

THIẾT KẾ TỐI ƯU LƯỚI NỐI ĐẤT TRÊN CƠ SỞ TIÊU CHUẨN IEEE STD. 80 - 2000

OPTIMAL DESIGN OF GROUNDING SYSTEM BASED ON IEEE STD. 80-2000

*Huỳnh Văn Vạn,
Trường ĐH Tôn Đức Thắng.*

*Lê Quang Trung,
Trường CD Nghề Lilama 2*

ABSTRACT

In this paper, we propose a method for optimal design of grounding system based on IEEE std 80 standard. The current along any one of the conductors is discharged into the earth in a different manner. The current is discharged into the soil from the outer grid conductors rather than from the conductors at or near the center of the grid. An effective way of making the current density more uniform between the inside and periphery conductors is to employ a nonuniform conductor spacing, with the conductor spacing larger at the center of the grid and smaller toward the perimeter. This method completely uses all grounding conductors to decrease step voltage and touch voltage of grounding system.

Keywords: *grounding system, optimal design of grounding system.*

TÓM TẮT

Trong bài báo này chúng tôi đưa ra phương pháp nén lưới để thiết kế tối ưu lưới nối đất dựa trên tiêu chuẩn IEEE std 80. Do phân bố dòng điện tản tại mọi điểm của thanh dẫn lưới nối là không giống nhau. Dòng điện tản vào trong đất tại các thanh dẫn của mép lưới nối đất thì lớn hơn dòng điện tản vào trong đất ở tại các thanh dẫn ở giữa lưới nối đất. Chính vì vậy cách hiệu quả nhất để dòng điện tản vào đất ở giữa và ở biên của thanh lưới nối 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. Khoảng cách giữa 2 thanh nối đất ở giữa lưới nối đất thì lớn và càng về biên lưới thì càng nhỏ. Điều này đảm bảo tất cả thanh nối đất được sử dụng hiệu quả và giảm được điện áp bước và điện áp tiếp xúc.

I. GIỚI THIỆU

Hệ thống nối đất (HTNĐ) là một phần tử rất quan trọng trong hệ thống điện đặc biệt là tại các trạm biến áp trong nhà máy điện và các trạm truyền tải trung gian. HTNĐ có nhiệm vụ tản nhanh dòng điện sự cố vào trong đất mà không có sự gia tăng điện thế lớn hơn giới hạn cách điện của thiết bị và đảm bảo giới hạn được điện áp bước và tiếp xúc không gây nguy hiểm cho người trong điều kiện vận hành hệ thống điện. Việc tính toán an toàn của HTNĐ đòi hỏi phải theo đúng tiêu chuẩn như: Tiêu chuẩn Việt Nam –[1], IEEE std.80 [2]-[3], IEC 479-1 –[4].

Tiêu chuẩn IEEE Std.80 cung cấp những

thông tin và hướng dẫn thiết kế hệ thống nối đất an toàn cho các Trạm biến áp trong hệ thống điện. Tiêu chuẩn này xuất bản lần đầu tiên vào năm 1961 dựa trên đề xuất mô hình toán học thực tế cho việc tính điện áp bước và tiếp xúc trong một diện tích hình vuông của Steven năm 1959. Kể từ đó tiêu chuẩn này đã được nhiều nhà khoa học như Thapar, Sverak, Dawalibi... phát triển và đã sửa đổi vào các năm 1976, 1986, 1996 và 2000 – [2]-[3]. Tiêu chuẩn IEEE Std.80 -1976 đưa ra phương pháp tính giới hạn điện áp bước, giới hạn điện áp tiếp xúc và điện áp lưới, điện áp bước của hệ thống nối đất hình vuông. Lần xuất bản năm 1986 đã đưa ra 2 sửa đổi quan trọng: i)

Định nghĩa lại giới hạn điện áp bước và điện áp tiếp xúc cho khối lượng cơ thể người 50 kg và 70 kg, ii) Thêm vào hệ số C_s thể hiện ảnh hưởng của đá granite bề mặt do có điện trở suất khác lớp đất bên dưới. Tiêu chuẩn IEEE Std.80 xuất bản năm 2000, trong đó i) các công thức được mở rộng tính toán cho lưới hình vuông, hình chữ nhật, dạng tam giác, dạng T và dạng L, ii) Thay đổi phương pháp tính hệ số suy giảm bề mặt: được tính theo phương pháp giải tích với sai số 5%. Thay đổi việc đánh giá lựa chọn thanh dẫn và kết nối. Mô hình đất nhiều lớp để tính toán điện trở suất của hệ thống nối đất được đưa vào tính toán- [4].

II. TRÌNH TỰ THIẾT KẾ HTNĐ CHO TRẠM BIẾN ÁP

Bước 1: Xác định sơ đồ và vị trí TBA từ đó lựa chọn nơi thích hợp nhất để thực hiện nối đất. Kiểm tra điện trở suất của đất, xác định mô hình đất, tính toán điện trở suất của đất.

Bước 2: Xác định tiết diện thanh dẫn. Dòng sự cố $3I_0$ là dòng sự cố lớn nhất trong tương lai và từ dòng điện này chúng ta tính toán lựa chọn thanh dẫn cho hệ thống nối đất. Thời gian t_c là thời gian lớn nhất cô lập sự cố.

Bước 3: Xác định giới hạn điện áp bước và điện áp tiếp xúc, xác định khoảng thời gian điện giật.

Bước 4: Thiết kế sơ bộ ban đầu bao gồm nối đất xung quanh chu vi và thanh nối đất bên trong chu vi để đảm bảo kết nối thuận lợi với những thiết bị cần được nối đất. Xác định khoảng cách giữa các thanh nối đất và vị trí cọc nối đất dựa vào dòng I_G và diện tích nối đất.

Bước 5: Ban đầu tính điện trở của hệ thống nối đất trong mô hình đất đồng nhất. Khi thiết kế cuối cùng phải tính chính xác giá trị này dựa vào mô phỏng các thành phần của hệ thống nối đất, đảm bảo mô hình đất lựa chọn là chính xác.

Bước 6: Xác định dòng điện lớn nhất chạy giữa lưới nối đất và đất. Khi thiết kế HTNĐ chỉ cần đảm bảo dòng điện sự cố tổng $3I_0$, dòng này sẽ chạy vào lưới nối đất tản vào trong đất. Dòng I_G phụ thuộc loại sự cố và vị trí sự cố, hệ số suy giảm và mở rộng hệ thống trong tương lai.

Bước 7: Nếu giá trị gia tăng điện áp GPR thấp hơn giới hạn điện áp tiếp xúc thì không cần phải tính toán gì thêm. Thêm dây nối từ thiết bị nối đất đến hệ thống nối đất.

Bước 8: Tính toán điện áp bước và điện áp lưới cho lưới mới vừa hoàn thành.

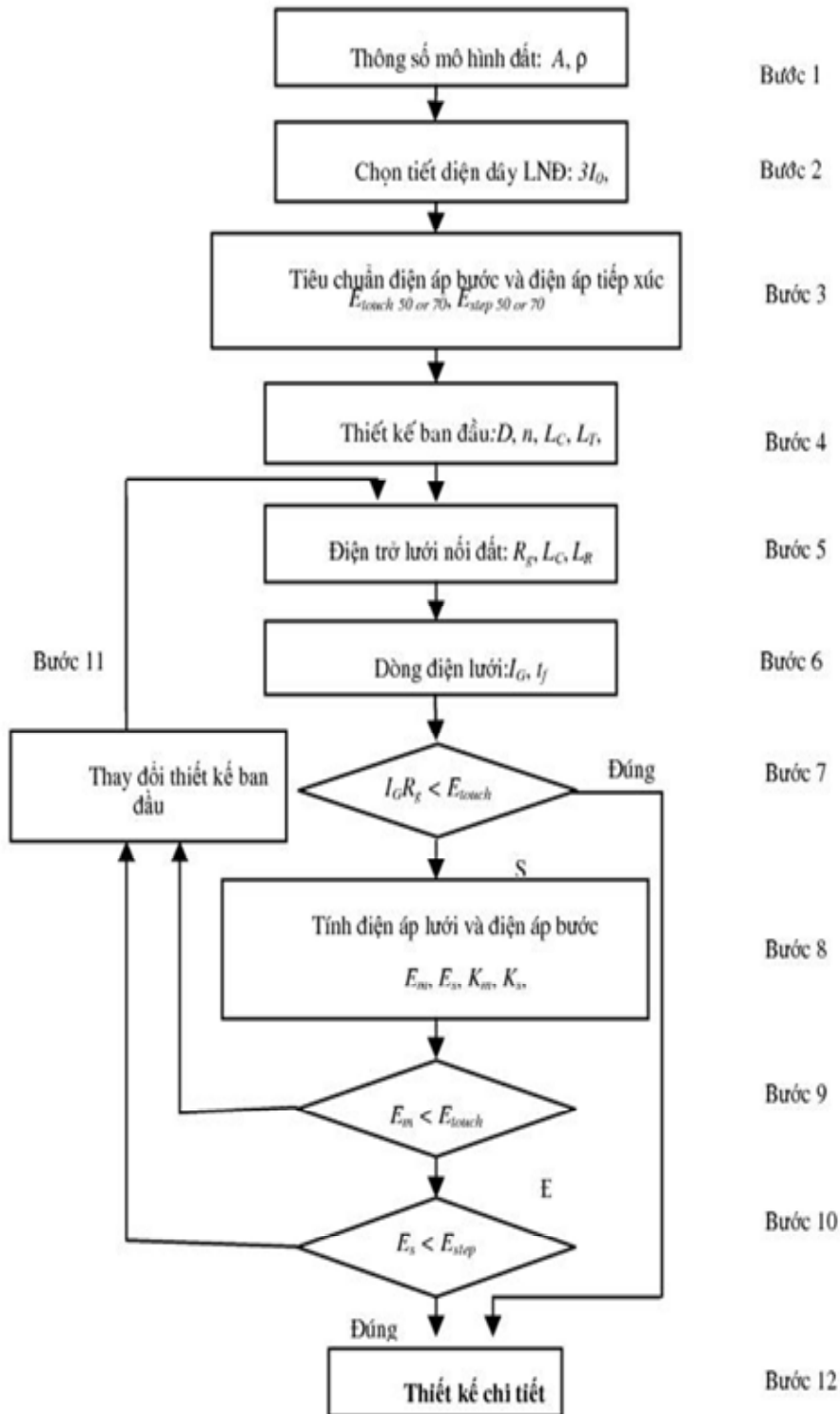
Bước 9: Nếu điện áp của lưới thấp hơn giới hạn điện áp tiếp xúc thì quá trình thiết kế đã hoàn thành. Nếu điện áp lưới lớn hơn giới hạn điện áp tiếp xúc thì thiết kế ban đầu phải thay đổi.

Bước 10: Nếu cả điện áp bước và điện áp tiếp xúc của hệ thống nối đất thấp hơn giới hạn điện áp điện áp bước và điện áp tiếp xúc ở bước 3 thì thiết kế chỉ yêu cầu đảm bảo kết nối giữa thiết bị nối đất và hệ thống nối đất. Nếu không thì phải thay đổi lại thiết kế ban đầu.

Bước 11: Nếu cả điện áp bước và điện áp tiếp xúc của hệ thống nối đất lớn hơn giới hạn điện áp điện áp bước và điện áp tiếp xúc ở bước 3 thì cần phải thay đổi thiết kế ban đầu. Sự thay đổi này có thể thực hiện bằng cách giảm khoảng cách giữa các dây nối đất và thêm cọc nối đất. Thay đổi thiết kế để đảm bảo giới hạn điện áp tiếp xúc và điện áp bước.

Bước 12: Sau khi đảm bảo yêu cầu về điện áp bước và điện áp tiếp xúc, cần phải thêm thanh dẫn nối đất và cọc nối đất bổ sung. Thêm thanh dẫn vào lưới nối đất nếu trong thiết kế không có thanh dẫn nối đất ở gần thiết bị được nối đất. Thêm cọc nối đất bổ sung dưới các thiết bị chống sét và trung tính máy biến áp.

III. LƯU ĐỒ GIẢI THUẬT CHO TIÊU CHUẨN IEEE Std.80-2000 (hình 1)



Hình 1: Lưu đồ giải thuật cho tiêu chuẩn IEEE Std.80-2000

IV. THIẾT KẾ TỐI ƯU HTNĐ BẰNG PHƯƠNG PHÁP NÉN LƯỚI.

Dòng điện sự cố sẽ chạy trong các thanh dẫn của lưới nối đất và tản vào trong đất. Tuy nhiên phân bố dòng điện tản tại mọi điểm của thanh dẫn lưới nối đất là không giống nhau. Dòng điện tản vào trong đất tại các thanh dẫn gần mép lưới nối đất thì lớn hơn dòng điện tản vào trong đất ở tại các thanh dẫn ở giữa lưới nối đất. Chính vì vậy cách hiệu quả nhất để dòng điện tản vào đất ở giữa và ở biên của lưới nối 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 nối đất ở giữa lưới nối đất thì lớn và càng về biên lưới thì càng nhỏ. Điều này đảm bảo tất cả thanh nối đất được sử dụng hiệu quả và giảm được điện áp bước và điện áp tiếp xúc.

Khi thanh dẫn nối 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 - [7]-[10]

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

(2.1)

Trong đó C là tỉ số nén ($0 < C < 1$). Nếu $C=1$ lưới nối đất với khoảng cách giữa các thanh bằng nhau. Nếu số thanh dẫn nối đất T của 1 phía là số chẵn thì $m=T/2 - 1$. Nếu số thanh dẫn nối 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 nối đất phía đó thì khoảng cách giữa 2 thanh nối đất ở giữa là:

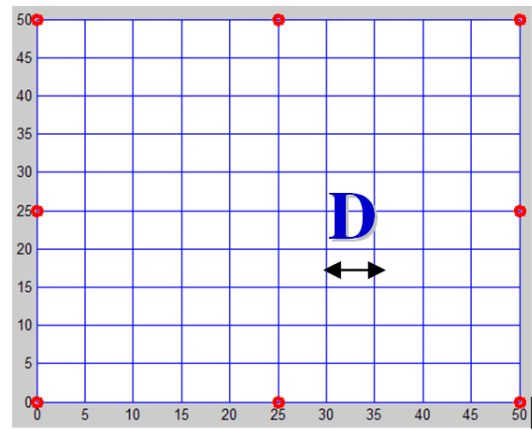
$$\text{+Nếu } T \text{ chẵn : } D_{\max} = \frac{a(1-C)}{1+C-2C^{\left(\frac{T}{2}+1\right)}} \quad (2)$$

(2.2)

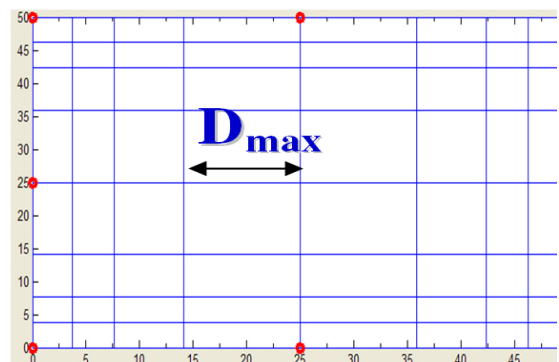
$$\text{+Nếu } T \text{ lẻ : } D_{\max} = \frac{a(1-C)}{2(1-C^{\left(\frac{T-1}{2}\right)})} \quad (3)$$

(2.3)

Đối với hệ thống nối 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).



Hình 2: Hình dạng lưới nối đất trước khi nén



Hình 3: Hình dạng lưới nối đất sau khi nén

V. KẾT QUẢ TÍNH TỐI ƯU CỦA LƯỚI IEEE-CR64

Dữ liệu ban đầu về TBA

- Thời gian ngắn mạch $t_f = 0.5$ s
- Tổng trở tương đương thứ tự thuận của hệ thống

$$Z_1 = 4.0 + j10.0 \text{ (115kV)}$$

- Tổng trở tương đương thứ tự không của hệ thống

$$Z_0 = 10 + j40.0 \text{ (115kV)}$$

- Hệ số phân dòng $S_f = 0.6$

- Điện áp dây nơi xảy ra sự cố xấu nhất = 115,000 V

- Độ sâu của lưới nối đất $h = 0.5$ m

- Tổng trở máy biến áp

$$(Z_1, Z_0) = 0.034 + j1.014 \text{ (13 kV)}$$

$$(Z = 9\%, 15 \text{ MVA}, 115/13 \text{ kV})$$

$a=50\text{m}$: chiều dài lưới nối đất

$b=50\text{m}$: chiều rộng lưới nối đất

$\rho_s = 2500\Omega\text{m}$: Điện trở suất lớp đá granite bề mặt

$h_s=0.102\text{m}$: Bề dày của lớp đá granite bề mặt

$\rho_l = 100\Omega\text{m}$: Điện trở suất lớp đất thứ nhất

$H_l=1.5\text{m}$: Bề dày của lớp đất thứ nhất

$\rho_2 = 30\Omega\text{m}$: Điện trở suất lớp đất thứ hai

$L_r=3\text{m}$: Chiều dài cọc

$N=8$: Số cọc

V.2. Xác định tỉ số nén tối ưu

Bởi vì dòng điện tản vào trong đất ở 2 đầu của dây nối đất thì lớn hơn dòng điện tản vào trong đất ở giữa nên điện thế tại góc lưới là lớn nhất. Điện thế tại góc lưới là:

Trong đó: (4)

$$E_m = \frac{\rho_l K_m K_i I_G}{L_c + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_x}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[\frac{(c^m D_{\max})^2 + (c^m D_{\max} + 2h)^2}{16hd} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{1}{k_i} \ln \left[\frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \right\} \quad (5)$$

$$n = n_a n_b n_c n_d \quad (6)$$

$$n_a = \frac{2L_C}{L_P} \quad (7)$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4\sqrt{A}}} \quad (8)$$

$n_c = 1$ cho lưới hình chữ nhật

$n_d = 1$ cho lưới hình chữ nhật

$$K_i = 0.644 + 0.148n \quad (9)$$

Trong đó:

ρ_l : Điện trở suất của lớp đất bên dưới (Ωm)

ρ_s : Điện trở suất của lớp đất bề mặt (Ωm)

$3I_0$: Dòng ngắn mạch chạm đất lớn nhất (A)

$A(\text{m}^2)$: Diện tích lưới nối đất

E_m : Điện áp lưới ở giữa những mắt lưới (V)

$E_s(V)$: Điện áp bước giữa 2 điểm trên mặt đất. Một điểm nằm ở góc ngoài của lưới và điểm còn lại nằm trên đường chéo hướng ra phía ngoài cách đó 1 m.

h : Độ sâu của lưới nối đất (m)

d : Đường kính của thanh dẫn làm lưới nối đất (m)

$I_G(A)$: Dòng tản vào đất lớn nhất (chạy giữa lưới và đất)

K_i : Hệ số hiệu chỉnh cho hình dạng của lưới nối đất

K_m : Hệ số hiệu chỉnh cách bố trí cọc trong lưới nối đất

K_m : Hệ số khoảng cách cho điện áp lưới

K_s : Hệ số khoảng cách cho điện áp bước

$L_p(m)$: Chu vi lưới nối đất

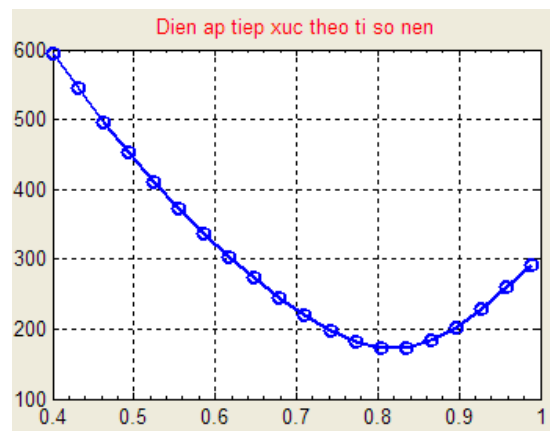
$L_C(m)$: Tổng chiều dài các dây dẫn của lưới

$L_x(m)$: Chiều dài lớn nhất theo phương x

$L_y(m)$: Chiều dài lớn nhất theo phương y

$L_R(m)$: Tổng chiều dài cọc

- Thay đổi các giá trị của tỉ số nén c ta thấy điện áp lưới đạt giá trị nhỏ nhất $E_m=159,8(\text{v})$ khi $c=0.82$.



Hình 4: Quan hệ giữa điện áp lưới và tỉ số nén trường hợp lưới CR64

- Tỉ số nén tối ưu là tỉ số nén mà điện áp tiếp xúc

đạt giá trị nhỏ nhất nếu lưới nổi đất được thiết kế với tỉ số nén này.

- Điện trở của hệ thống nổi đất phụ thuộc vào diện tích nổi đất, điện trở suất của đất và ảnh hưởng của tỉ số nén đến điện trở của hệ thống nổi đất là rất nhỏ do đó điện trở của hệ thống nổi đất nó không quyết định cho việc xác định tỉ số nén tối ưu.

- Điện áp tiếp xúc lớn hơn điện áp bước những giới hạn an toàn của điện áp tiếp xúc tính theo tiêu chuẩn IEEE Std.80-2000 thì nhỏ hơn giới hạn an toàn của điện áp bước. Do đó điện áp tiếp xúc thỏa mãn điều kiện an toàn thì điện áp bước cũng thỏa mãn. Vì vậy điện áp bước không được dùng để xác định tỉ số nén tối ưu.

- Điện áp tiếp xúc rất khó để đáp ứng được giới hạn an toàn nên nó được dùng để thiết kế tối ưu hệ thống nổi đất và xác định tỉ số nén tối ưu.

- Điện áp bước ứng với tỉ số nén $c=0.82$ là:

$$E_s = \frac{\rho_1 \cdot K_s \cdot K_i \cdot J_G}{L_s} \quad (10)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D_{\max} + h} + \frac{1}{D_{\max}} (1 - 0.5^{(n-2)}) \right] \quad (11)$$

$$L_s = 0.75L_C + 0.85L_R \quad (12)$$

Suy ra: $E_s=207,4$ V

Tổng chiều dài lưới nổi đất trước khi nén và sau khi nén được giữ không đổi nên điện trở R_g không đổi và giá trị gia tăng điện áp GPR không đổi.

Kết quả tính toán được trình bày trên Bảng 1. Hình 4 cho chúng ta thấy, khi tỉ số nén giảm từ 1 đến 0.1 thì điện áp tiếp xúc lúc đầu giảm xuống sau đó tăng lên và đạt giá trị nhỏ nhất bằng 159,8V khi tỉ số nén bằng 0,82. Đây chính là tỉ số nén tối ưu.

Bảng 1: So sánh kết quả tính toán khi có nén lưới và không nén lưới

Tên TBA	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	0,82	277,6	159,8	225,5	207,4

Từ Bảng 1, chúng ta thấy rằng sau khi nén lưới thì điện áp trên lưới giảm 42,4% và điện áp bước giảm 8,02%. Đây chính là ưu điểm chính của việc nén lưới.

VI. CHƯƠNG TRÌNH TỰ ĐỘNG THIẾT KẾ HỆ THỐNG NỔI ĐẤT THEO TIÊU CHUẨN IEEE.std 80-2000

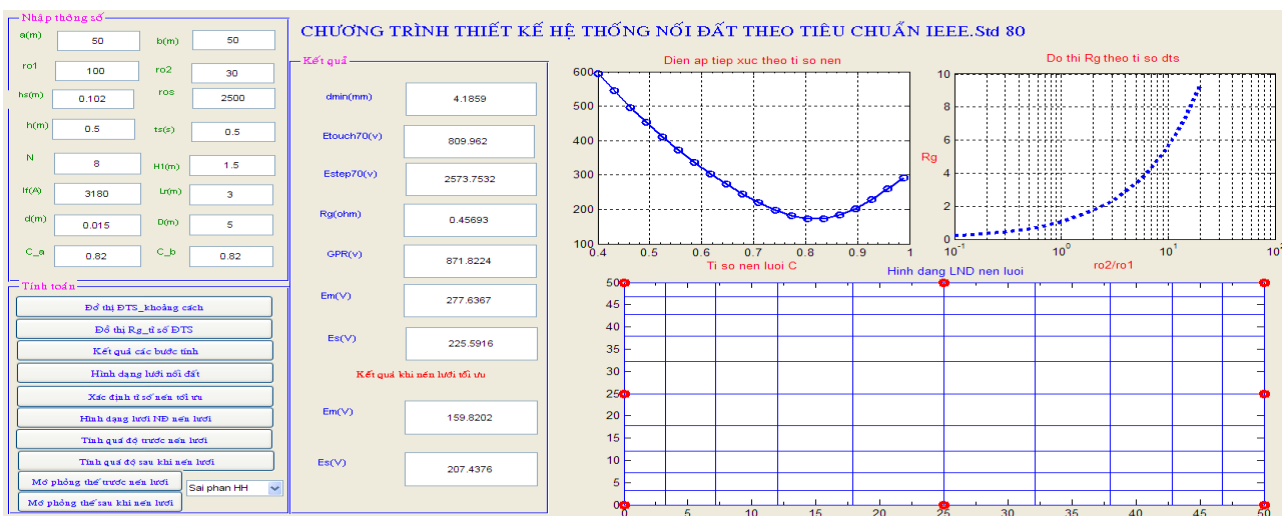
Hướng dẫn sử dụng chương trình tự động tính toán thiết kế lưới nổi đất:

- Đầu tiên nhập các thông số của trạm như: chiều dài (a), chiều rộng trạm (b), điện trở suất (ρ) và bề dày từng lớp đất của trạm (H_1), dòng sự cố lớn nhất tại trạm I_p , khoảng cách giữa các thanh lưới nổi đất trạm (D), số cọc (N) và chiều dài cọc (L_p) vào ô nhập thông số.

- Tiếp theo chúng ta nhấn các nút nhấn chứa các chương trình tính toán sẽ cho ra kết quả tính. Ví dụ như chúng ta nhấn nút ‘kết quả tính toán’ thì kết quả các bước tính toán thiết kế lưới nổi đất sẽ hiển thị trong ô kết quả. Chúng ta nhấn nút ‘hình dạng lưới nổi đất’ thì chương trình vẽ cho chúng ta hình dạng lưới và phân bố tổng số cọc của lưới. Chúng ta nhấn nút ‘xác định tỉ số nén tối ưu’ chương trình sẽ vẽ cho chúng ta đồ thị mối quan hệ giữa điện áp lưới và tỉ số nén từ đó chúng ta xác định được tỉ số nén tối ưu. Chúng ta nhấn nút ‘hình dạng lưới nổi đất nén lưới’ thì chương trình vẽ cho chúng ta hình dạng lưới nổi đất sau khi nén và số cọc phân bố của lưới.



Hình 5: Chương trình tự động thiết kế hệ thống nối đất khi lưới đều



Hình 6: Chương trình tự động thiết kế hệ thống nối đất khi nén lưới

VII. KẾT LUẬN

Tỉ số nén được xác định bằng cách thiết lập hàm điện áp lưới như hàm mục tiêu. Tỉ số nén ứng với giá trị nhỏ nhất của điện áp lưới gọi là tỉ số nén tối ưu.

Khi lưới nối đất được thiết kế với tỉ số nén tối ưu thì điện áp bước và điện áp tiếp xúc giảm điều này giúp đảm bảo hệ thống nối đất an toàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tiêu Chuẩn Việt Nam TCVN 4756 — Quy phạm nối đất trong hệ thống điện.
- [2] ANSI/IEEE Std. 80, *Guide for Safety in AC Substation Grounding*, IEEE, New York, 1996.
- [3] ANSI/IEEE Std. 80 -2000, *Guide for*

Safety in AC Substation Grounding, IEEE, New York, 2000.

- [4] Tiêu Chuẩn IEC 497-1.
- [5] Chen-Hsing Lee, A.P.Sakis Meliopoulos, “A comparison of IEC 479-1 and IEEE Std.80 on Grounding Safety Criteria”, *Proc. Nat. Sci. Council. ROC(A)*-Vol. 23, No.5, pp. 612-621, 1999.
- [6] J.M. Nahman, V.B. Djordjevic “Resistance to ground of combined grid - multiple rods electrodes” *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 11, No. 3, July 1996.
- [7] Jinliang He “Optimal design of grounding system considering the influence of seasonal frozen soil layer” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no. 1, January 2005.

[8] J. G. Sverak “Optimized grounding grid design using variable spacing technique” *IEEE Transactions on power apparatus and systems*, vol. pas-95, no. 1, January-February 1976.