

# ĐÁNH GIÁ CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN TỔNG TRỞ SÓNG ĐƯỜNG DÂY TẢI TRÊN KHÔNG

## EVALUATION OF METHODS FOR CALCULATION OF SURGE IMPEDANCE OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES

Ninh Văn Nam<sup>1,\*</sup>,  
Nguyễn Công Cường<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Phúc<sup>2</sup>

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.247>

### TÓM TẮT

Hiện nay, trong các tính toán về tổng trở của đường dây tải điện trên không, coi đất là dẫn điện tuyệt đối, điện trở suất của đất là bằng không, chỉ xét tới tham số về độ cao của dây dẫn so với mặt đất và kích thước của dây. Cách tính này chỉ đúng với trường hợp ở tần số thấp, đường dây chỉ kích thích bởi dòng điện làm việc. Trong trường hợp với dòng điện sét, có tần số cao phương pháp tính toán này sẽ gây sai số lớn, dẫn đến các kết quả tính toán độ lớn điện áp quá độ trên lưới điện không còn chính xác nữa. Sử dụng phương pháp tổng trở sóng kết hợp với chương trình quá độ điện từ để mô phỏng là một trong các phương pháp mới và hiện đại. Bài báo này sử dụng phương pháp sóng lan truyền để xác định tổng trở sóng của đường dây tải điện trên không. Ngoài ra, nhóm tác giả cũng xem xét các phương pháp xác định tổng trở của đường dây tải điện trên không khi xét dòng trở về trong đất cũng như tần số của dòng điện sét. Kết quả tính toán tổng trở của đường dây tải điện trên không của các công bố trước đây được so sánh với phương pháp của nhóm tác giả để xuất. Bài báo sử dụng sử dụng chương trình mô phỏng quá độ điện từ EMTP/ATP để mô phỏng và tính toán.

**Từ khóa:** Đường dây truyền tải, tổng trở sóng, quá điện áp, EMTP/ATP.

### ABSTRACT

Currently, method for determining the surge impedance of overhead transmission line the soil is considered to be absolutely conductive, the soil resistivity is considered to be zero, only of the parameter of the height of the conductor above the ground is considered and size of wire. This method is only valid in the case of steady mode, the transmission line is only excited by working current. In the case of lightning current, this calculation method will cause very large errors, leading to the calculation results of overvoltage on the transmission line being no longer accurate. Using the surge impedance method combined with the electromagnetic transient program to simulate is one of the modern methods. This paper uses the wave propagation direction to determine surge impedance of the transmission line. In addition, the authors also review methods for determining the surge impedance of overhead transmission line when considering the influence of ground current return as well as frequency of lightning current. The results of calculating the total wave impedance of overhead transmission lines from previous publications are compared with the method proposed by the authors. The article uses the electromagnetic transient simulation program EMTP/ATP to simulate and calculate.

**Keywords:** Transmission line, surge impedance, over voltage, EMTP/ATP.

<sup>1</sup>Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Điện 1

\*Email: [ninhvannam@hauivn.edu.vn](mailto:ninhvannam@hauivn.edu.vn)

Ngày nhận bài: 10/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 16/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

### 1. GIỚI THIỆU

Sét đánh vào đường dây hoặc đánh vào vị trí gần đường dây có thể gây quá điện áp trên lưới điện. Tuy

hiên, trường hợp mà sét đánh trực tiếp vào đỉnh cột và dây dẫn là nguy hiểm hơn nên được chọn để tính toán chống sét. Trường hợp sét đánh trực tiếp vào đường dây,

dòng điện sét lan truyền trên dây chống sét hoặc dây pha tới các phần tử khác của đường dây, gây quá điện áp, điện áp này mà lớn hơn mức điện áp mà cách điện của đường dây chịu được sẽ gây phóng điện. Độ lớn của quá điện áp này phụ thuộc vào hai yếu tố: i) Thứ nhất là các tham số của bản thân dòng điện sét như biên độ, độ dốc đầu sóng, độ dốc đuôi sóng, thời gian tồn tại, đặc trưng của cú sét (cú sét đơn lẻ hay liên tiếp) [1]; ii) Thứ hai là tham số của đường dây như tổng trở, cách bố trí dây pha và dây chống sét, điện trở tiếp địa, tổng trở của cột, thiết bị chống sét (nếu có), cơ chế phóng điện của chuỗi cách điện. Do vậy, tổng trở của đường dây tải điện là một trong các tham số ảnh hưởng tới độ lớn điện áp đặt lên chuỗi cách điện.

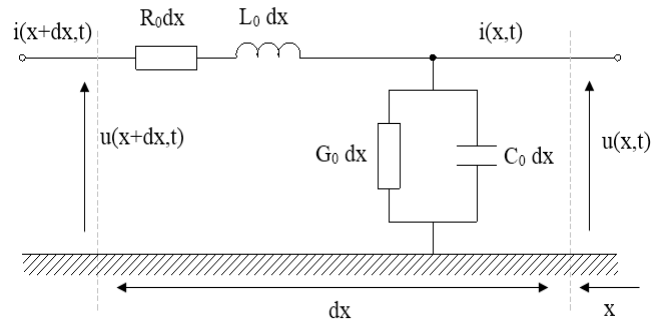
Theo [2], biên độ điện áp lớn nhất trên chuỗi cách điện phụ thuộc vào trị số hệ số ngẫu hợp, hệ số này lại được xác định thông qua tổng trở sóng cảm ứng giữa dây pha với dây chống sét và tổng trở của chính dây pha đó. Nếu tổng trở này được xác định chính xác thì độ lớn điện áp trên chuỗi cách điện khi xảy ra sét đánh cũng xác định được chính xác, từ đó mức chịu sét của đường dây tải điện cũng được đánh giá chính xác hơn.

Tổng trở của đường dây tải điện trên không là một thông số ảnh hưởng tới quá điện áp sét. Khả năng chịu sét của đường dây tải điện được thể hiện qua giá trị điện áp đặt lên chuỗi cách điện khi xảy ra sét đánh. Độ lớn điện áp đặt lên chuỗi cách điện càng nhỏ thì khả năng chịu sét của đường dây càng được nâng cao, còn giá trị này mà cao vượt mức điện áp của chuỗi cách điện cho phép sẽ gây phóng điện khi đó khả năng chịu sét của đường dây là kém. Trong [3] cho biết, ngoài các thông số của dòng điện sét, như biên độ và độ dốc đầu sóng thì tổng trở của đường dây là một trong các thông số ảnh hưởng chính tới giá trị điện áp đặt lên chuỗi cách điện. Vì vậy, việc xác định được chính xác giá trị tổng trở của dây dẫn và mô tả được đầy đủ các tham số tới ảnh hưởng tới tổng trở này có ý nghĩa quan trọng, nên trong mục tiếp theo sẽ trình bày cách xác định tổng trở của đường dây tải điện trên không trong một số trường hợp.

Bài báo này sẽ xem xét các cách xác định tổng trở của đường dây tải điện trên không như phương pháp Carson, phương pháp độ sâu phức hợp của đất khi xét tới dòng trở về, xét đến ảnh hưởng của điện trở suất của đất. Tiếp đó một ví dụ minh họa so sánh tổng trở của đường dây tải điện trên không cấp điện áp 220kV được xác định và so sánh. Các kết quả tính toán dựa trên các công thức giải tích và theo phần mềm mô phỏng quá độ điện từ EMTP.

2. TỔNG TRỞ SÓNG ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI

Hiện tượng sét đánh vào đường dây tải điện, giống như đường dây được bơm vào một nguồn dòng hay nguồn áp có thời gian tồn tại từ vài chục μs đến vài ms. Chiều dài của bước sóng trong trường hợp này có thể còn nhỏ hơn kích thước vật lý của cột, hay khoảng cách giữa hai thanh xà. Chính vì vậy, điện áp trên một phần tử của đường dây sẽ phụ thuộc vào cả thời gian và vị trí. Do đó, khi tính toán độ lớn điện áp quá độ do sét, các phần tử của đường dây như dây dẫn, dây chống sét, cột phải được mô tả bởi mô hình thông số rải, trên mỗi đoạn dài, phần tử gọi là dx được thay thế như trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ đường dây trong tính toán truyền sóng

Các thông số theo chiều dài của đường dây tải điện trong phương trình lan truyền sóng bao gồm điện trở R<sub>0</sub>, điện cảm L<sub>0</sub>, điện dung C<sub>0</sub> và điện dẫn G<sub>0</sub>. Xét trường hợp đơn giản nhất đường dây chỉ có một dây, dòng sét lan truyền trên đường dây này và trở về là ảnh của đường dây đó nằm trong đất (giả thiết mặt đất dẫn điện tuyệt đối, không có điện trở). Phương trình biểu diễn quá trình lan truyền sóng điện áp u và dòng điện i theo độ dài dx của đường dây tải điện được thiết lập như công thức (1) [4]:

$$\begin{cases} -\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = R_0 i(x,t) + L_0 \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} \\ -\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = G_0 u(x,t) + C_0 \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

Với: Z<sub>0</sub> = R<sub>0</sub> + L<sub>0</sub>p là tổng trở của đường dây và Y<sub>0</sub> = G<sub>0</sub> + C<sub>0</sub>p là tổng trở dẫn. Nghiệm của phương trình vi phân (1) sẽ xác định được u và i trên đường dây phụ thuộc vào vị trí x và thời gian t:

$$\begin{cases} u(x,t) = u^+(x,t) + u^-(x,t) = f^+(x-vt) + f^-(x+vt) \\ i(x,t) = i^+(x,t) + i^-(x,t) = \frac{1}{Z} [f^+(x-vt) + f^-(x+vt)] \end{cases} \quad (2)$$

Với:

f<sup>+</sup>(x-vt) và f<sup>-</sup>(x+vt) là các hàm phụ thuộc vào x và t; v là vận tốc truyền sóng (m/s); Z là tổng trở sóng của đường dây xác định theo biểu thức (3):

$$Z = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} \tag{3}$$

Như vậy, sóng u và i của đường dây tại mỗi vị trí, mỗi thời điểm là tổng của hai thành phần sóng tới  $u^+(x,t)$ ,  $i^+(x,t)$  và thành phần sóng phản xạ  $u^-(x,t)$ ,  $i^-(x,t)$ . Từ biểu thức (2) cho thấy u và i trên đường dây phụ thuộc Z của đường dây. Ngoài ra, vì là quá trình lan truyền sóng nên điện áp do sét tác động lên các phần tử của đường dây khi gặp môi trường khác nhau (tổng trở đường dây, tổng trở tiếp địa) sẽ xảy ra hiện tượng phản xạ, khúc xạ. Nguy hiểm nhất là khi cuối đường dây hở mạch sóng phản xạ toàn phần.

**2.1. Đường dây không tổn hao và không sét dòng trở về**

Theo [4, 5], các thông số của đường dây đã bỏ qua thành phần  $R_0$ ,  $G_0$  và coi đất là dẫn điện hoàn hảo (điện trở suất của đất  $\rho = 0$ ), khi đó Z của dây dẫn được xác định:

$$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \tag{4}$$

Trong đó:  $L_0$ ,  $C_0$  xác định dựa trên phương pháp ảnh [6]. Để xác định  $L_0$  và  $C_0$ , dựa vào phương pháp ảnh, sơ đồ minh họa trên hình 2 và 3, giá trị  $L_0$ ,  $C_0$  được xác định như sau:

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)}, (F/m) \tag{5}$$

$$L_0 = \frac{\mu_0}{\pi} \ln\frac{2h}{r}, (H/m) \tag{6}$$

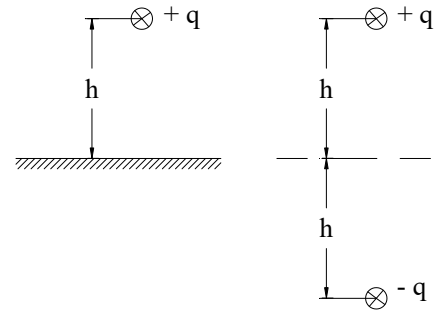
Với h là độ cao của dây pha hoặc dây chống sét so với mặt đất; r bán kính dây;  $\mu_0$  độ từ thẩm không khí ( $\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}(H/m)$ );  $\epsilon_0$  hằng số điện môi ( $\epsilon_0 = 8,86.10^{-12}(F/m)$ ).

Do đó,  $Z_{ii}$  là của bản thân dây dẫn và  $Z_{ij}$  tương hỗ giữa hai dây được xác định theo cách đơn giản như công thức (7) và (8). Như vậy,  $Z_{ii}$  và  $Z_{ij}$  chỉ phụ thuộc vào độ treo cao của dây so với đất và bán kính của dây dẫn.

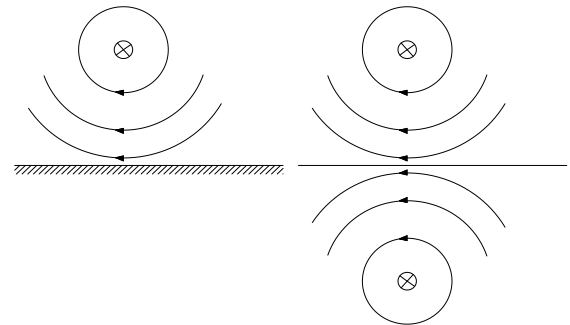
$$Z_{ii} = 60 \ln \frac{2h_i}{r_i} \tag{7}$$

$$Z_{ij} = 60 \ln \frac{D_{ij}}{d_{ij}} \tag{8}$$

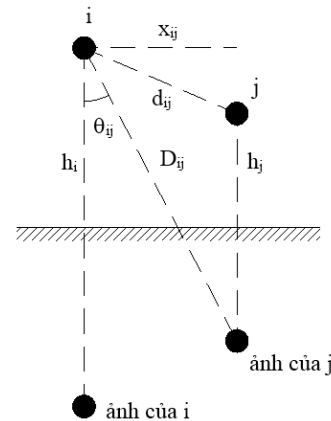
Trong đó:  $h_i$  độ treo cao dây dẫn,  $r_i$  bán kính của dây,  $D_{ij}$  và  $d_{ij}$  được mô tả như trên hình 4.



Hình 2. Phương pháp ảnh xác định C



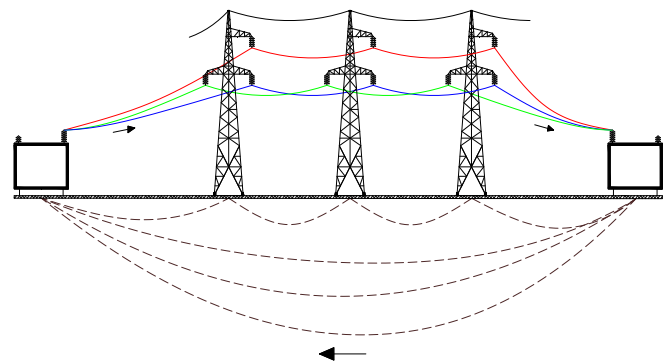
Hình 3. Phương pháp ảnh xác định L



Hình 4. Khoảng cách  $D_{ij}$  và  $d_{ij}$  giữa dây dẫn i và j

**2.2. Tổng trở sóng khi xét đến ảnh hưởng dòng điện trở về đất**

Trong trường hợp này, mô hình đường dây thể hiện như trên hình 5



Hình 5. Mô tả ảnh hưởng bởi dòng điện trở về đất

Như vậy, trong trường hợp này đường dây có mạch điện trở về qua đất. Dòng điện đi trong đất có phân bố không đều, tập trung phía dưới đường dây. Theo lý thuyết mô hình trường điện từ, một mạch dây dẫn - đất có thể thay thế tương đương bằng hai dây dẫn song song (một dây giả định, còn gọi là ảnh của dây dẫn thật). Như đã đề cập, phương trình truyền sóng với các trị số về tổng trở sóng được thiết lập phụ thuộc vào khoảng cách của dây xuống mặt đất. Với cách tính tổng trở sóng như vậy, mặt đất đã được giả thiết là dẫn điện hoàn hảo và không có điện trở. Carson đã chứng minh giá trị Z của đường dây phụ thuộc vào điện trở suất của đất khu vực mà nó đi qua [7, 8], tổng trở sóng xác định như sau:

$$\begin{cases} Z_{ii} = (R_{ii} + \Delta R_{ii}) + j(\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2h_i}{r_i} + X_{ii} + \Delta X_{ii}) \\ Z_{ij} = \Delta R_{ij} + j(\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{(h_i+h_j)^2+x_{ij}^2}}{\sqrt{(h_i-h_j)^2+x_{ij}^2}} + \Delta X_{ij}) \end{cases} \quad (9)$$

Trong đó:

$R_{ii}$ : Điện trở của dây dẫn i ( $\Omega/\text{km}$ );

$X_{ii}$ : Độ tự cảm của dây dẫn i ( $\Omega/\text{km}$ );

$x_{ij}$ : Khoảng cách theo trục ngang giữa dây i và j (m);

$\omega$ : Tần số góc,  $\omega = 2\pi f$ , f là tần số (Hz).

$\Delta R, \Delta X$ : Hệ số Carson khi tính đến sự ảnh hưởng dòng trở về trong đất.

Một tham số trung gian để xét sự ảnh hưởng điện trở suất của đất đặt là a được xác định qua công thức:

$$a = 4\pi\sqrt{5} \cdot 10^{-4} \cdot D \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho}} \quad (10)$$

Trong đó:

$D = 2h_i$  (m) khi xét  $Z_{ii}$

$D = D_{ij}$  (m) khi xét  $Z_{ij}$

$\rho$ : Điện trở suất của đất ( $\Omega\text{m}$ )

Trong trường hợp đất dẫn điện hoàn hảo ( $\rho = 0$ ) thì  $a = \infty$  khi đó  $\Delta R = 0, \Delta X = 0$

Theo Carson [9]  $\Delta R, \Delta X$  xác định như sau:

\* Nếu  $a < 5$

$$\Delta R = 4 \cdot 10^{-4} \omega \begin{bmatrix} -b_1 a \cos \theta + b_2 a^2 (c_2 \cos 2\theta + \theta \sin 2\theta) \\ + b_3 a^3 \cos 3\theta - d_4 a^4 \cos 4\theta - b_5 a^5 \cos 5\theta \\ + b_6 a^6 (c_6 \cos 6\theta + \theta \sin 6\theta) + \\ b_7 a^7 \cos 7\theta - d_8 a^8 \cos 8\theta - \dots \end{bmatrix}, (\Omega/\text{km}) \quad (11)$$

$$\Delta X = 4 \cdot 10^{-4} \omega \begin{bmatrix} b_1 a \cos \theta - d_2 a^2 \cos 2\theta + b_3 a^3 \cos 3\theta \\ - b_4 a^4 (c_4 \cos 4\theta + \theta \sin 4\theta) \\ + b_5 a^5 \cos 5\theta - d_6 a^6 \cos 6\theta + \\ b_7 a^7 \cos 7\theta - b_8 a^8 (c_8 \cos 8\theta + \theta \sin 8\theta) + \dots \end{bmatrix}, (\Omega/\text{km}) \quad (12)$$

Với  $\theta = 0$  trường hợp khi tính  $Z_{ii}$  và  $\theta = \theta_{ij}$  trường hợp khi tính  $Z_{ij}$  (hình 6), các hệ số b, c, d là những hằng số được tính như sau:

- Đối với  $b_i$

Khi  $i = 1$  hoặc  $i = 2$

$$b_1 = \frac{\sqrt{2}}{6}$$

$$b_2 = \frac{1}{16}$$

Khi  $i > 3$ :  $b_i = b_{i-2} \frac{\text{sign}}{i(i+2)}$

Với  $\text{sign} = \pm 1$  thay đổi sau mỗi 4 vòng lặp ( $\text{sign} = +1$  với  $i = 1, 2, 3, 4$ ;  $\text{sign} = -1$  với  $i = 5, 6, 7, 8; \dots$ )

- Đối với  $c_i$

Khi  $i = 2$ :  $c_2 = 1,3659315$

Khi  $i \geq 3$ :  $c_i = c_{i-2} + \frac{1}{i} + \frac{1}{i+2}$

- Đối với  $d_i$

$$d_i = \frac{\pi}{4} b_i,$$

\* Nếu  $a > 5$

$$\Delta R = \frac{4 \cdot 10^{-4} \omega}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \frac{\cos \theta}{a} - \frac{\sqrt{2} \cos 2\theta}{a^2} + \frac{\cos 3\theta}{a^3} \\ + \frac{3 \cos 5\theta}{a^5} - \frac{45 \cos 7\theta}{a^7} \end{bmatrix}, (\Omega/\text{km}) \quad (13)$$

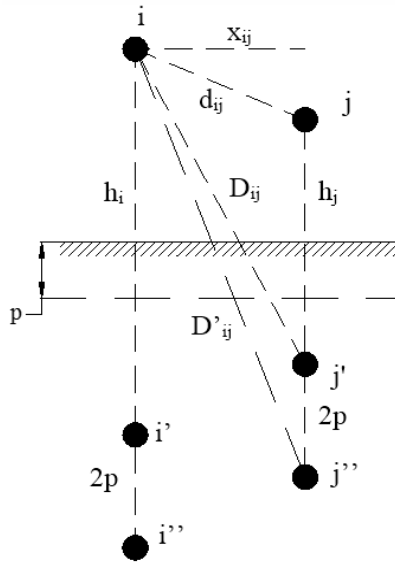
$$\Delta X = 2 \cdot 10^{-4} \omega \ln \frac{D_{ij}}{d_{ij}} + \frac{4 \cdot 10^{-4} \omega}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \frac{\cos \theta}{a} - \frac{\cos 3\theta}{a^3} \\ + \frac{\cos 3\theta}{a^3} - \frac{45 \cos 7\theta}{a^7} \end{bmatrix}, (\Omega/\text{km}) \quad (14)$$

Hàm lượng giác  $\cos \theta$  và  $\sin \theta$  được tính từ hình 4:

$$\cos \theta_{ij} = \frac{h_i + h_j}{D_{ij}}; \sin \theta_{ij} = \frac{x_{ij}}{D_{ij}}$$

Trong vùng đất mỗi lớp đất có  $\rho$  khác nhau nên theo [8, 9] thì Z của dây dẫn ngoài xét ảnh hưởng của dòng trở

về trong đất, còn xét đến sự phân bố  $\rho$  của đất, khi đó ảnh hưởng của dây dẫn còn tăng thêm một đoạn là  $2p$  như hình 6.



Hình 6. Vị trí dây  $i$  và  $j$  và ảnh  $i'$  và  $j''$  khi xét ảnh hưởng điện trở suất của đất

Khi đó,  $Z_{ii}$  và  $Z_{ij}$  xác định như sau:

$$\begin{cases} Z_{ii} = (R_{ii} + \Delta R_{ii}) + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2(h_i + p)}{r_i} + X_{ii} + \Delta X_{ii} \\ Z_{ij} = \Delta R_{jk} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{(h_i + h_j + 2p)^2 + x_{ij}^2}{d_{ij}}} + \Delta X_{ij} \end{cases} \quad (15)$$

Trong đó:  $p$ : hệ số xác định theo công thức (16):

$$p = \sqrt{\frac{\rho}{j\omega\mu_0}} \quad (16)$$

Ngoài ra hiệu ứng bề mặt ở tần số cao của dòng điện sét và hiện tượng vầng quang trên dây dẫn [8] cũng làm cho thông số đường dây thay đổi, làm cho điện áp trên cách điện trên đường dây cũng bị ảnh hưởng.

Như vậy,  $Z_{ii}$  và  $Z_{ij}$  ngoài phụ thuộc vào kích thước của dây dẫn và khoảng cách giữa dây dẫn với đất và khoảng cách giữa các dây dẫn với nhau còn có phải kể đến thành phần tổng trở sóng đường trở về từ đất, thành phần này phụ thuộc vào  $\rho$  của đất. Các tham số này ảnh hưởng tới trị số quá điện áp sét trên đường dây tải điện và trên chuỗi cách điện.

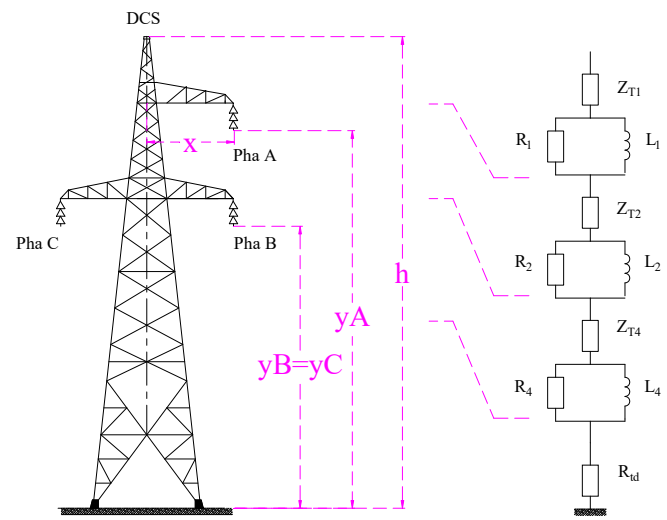
### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu này sử dụng đường dây tải điện một mạch cấp điện áp 220kV, dây dẫn ACRS-300, dây chống sét TK-70, chiều dài khoảng vượt 350m. Mô hình cột trong EMTP/ATP sử dụng mô hình cột nhiều tầng multistory minh họa trên hình 7. Các tham số về  $Z$ ,  $R$  và  $L$  từng đoạn

cột được xác định theo [4]; dữ liệu kích thước cột, độ cao các dây pha và DSC so với đất ( $y$ ), độ dài các tầng xà ( $x$ ) và độ vông ( $S_g$ ) trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số về kích thước đường dây

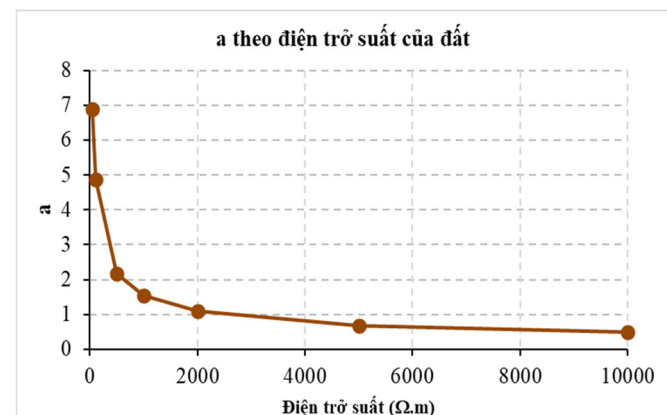
TT	Pha	$x$ (m)	$y$ (m)	$S_g$ (m)
1	A	4	23,5	6
2	B	4	17,5	6
3	C	-4	17,5	6
4	DCS	0	28,5	6



Hình 7. Cột một mạch và mô hình trong EMTP/ATP

#### 3.1. Hệ số $a$ theo $\rho$

Thay đổi  $\rho$  từ  $50\Omega.m$  đến  $10000\Omega.m$ , tính toán được hệ số trung gian  $a$  như hình 8. Từ hình 8 cho thấy, khi coi đất dẫn điện hoàn hảo,  $a$  có trị số rất lớn, nếu coi điện trở suất của đất  $\rho = 0$  thì  $a = \infty$ . Khi  $\rho$  của đất lớn hơn  $2000\Omega.m$  hệ số  $a$  ít thay đổi.

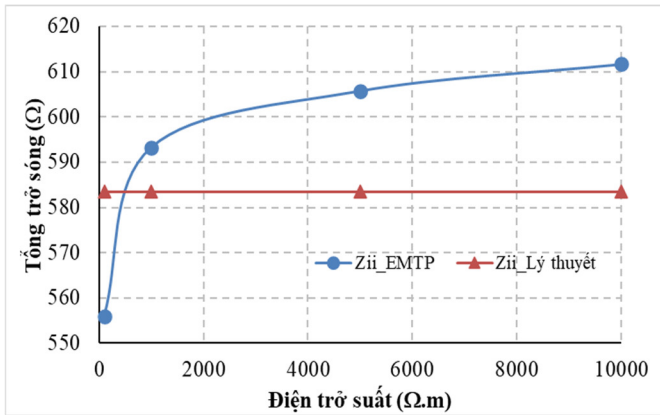


Hình 8. Trị số  $a$  theo  $\rho$  của đất,  $f = 10^6$  (Hz)

#### 3.2. $Z$ của dây dẫn các pha theo $\rho$ của đất

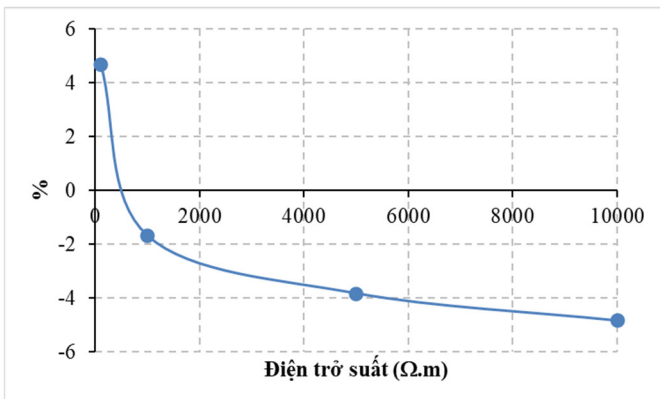
Mô phỏng với các trường hợp  $\rho$  của đất thay đổi từ  $50\Omega.m$  đến  $10000\Omega.m$ , xác định  $Z$  của dây pha (ở đây tính

toán cho pha A) theo  $\rho$  của đất được trình bày trên hình 9. Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy, trong trường hợp sử dụng cách đơn giản Z của các dây pha không phụ thuộc vào  $\rho$  của đất. Theo cách của Carson và mô phỏng EMTP/ATP thì Z các pha có sự thay đổi theo  $\rho$  của đất. Sai số giữa cách đơn giản và cách của Carson trình bày trên hình 10.



Hình 9. Z của dây pha theo  $\rho$  của đất,  $f = 10^6$  (Hz)

Kết quả cho thấy, khi  $\rho$  của đất có giá trị lớn, phương pháp mô phỏng có sự sai khác so với cách tính toán đơn giản là rất lớn, điều này chứng tỏ ảnh hưởng của dòng trở về khi xét đến ảnh hưởng  $\rho$  của đất là rất rõ. Nên nếu Z tính theo cách đơn giản sẽ không được chính xác, từ đó điện áp trên chuỗi cách điện cũng xác định không chính xác, mức chịu sét của đường dây không phản ánh đúng với thực tế.

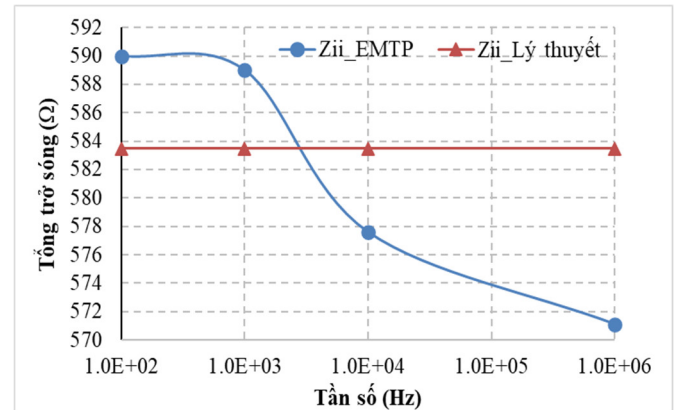


Hình 10. Sai số Z giữa lý thuyết và mô phỏng theo điện trở suất của đất

### 3.3. Z của dây dẫn các pha theo f

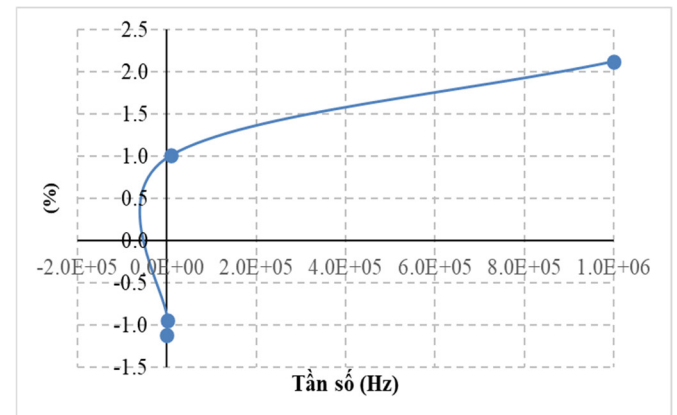
Mô phỏng với các trường hợp f dòng điện sét thay đổi từ 100Hz đến 1000000Hz, xác định Z của dây pha (ở đây tính toán cho pha A) theo f của dòng điện sét được trình bày trên hình 11. Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy, trong trường hợp sử dụng cách đơn giản, thì Z của các dây pha không phụ thuộc vào f dòng điện sét. Theo phương pháp của Carson và mô phỏng EMTP/ATP thì Z

các pha có sự thay đổi theo tần số dòng điện sét. Sai số giữa cách tính đơn giản và cách theo Carson được trình bày trên hình 12.



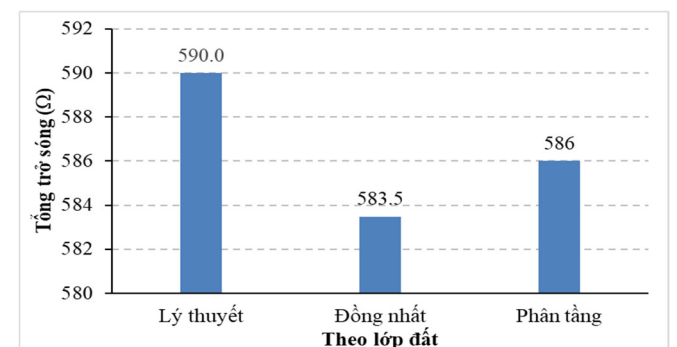
Hình 11. Tổng trở sóng theo f dòng điện sét,  $\rho = 1000$  ( $\Omega.m$ )

Kết quả cho thấy, khi f dòng điện sét nhỏ thì cách đơn giản và mô phỏng không có sự khác nhau nhiều. Khi f lớn hơn 100Hz thì hai phương pháp có sự sai khác so tương đối lớn, điều này chứng tỏ ảnh hưởng của f tới Z của dây dẫn.



Hình 12. Sai số Z giữa lý thuyết và mô phỏng theo f dòng điện sét

### 3.4. Tổng trở sóng của dây dẫn theo lớp đất phân tầng



Hình 13. Tổng trở sóng của dây pha khi lớp đất đồng nhất ( $\rho = 100\Omega.m$ ) và khi phân tầng (lớp 1:  $\rho = 100\Omega.m$ , lớp 2:  $\rho = 500\Omega.m$ )

Các kết quả phần trên có  $\rho$  của đất là đồng nhất, trong phần này sẽ tiến hành mô phỏng với trường hợp lớp đất

phân thành 2 lớp với  $\rho$  của lớp đất thứ nhất là  $100\Omega.m$  và  $\rho$  của lớp đất thứ hai là  $500\Omega.m$ . Kết quả tính toán mô phỏng như trên hình 13.

Kết quả cho thấy khi xét tới điện trở suất của các lớp đất khác nhau sự sai lệch so với khi xét lớp đất đồng nhất là 5%.

#### 4. KẾT LUẬN

Tổng trở sóng của đường dây tải điện xác định theo cách truyền thống chỉ xét ảnh hưởng của độ treo cao dây so với mặt đất và kích thước của dây dẫn mà bỏ qua ảnh hưởng  $\rho$  của đất. Bài báo đã sử dụng phương pháp truyền sóng kết hợp với phần mềm mô phỏng EMTP/ATP để xác định Z của dây dẫn, nên có độ chính xác cao.

Phương pháp này đã xét được mô hình đầy đủ cả về độ cao dây dẫn so với mặt đất, kích thước của dây và f dòng điện sét cũng như xét đến ảnh hưởng của  $\rho$  của đất, kết quả tính toán sai số giữa phương pháp đề xuất và phương pháp truyền thống là 6 %.

Tổng trở sóng của đường dây tải điện khi lớp đất có  $\rho$  của đất khác nhau sẽ khác nhau, trong nghiên cứu này Z của đường dây tải điện khi  $\rho$  của đất là đồng nhất  $100\Omega.m$  và khi đất phân tầng,  $\rho$  của lớp đất thứ nhất là  $100\Omega.m$  và  $\rho$  của lớp đất thứ hai là  $500\Omega.m$  sai lệch tới 5%.

Tổng trở sóng của đường dây tải điện là đại lượng tham gia trực tiếp trong hệ phương trình truyền sóng trên đường dây khi dòng điện sét chạy qua. Xác định Z của dây là một trong các bước để xác định điện áp trên chuỗi cách điện, nếu xác định được chính xác Z của dây dẫn thì điện áp trên chuỗi cách điện cũng sẽ chính xác, từ đó là cơ sở đánh giá mức chịu sét của đường dây tải điện.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Andrew R. Hileman, *Insulation Coordination for Power Systems*. CRC 1999, 17, 2001.
- [2]. Visacro S., F. H. Silveira, A. De Conti, "The use of underbuilt wires to improve the lightning performance of transmission lines," *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27, 1, 205-213, 2011.
- [3]. IEEE Std 1243-1997 (1997), *IEEE guide for improving the lightning performance of transmission lines*.
- [4]. Vo Viet Dan, *Giao trình kỹ thuật điện cao áp*. Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, 1972 (in Vietnamese).
- [5]. Martinez-Velasco J. A., *Power system transients: parameter determination*. CRC press, 2010.

[6]. Carson J. R., "Wave propagation in overhead wires with ground return," *Bell Labs Technical Journal*, 5, 4, 539-554, 1926.

[7]. Carson J. R., "Electromagnetic theory and the foundations of electric circuit theory," *Bell Labs Technical Journal*, 6, 1, 1-17, 1927.

[8]. Brent Pawlik, D. J. Woodhouse, Terrence J. Summers, "Power system earth return impedance and the complex ground return plane approximation," in *Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2017 Australasian, IEEE, 1-6, 2017

[9]. H.W. Dommel, *Electro Magnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book)*. Bonneville Power Administration, Portland, 1986.

#### AUTHORS INFORMATION

**Ninh Van Nam<sup>1</sup>, Nguyen Cong Cuong<sup>1</sup>, Nguyen Xuan Phuc<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam

<sup>2</sup>Power Engineering Consulting Joint Stock Company 1, Vietnam