta t} V_i^n - \sum_{a=1}^2 \frac{d\Psi_a}{dx} I_a(t) \right] \quad (8)$$

Với hai phương trình (7)- (8), chúng ta tính được điện áp và dòng tại mọi điểm nút trên thanh nối đất. Trên cơ sở đó, ta tính được áp và dòng tại mọi điểm nút trên lưới nối đất. Về điều kiện biên, chúng ta căn cứ vào mô hình mạch tương đương của điện cực nối đất tại 2 đầu, cụ thể như sau:

Tại vị trí vào của dòng sét, chúng ta có:

$$V_1^{n+1} = \left( G + \frac{C}{2\Delta t} \right)^{-1} \left[ \left( \frac{C}{\Delta t} - \frac{G}{2} \right) V_1^n + 2 \frac{i_s(n\Delta t) - I_1^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} \right] \quad (9)$$

Tại vị trí cuối trên điện cực nối đất, chúng ta lại có:

$$V_M^{n+1} = \left( G + \frac{C}{2\Delta t} \right)^{-1} \left[ \left( \frac{C}{\Delta t} - \frac{G}{2} \right) V_1^n - 2 \frac{I_N^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} \right] \quad (10)$$

Trong đó,  $i_s(t)$  là hàm của dòng sét và  $\Delta x$  là bước chia trên miền không gian.

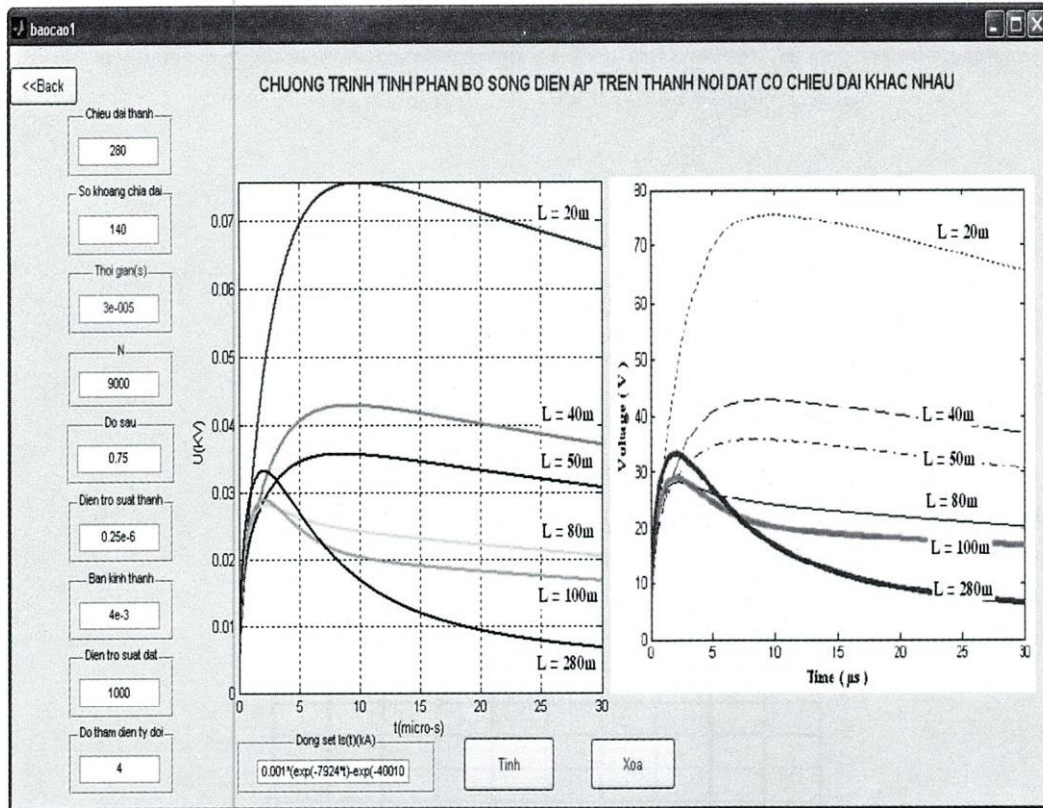
### 4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

#### 4.1. Đáp ứng sét trên thanh nối đất

Để đánh giá độ chính xác của chương trình, chúng tôi thực hiện mô phỏng cho các thanh nối đất có chiều dài khác nhau và đối chiếu kết quả thu được với kết quả trong [3]. Các tham số mô phỏng như sau:

- Chiều dài thanh : 20, 40, 50, 80, 100, 280 m
- Bán kính thanh : 4mm
- Độ chôn sâu của thanh : 0.75m
- Điện trở suất của thanh :  $0.25 \times 10^{-6} \Omega m$
- Điện trở suất đất :  $1000 \Omega m$
- Độ thẩm điện tỷ đối của đất : 4
- Dạng dòng sét :  $i_s(t) = 1 * (e^{-7924*t} - e^{-400109*t})$  (A)





Hình 1. Quả điện áp tại vị trí đầu vào của dòng sét trên các thanh có chiều dài khác nhau

Hình 1. là sự so sánh kết quả tính toán bằng phương pháp PTHH (bên trái : H1. a) và dữ liệu trong [3] (bên phải - H1.b), nó cho thấy mức độ chính xác của phương pháp được đề nghị.

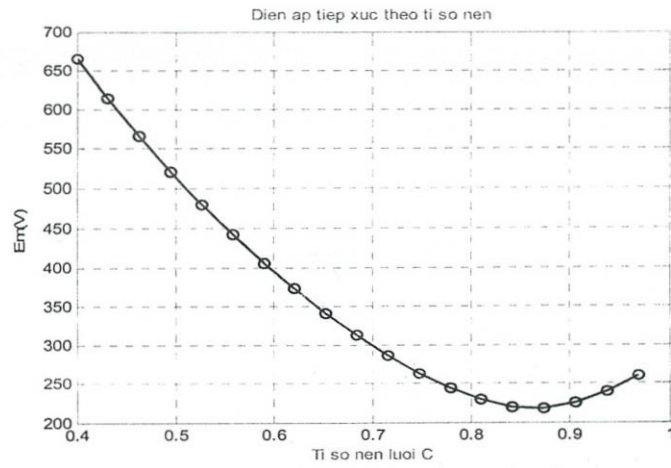
**4.2 Đáp ứng sét trên lưới nối đất**

**A. Kết quả nén lưới tối ưu:**

Áp dụng phương pháp nén lưới tối ưu để thiết kế cho lưới nối đất với các tham số sau:

- Diện tích lưới:  $50 \times 50 \text{ m}^2$

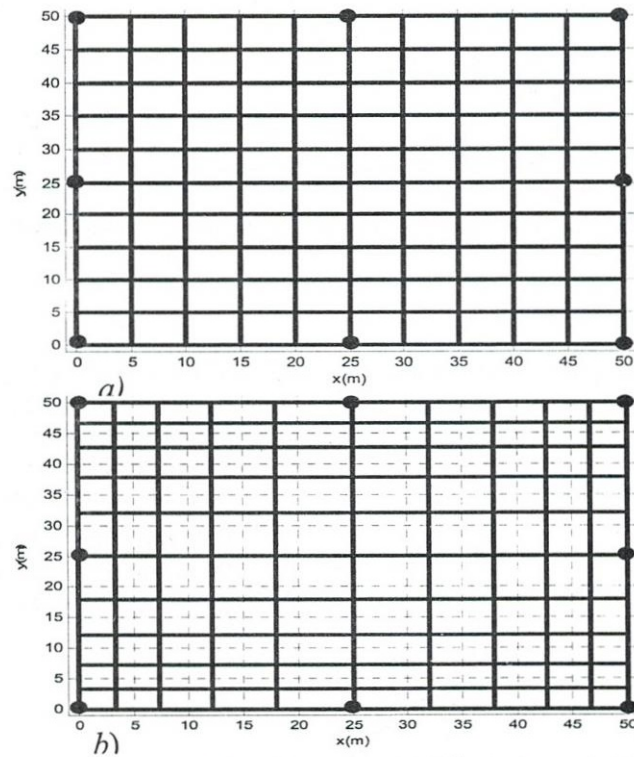
- Số ô lưới:  $10 \times 10$
  - Bán kính thanh:  $7,5 \text{ mm}$
  - Độ chôn sâu của lưới:  $0,5 \text{ m}$
  - Số cọc và chiều dài cọc: 8 và  $3 \text{ m}$ .
  - Bán kính cọc:  $15 \text{ mm}$
  - Điện trở suất đất:  $1000 \Omega.m$
  - Độ thấm điện tỷ đối của đất: 50
- Chúng ta được kết quả sau:



Hình 2. Quan hệ giữa điện áp bước theo tỷ số nén lưới

Từ hình (2), ta chọn được tỷ số nén lưới tối ưu là 0,84.

Như vậy chúng ta có được lưới nén tối ưu như hình (3.b).



Hình 3: Hình dạng lưới đều a) và sau nén(b)

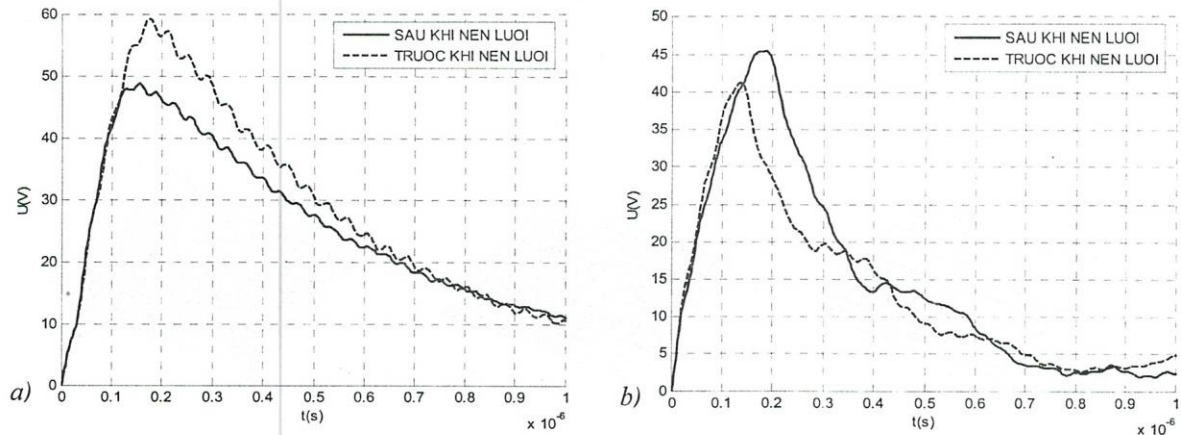
**B. Kết quả tính toán**

Thực hiện mô phỏng đáp ứng quá độ của hai lưới nối đất Hình.3 với dạng dòng sét như sau

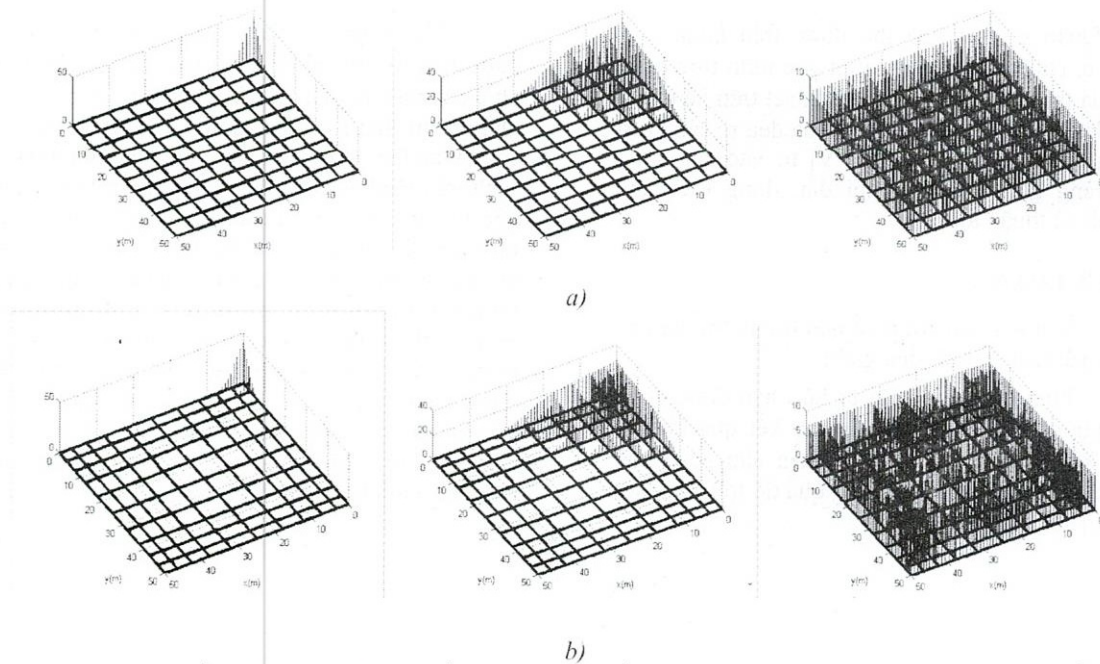
$$i_s(t) = 1.(e^{-27000.t} - e^{-540000.t}) (A)$$

Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện mô phỏng với hai trường hợp: i) Thứ nhất là khi dòng sét được cho vào vị trí góc lưới, khi đó khả năng tần dòng sét của lưới là kém nhất; ii) Khi dòng sét vào vị trí tâm lưới, lúc này dòng sét được tản vào đất dễ dàng nhất.

Kết quả như sau:

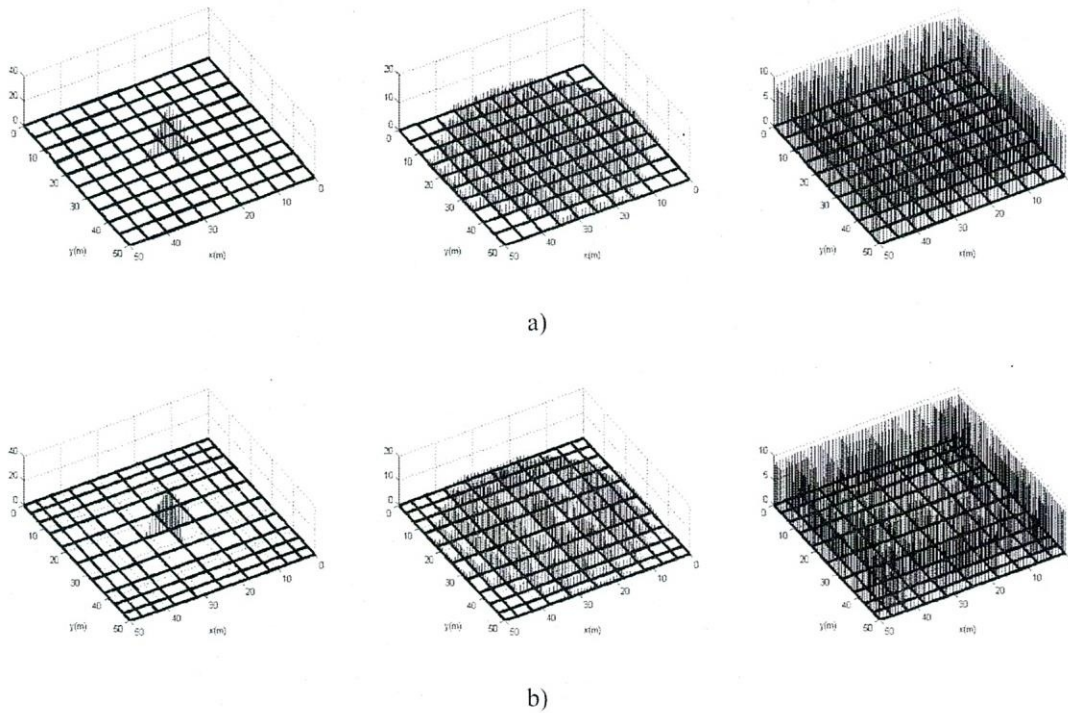


**Hình 4.** Quá điện áp tại vị trí vào của dòng sét ứng với hai trường hợp a) góc lưới, b) tâm lưới



**Hình 5 :** Sự lan truyền quá điện áp trên lưới đều(a) và lưới nén tối ưu(b) khi dòng sét vào góc lưới tại các thời điểm 0,1μs; 0,5μs và 10μs





**Hình 6:** Sự lan truyền quá điện áp trên lưới đều (a) và lưới nén tối ưu(b) khi dòng sét vào vị trí tâm lưới tại các thời điểm  $0,1\mu s$ ;  $0,5\mu s$  và  $2\mu s$

Quan sát kết quả thu được trên hình 5 và hình 6, chúng ta có được một góc nhìn trực quan về quá trình lan truyền của dòng sét trên hệ thống nối đất: từ vị trí vào, dòng sét tỏa đều ra các vị trí xung quanh và tản vào đất. Vị trí vào của dòng sét càng gần tâm lưới nối đất, dòng càng tản nhanh và thuận lợi hơn.

### 5.KẾT LUẬN

- Sau khi nén với tỉ số nén tối ưu thì điện áp bước và điện áp lưới đều giảm

- Phương pháp phân tử hữu hạn được dùng mô phỏng cho lưới nối đất cho kết quả rất tốt. Các kết quả mô phỏng này phần nào phản ánh được bản chất của hiện tượng quá độ trên lưới nối đất.

- Một nhận xét quan trọng ở đây là khi lưới được nén tối ưu thì nó đảm bảo được giá trị bé nhất của điện áp tiếp xúc khi tản dòng xoay chiều nhưng khi tham gia tản dòng sét thì chúng vẫn chưa phát huy được khả năng như chúng tôi đã so sánh trên Hình.4.-6. Ở đây, khi dòng sét vào vị trí góc thì lưới nén tối ưu tản dòng tốt hơn so với lưới đều thông thường. Nhưng khi dòng sét vào vị trí tâm lưới, lưới nén tối ưu lại tản dòng không tốt bằng lưới đều thông thường. Điều này có thể lý giải như sau: Ở góc lưới, mật độ các thanh trong lưới nén tối ưu dày đặc hơn so với lưới đều thông thường có cùng kích thước, nên khả năng tản dòng sẽ được phát huy. Nhưng tại tâm hay lân cận tâm lưới, thì mật độ các thanh lại thấp hơn nên khả năng tản dòng lại kém hơn.

**SIMULATION OF LIGHTNING TRANSIENT RESPONSES OF GROUNDING GRID  
USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Vu Phan Tu<sup>(1)</sup>, Nguyen Nhat Nam<sup>(1)</sup>, Huynh Van Van<sup>(2)</sup>, Huynh Quoc Viet<sup>(1)</sup>**

(1)University of Technology, VNU-HCM

(2) Ton Duc Thang University

**ABSTRACT:** *This paper presents the application of the Finite Element methods to calculating and modeling the lightning transient responses on grounding grid. The uniform and optimized grids are used in this work. The tested results obtained on many different models of the conductor and grids have seen the effectiveness of the proposed method and the influence of conductor compression to the transient values when the lightning current into the grid at the different positions.*

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Konard, R. Saldanha, S. Y. Lee, and J.C. Sabonnadiere, *Application of the point – matched time domain finite element method to the analysis of transmission line transients*, J. Phys. III France, pp.2139 – 2154, Nov. (1992).
- [2]. Yaqing Liu, Mihael Zitnik and Rajeev Thottappillil, *An improved transmission – line model of grounding system*, IEEE Trans. Power Del., vol. 43, no. 3, pp. 348 – 355, Aug. (2001).
- [3]. Yaqing Liu, Nelson Theethayi, and Rajeev Thottappillil, *Member, IEEE An engineering model for transient analysis of grounding system under lightning strikes: Nonuniform transmission-line approach*, IEEE Trans. Power Del, vol. 20, no. 2, pp. 722 – 730 , Apr (2005).
- [4]. Jinliang He *et al*, *Optimal design of grounding system considering the influence of seasonal frozen soil layer*, IEEE Trans. Power Del., vol. 20, no. 1, pp. 107 – 115, Jan. (2005).
- [5]. Hyung – Soo Lee *et al* , *Efficient ground grid designs in layered soils*, IEEE Trans. Power Del., vol. 13, no. 3, pp. 745 – 751, Jul. (1998).
- [6]. ANSI/IEEE Std. 80 – 2000, *IEEE Guide for Safety in AC substation Grounding*, 2000. New York, IEEE.