

ẢNH HƯỞNG CỦA HÌNH DẠNG HỆ THỐNG NỐI ĐẤT ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI ĐẾN ĐIỆN ÁP BƯỚC VÀ ĐIỆN ÁP TIẾP XÚC KHI TẢN DÒNG ĐIỆN SÉT

EFFECT OF GROUNDING CONFIGURATION FOR TRANSMISSION LINE ON STEP VOLTAGE AND TOUCH VOLTAGE DURING DISSIPATION OF LIGHTNING CURRENT

Nguyễn Xuân Phúc¹, Phạm Hồng Thịnh², Trần Văn Tóp¹

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, ²Underground Systems, Inc, Milford Connecticut, USA

Ngày nhận bài: 09/05/2019, Ngày chấp nhận đăng: 30/07/2019, Phản biện: TS. Vũ Hoàng Giang

Tóm tắt:

Bài báo này trình bày kết quả tính toán điện áp bước và điện áp tiếp xúc cho hệ thống nối đất đường dây truyền tải khi có dòng điện sét bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) với phần mềm mô phỏng COMSOL. Dòng điện sét tiêu chuẩn sẽ được bơm vào hệ thống nối đất. Điện áp bước tại một số điểm cụ thể sẽ được tính toán dựa vào phân bố thế trên mặt đất để so sánh mức độ nguy hiểm của từng dạng hệ thống nối đất. Kết quả của bài báo cho phép lựa chọn những hệ thống nối đất tốt nhất trên phương diện an toàn khi có dòng điện sét đi qua.

Từ khóa:

Hệ thống nối đất, đường dây truyền tải, PTHH, tổng trở xung, điện áp bước, điện áp tiếp xúc.

Abstract:

This paper presents the calculation results of step voltage and touch voltage for transmission line grounding system during dissipation of lightning current. The finite element method (FEM) is used with COMSOL program. Standard lightning current will be injected to the grounding system. The step voltage at some specific points will be calculated based on the ground potential distribution to evaluate the performance of each grounding system configuration. The results of the paper allow to select the best grounding system configuration based on the safety for lightning current.

Keywords:

Grounding system, transmission line, FEM, surge impedance, step voltage, touch voltage.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Điện áp bước và tiếp xúc là khái niệm thường được đề cập đến khi tính toán cho hệ thống nối đất của trạm khi dòng sự cố (tần số 50 Hz) tản qua hệ thống nối đất. Tiêu chuẩn về điện áp bước và điện áp tiếp xúc đối với trạm đều được tham chiếu

đến tiêu chuẩn IEEE-80 [1], IEC-60479 [2] và Quy phạm trang bị điện Việt Nam [3]. Đối với dòng điện sét, các nghiên cứu về điện áp bước và điện áp tiếp xúc khi có dòng sét chạy trong hệ thống nối đất chỉ tập trung vào các công trình dân dụng [4], hoặc có người vận hành bên trong như

trạm GSM [5] và tua bin gió [6]. Tính toán điện áp bước và điện áp tiếp xúc cho hệ thống nối đất của cột của đường dây truyền tải chỉ được bắt đầu quan tâm từ năm 1980 [7], tuy nhiên các tính toán này chỉ được tính toán đối với dòng sự cố (50 Hz) chạy qua hệ thống nối đất. Do đường dây truyền tải thường đi qua khu vực thưa dân cư và có hành lang tuyến được tuân thủ nghiêm ngặt, trên thế giới có rất ít nghiên cứu về điện áp bước và điện áp tiếp xúc đối với hệ thống nối đất [8]. Các nghiên cứu này có nhược điểm lớn nhất đều giả thiết hệ thống nối có dạng tập trung hoặc bán cầu, chính vì thế kết quả chỉ mang tính tham khảo.

Do mật độ dân số cao, đường dây truyền tải Việt Nam có đặc điểm là đi qua nhiều khu vực dân cư. Một đặc điểm khác của đường dây truyền tải Việt Nam là nằm ở khu vực có mật độ sét lớn [9]. Đặc biệt là khu vực miền Bắc, mật độ giông sét của khu vực này từ 8,2 lần/km² đến 10,9 lần/km². Do đó, hệ thống nối đất thường xuyên phải làm việc để tản dòng điện sét hơn là tản dòng sự cố. Chính vì vậy, nghiên cứu điện áp bước và điện áp tiếp xúc khi có dòng điện sét tản qua hệ thống nối đất là nhu cầu bức thiết nhằm vận hành đường dây truyền tải ổn định, an toàn và hiệu quả.

Bài báo này trình bày kết quả tính toán điện áp tiếp xúc và điện áp bước của các hệ thống nối đất điển hình của đường dây truyền tải 220 kV và 500 kV Việt Nam khi có dòng điện sét chạy qua. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra những điểm nguy hiểm nhất trên mặt đất đối với mỗi loại nối đất khi tản dòng điện sét. Ngoài ra,

các tính toán còn cho phép xác định kiểu nối đất tốt nhất trong các hệ thống hiện có đồng thời đề xuất một kiểu nối đất tốt hơn trên phương diện an toàn.

2. TỔNG HỢP CÁC HỆ THỐNG TIẾP ĐỊA CỦA ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI VIỆT NAM

Tính đến đầu năm 2018, riêng lưới điện truyền tải khu vực miền Bắc do Công ty Truyền tải điện 1 quản lý, có 4188,8 km đường dây 220 kV và 1986,1 km đường dây 500 kV [10]. Tiêu chuẩn về nối đất đối với hai loại đường dây này không có gì khác nhau và đều tuân theo quy phạm như trong bảng 1.

Bảng 1. Yêu cầu về trị số tiếp địa cột trên đường dây truyền tải [3]

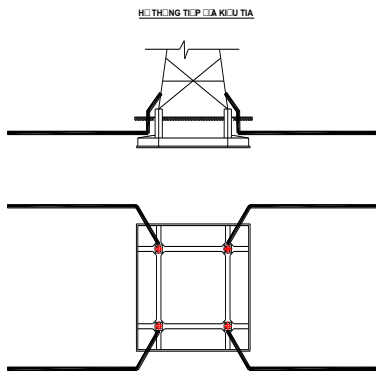
Điện trở suất của đất ρ ($\Omega.m$)	Điện trở nối đất (Ω)
Đến 100	Đến 10
Trên 100 đến 500	15
Trên 500 đến 1000	20
Trên 1000 đến 5000	30
Trên 5000	$6.10^{-3}\rho$

Những cột điện có chiều cao từ 40m trở lên có dây chống sét thì điện trở nối đất phải nhỏ hơn 2 lần trị số trong bảng 1. Ngoài ra, các đơn vị vận hành còn phải áp dụng thêm một số quy định của Tổng công ty Truyền tải điện quốc gia [11], chiều dài các tia không được quá 50 m và đặt cách nhau không dưới 10 m. Các tia vòng quanh móng không được phép thực hiện.

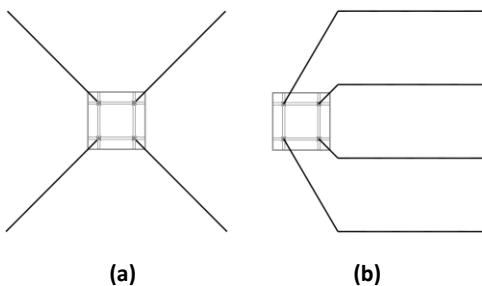
Tuy nhiên các hệ thống tiếp địa thực hiện trước năm 2016 vẫn chiếm đại đa số hệ thống tiếp địa của đường dây truyền tải có thể chia làm 3 dạng chính:

(1) Dạng tia thẳng

Đây là dạng nối đất phổ biến ở tất cả các đường dây 220 kV và trên hầu hết các cột của đường dây 500 kV. Các tia nối đất thường sử dụng thép tròn đường kính đến 20 mm hoặc thép dẹt 4×40 mm hoặc 4×60 mm được chôn ở độ sâu từ 0,8 đến 1 m với một đầu tia được nối trực tiếp vào thân cột. Ngoài ra, độ sâu đặt tia cho phép giảm xuống còn 0,5 m ở những khu vực núi đá khi có khó khăn trong việc đào tiếp địa. Tại những nơi thuận lợi về giải phóng mặt bằng, các tia được bố trí dọc hàng lang tuyến (hình 1), hoặc vuông góc với nhau để giảm ảnh hưởng tương hỗ giữa các tia (hình 2a). Trong trường hợp địa hình khó khăn, các tia có thể bố trí cùng 1 hướng (hình 2b). Số lượng và chiều dài mỗi tia được tính toán để đảm bảo giá trị điện trở nối đất nêu trên bảng 2.



Hình 1. Hệ thống tiếp địa kiểu tia điện hình



Hình 2. Cách bố trí tia đặc biệt

Bảng 2. Số lượng/chiều dài tia với chiều cao cột H < 40m

Điện trở suất (Ω.m)	Chiều dài tia (m)	Số tia
< 100	5	4
100 - 500	20	4
> 500 - 1000	40	4
> 1000 - 2000	50	4
> 2000 - 3000	50	6
> 3000 - 4000	50	8

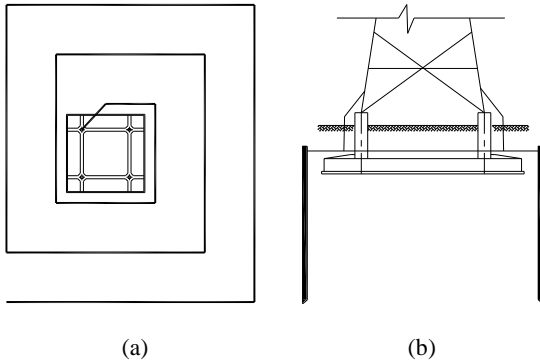
(2) Dạng cọc - tia.

Trong thực tế, tại một số vị trí cột có nhiều vật cản như các công trình xây dựng, cây cối làm cho chiều dài tia cũng như số lượng tia bị hạn chế. Khi đó, các cọc tiếp địa sẽ được bổ sung trên các tia để giảm chiều dài và số lượng tia. Không có quy định về cấu hình tiêu chuẩn cho sơ đồ cọc - tia. Số lượng cọc được tính toán phối hợp cùng với chiều dài tia để đảm bảo giá trị điện trở nối đất theo yêu cầu. Thông thường các cọc được đặt cách nhau 5m. Số lượng cọc trên mỗi tia từ 1-10 cọc. Cọc thường sử dụng thép góc L63×63×6 mm, dài 2,5 m.

(3) Dạng đặc biệt: tia quấn vòng hoặc cọc khoan sâu.

Ngoài 2 dạng tiếp địa phổ biến nhất kể trên, các thiết kế trước năm 2016 sử dụng loại tiếp địa quấn vòng quanh móng, Hình 3a được thực hiện trên một số vị trí cột 220 kV và 500 kV. Ưu điểm của dạng tiếp địa này là dễ thực hiện thuận lợi cho công tác đền bù thi công. Điện trở tiếp địa giảm gần như tuyến tính với chiều dài tia. Tuy nhiên, đến năm 2016 việc thực hiện các

tiếp địa dạng này đã chính thức bị ngừng và được thay thế bằng loại tia thẳng. Đối với các thiết kế mới hiện nay, trường hợp phải cuốn vòng để giảm thiểu ảnh hưởng đến công tác đền bù giải phóng mặt bằng thì cũng chỉ cuốn quanh móng 1 vòng.

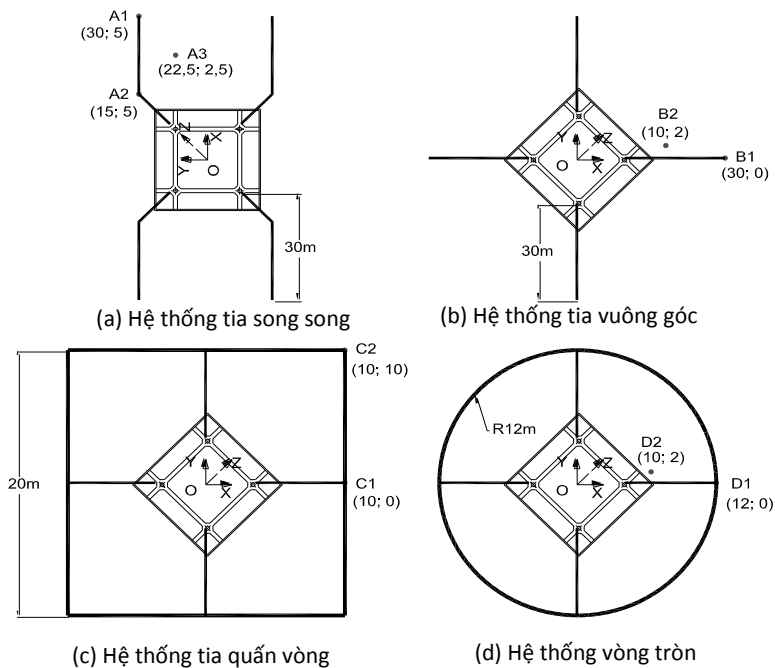


Hình 3. Hệ thống tiếp địa đặc biệt

Nhờ công nghệ khoan sâu, cọc chôn thẳng đứng với chiều dài từ 10 tới 40 m (hình 3b) đã được thực hiện trên nhiều vị trí cột của cả đường dây 220 kV và 500 kV [12].

Hệ thống tiếp địa dạng này không phổ biến do chi phí thực hiện khá cao và chỉ thực hiện ở những nơi khó thi công các tia tiếp địa. Ngoài ra, tại những vùng có địa chất bề mặt là cát khô với điện trở suất lớn nhưng lớp địa chất sâu hơn lại có điện trở suất thấp nhờ có nước ngầm (thường độ sâu trên 10 m), hệ thống tiếp địa kiểu cọc khoan sâu cũng đem lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật cao hơn so với các hệ thống kiểu tia.

Trong bài báo này, 3 trong số các loại tiếp địa (hình 4) kể trên được nghiên cứu bao gồm loại tia thẳng: tia song song (hình 4a) và tia vuông góc (hình 4b); tia quấn vòng (hình 4c) và tia quấn vòng tròn (hình 4d). Các tia được giả thiết có tổng chiều dài điện cực là 120 m, được làm thép mạ kẽm tròn, đường kính 2 cm, và chôn sâu 1 m trong đất có điện trở suất 1000 Ω .m.



Hình 4. Các hệ thống tiếp địa được sử dụng trong tính toán

3. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN ĐIỆN ÁP BƯỚC

Dòng điện sét dạng 1,2/50 μs có biên độ 30 kA với mô hình Heidler [13, 14, 15] được sử dụng trong mô phỏng. Khi có dòng sét chạy qua hệ thống nối đất và tản vào trong đất, xuất hiện phân bố điện -từ trường trong vùng đất bao quanh hệ thống nối đất. Giá trị điện từ trường tại điểm x bất kỳ trong đất sẽ biến đổi theo thời gian t và được tính toán bằng cách giải hệ phương trình Maxwell [16]:

$$\nabla_x \mu_r^{-1} (\nabla_x A) + \sigma \mu_0 \frac{\partial A}{\partial t} + \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial A}{\partial t}) = 0 \quad (1)$$

$$E = - \frac{\partial A}{\partial t} \quad (2)$$

Với σ , ϵ_r , μ_r lần lượt là điện trở suất, hằng số điện môi ($\epsilon_r=5$) và độ từ thẩm của đất ($\mu_r=1$); ϵ_0 , μ_0 lần lượt hằng số điện môi và độ từ thẩm của chân không; E và A lần lượt là cường độ điện trường và từ thế.

Khi tính được điện trường E , điện thế tại điểm i bất kỳ trên mặt đất cách điểm bom dòng một khoảng r_i , được tính như sau:

$$V_i(t) = - \int_{r_i}^{\infty} E \cdot dr \quad (3)$$

Điện áp bước tại điểm X, với khoảng cách bước trung bình 1 m, được tính toán thông qua điện thế phân bố trên mặt đất [1]:

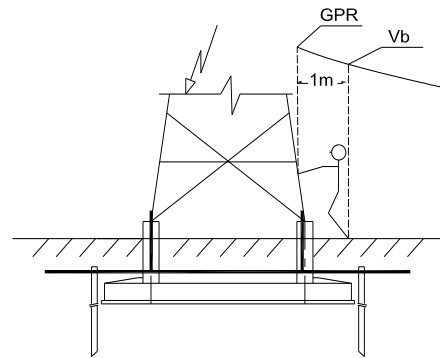
$$V_{step_X}(t) = V_{X-0.5}(t) - V_{X+0.5}(t) \quad (4)$$

4. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN ĐIỆN ÁP TIẾP XÚC

Giá trị điện áp tiếp xúc là chênh lệch giữa điện thế của một kết cấu kim loại nối với hệ thống nối đất, hay chênh lệch giữa độ

dâng điện thế (Ground Potential Rise-GPR) của hệ thống nối đất với điện thế trên mặt đất tại điểm chân người đứng còn tay chạm vào kết cấu kim loại. Không giống như trong trạm có nhiều kết cấu kim loại được nối đất, giá trị điện áp tiếp xúc đối với cột chỉ là chênh lệch giữa GPR và điện thế V_b trên mặt đất cách cột 1 m [17, 18]:

$$U_{lx}(t) = GPR(t) - V_b(t) \quad (5)$$



Hình 5. Mô hình tính toán điện áp tiếp xúc theo IEEE Std 80

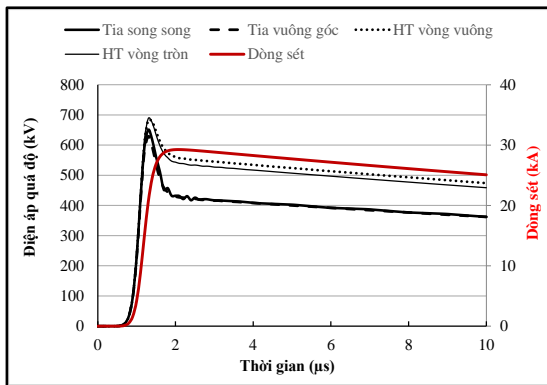
5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bài báo sử dụng phần mềm COMSOL để xây dựng mô hình 3D cho hệ thống tiếp địa có hình dạng như trình bày ở hình 4. Các thông số đầu vào bao gồm cường độ và dạng xung sét, điện trở suất đất, kích thước điện cực nối đất như đã đề cập ở mục 2 và 3. Mô đun Radio Frequency được sử dụng để giải hệ phương trình Maxwell bằng phương pháp PTHH như đã nêu tại mục 3 và cho kết quả phân bố điện trường, phân bố điện thế xung quanh hệ thống nối đất. Kết quả nghiên cứu được tổng hợp như sau:

5.1. Điện áp bước

Hình 6 thể hiện dòng điện sét với điện thế

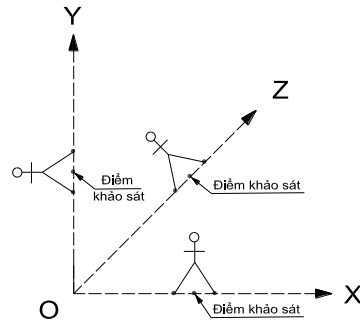
tại điểm dòng điện sét đi vào hệ thống nối đất (điểm O) thay đổi theo thời gian. Ảnh hưởng của điện cảm của hệ thống nối đất được quan sát rõ do điện áp sớm pha hơn dòng điện khoảng $0,5 \mu s$. Tại thời điểm ban đầu khi có dòng sét chạy qua hệ thống nối đất, điện thế tại điểm dòng điện đi vào hay GPR của hệ thống nối đất tăng lên rất cao. Hệ thống dạng vòng tròn và vòng vuông có GPR cao hơn so với hệ thống kiểu tia mặc dù tổng chiều dài điện cực nối đất của các hệ thống là tương đương nhau. Tuy nhiên, chênh lệch giữa GPR của 2 hệ thống kiểu tia song song là không lớn. Sau $2 \mu s$, GPR giảm về tương ứng với giá trị tổng trở tần số thấp của hệ thống nối đất. Lúc này, GPR của hệ thống tia thẳng (song song và vuông góc) nhỏ hơn nhiều so với hệ thống kiểu vòng (vòng tròn hoặc vòng vuông) do điện trở tần số thấp của hệ thống kiểu tia thấp hơn nhiều so với hệ thống kiểu vòng.



Hình 6. Thay đổi của GPR theo thời gian đối với các dạng hệ thống nối đất

Do dòng xung sét biến thiên theo thời gian nên phân bố thế trên mặt đất cũng thay đổi theo thời gian. Điện thế trên từng điểm trên mặt đất biến đổi tùy theo khoảng cách của điểm đó đến vị trí dòng điện sét đi vào hệ thống nối đất. Tính toán

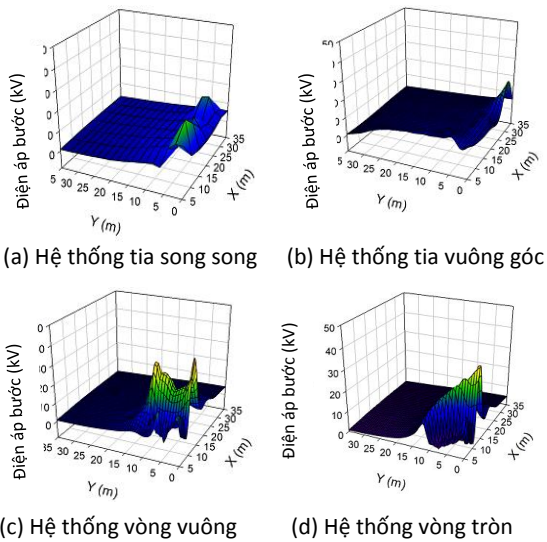
sơ bộ cho thấy, ngoài phạm vi 35 m tính từ nơi dòng điện sét đi vào hệ thống nối đất, điện thế trên mặt đất giảm xuống gần như bằng 0. Chính vì vậy, điện áp bước tại từng điểm trên mặt đất được nghiên cứu trong phạm vi 35 m tính từ gốc O. Tại mỗi điểm, điện áp bước được xem xét theo 3 phương OX, OY và OZ như trên hình 7. Theo phương khảo sát, 2 chân người và điểm khảo sát tạo thành 3 điểm thẳng hàng và nằm song song với phương này. Do tính đối xứng của hệ thống, ta chỉ xem xét mặt phẳng OXY (góc phần tư thứ nhất).



Hình 7. Các phương khảo sát điện áp bước

Hình 8 cho thấy theo phương khảo sát OX, điện áp bước lớn nhất tại các tại điểm đầu mút tia tiếp địa. Đối với hệ thống kiểu tia, các điểm nằm dọc theo tia có điện áp bước không lớn. Đối với hệ thống kiểu vòng, điện áp bước các điểm nằm trên điện cực tăng cao hơn nhiều so với các điểm xung quanh. Các điểm có điện áp bước lớn nhất được đánh dấu trên hình 4: A1, A2 đối với hệ thống tia song song; B1 đối với hệ thống tia vuông góc; C1, C2 đối với hệ thống vòng vuông; D1 đối với hệ thống vòng tròn. Điện áp bước tại các điểm này nguy hiểm nhất là do người đứng ngay cạnh điện cực. Chênh lệch điện thế giữa 2 chân người rất cao do phân bố thế có độ dốc rất lớn ở khu vực

gần điện cực. Tại các vị trí này, điện áp bước lên tới ~30 kV. Tại các điểm khác trên mặt đất cách xa các điểm bất lợi trên từ 5m trở lên, phân bố thế trở nên bằng phẳng hơn, sự chênh lệch điện thế giữa các điểm không lớn. Do đó, điện áp bước giảm xuống khoảng 15 lần, xuống dưới 2 kV.

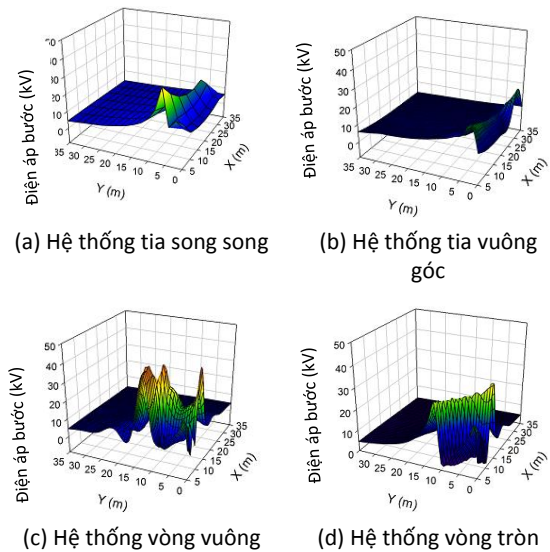


Hình 8. Điện áp bước theo phương OX (kV)

Điện áp bước theo phương OZ (hình 9) cũng cho thấy điện áp bước lớn nhất tại các tại điểm đầu mút tia tiếp địa. Đối với hệ thống kiểu tia, điện áp bước theo phương OZ cao hơn so với phương OX với mức chênh lệch trung bình khoảng 2,6kV. Đối với hệ thống kiểu vòng, điện áp bước tại các điểm nằm trên điện cực cũng lớn hơn hẳn so với các điểm xa điện cực, mức chênh lệch lên đến 35 kV. Các điểm có điện áp bước lớn nhất được đánh dấu trên hình 4: A1, A2 đối với hệ thống tia song song; B1 đối với hệ thống tia vuông góc; C1, C2 đối với hệ thống vòng vuông.

Theo phương OY những điểm có điện áp bước lớn lại không nằm trên các điện cực.

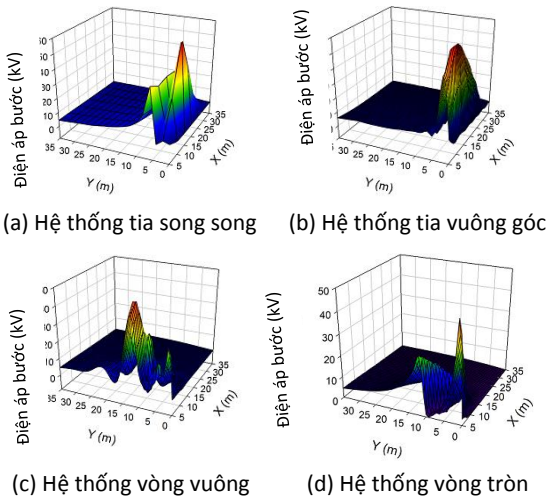
Theo phương này, khi người đứng ngay trên điện cực, hai chân sẽ đặt lên 2 phía của điện cực. Điện thế tại 2 điểm này tuy lớn nhưng sự chênh lệch điện thế không nhiều vì vậy điện áp bước không cao, trung bình hơn 2 kV. Các điểm có điện áp bước nguy hiểm nằm cách điện cực khoảng 2 m. Giá trị cao nhất lên tới hơn 60 kV đối với hệ thống kiểu tia và gần 50 kV đối với hệ thống kiểu vòng vuông. Theo phương khảo sát này, hệ thống kiểu vòng tròn có điện áp bước ít nguy hiểm nhất với giá trị cực đại chỉ hơn 30 kV. Trên hình 4, đó là các điểm A3, A4 đối với hệ thống tia song song; điểm B2 đối với hệ thống tia vuông góc; điểm C2 đối với hệ thống vòng vuông; điểm D2 đối với hệ thống vòng tròn. Theo phương OY, tại các điểm bất lợi, điện áp bước cao gấp 2 lần so với phương OX và OZ.



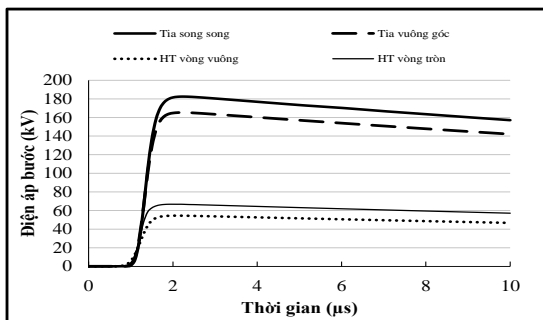
Hình 9. Điện áp bước theo phương OZ (kV)

Do tính chất tuyến tính của bài toán, điện áp bước tại các điểm sẽ thay đổi theo thời gian và chỉ phụ thuộc vào trị số dòng điện. Điện áp bước tại các điểm nguy hiểm nhất A1, B1, C2 và D2 được trình bày trên hình 11. Rõ ràng, hệ thống kiểu

tia gây nên điện áp bước cao gấp ba lần so với hệ thống tia kiểu vòng với cùng một dòng điện sét. Điều này chứng tỏ rằng nối đất dạng vòng là một biện pháp tốt để giảm sự nguy hiểm của điện áp bước.

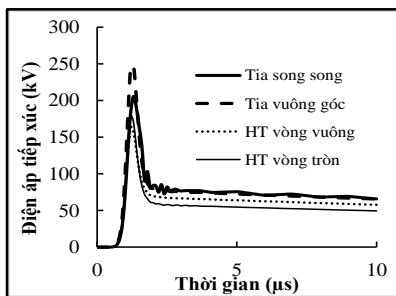


Hình 10. Điện áp bước theo phương OY (kV)

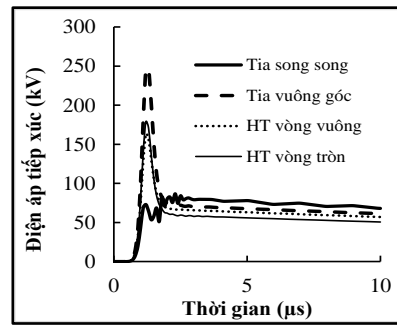


Hình 11. Điện áp bước tại các điểm bất lợi

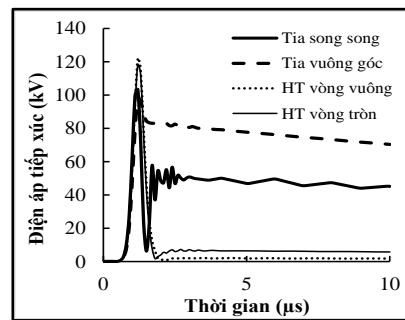
5.2. Điện áp bước



(a) Theo phương OX



(b) Theo phương OY



(c) Theo phương OZ

Hình 12. Điện áp tiếp xúc (kV)

Điện áp tiếp xúc thay đổi theo thời gian có đặc tính tương tự như độ dâng điện thế trên hệ thống nối đất GPR (hình 12), theo đó điện áp tiếp xúc tăng từ 0 kV đến giá trị cực đại sau đó suy giảm về giá trị xác lập. Xét riêng giá trị cực đại của điện áp tiếp xúc, theo phương OX, hệ thống vòng vuông và vòng tròn có giá trị nhỏ nhất cho dù GPR của các hệ thống này cao nhất. Ngược lại, mặc dù có GPR thấp nhất nhưng hệ thống tia vuông góc có giá trị điện áp tiếp xúc lớn nhất theo phương OX. Theo phương OY, do tính chất đối xứng, điện áp tiếp xúc của các hệ thống dạng vòng và hệ thống tia vuông góc có giá trị tương tự như theo phương OX. Tuy nhiên, theo phương OY, hệ thống tia song song lại có giá trị điện áp tiếp xúc cực đại nhỏ nhất. Đối với phương OZ, hệ thống

tia vuông góc có trị số điện áp tiếp xúc cực đại nhỏ nhất.

Xét đến giá trị xác lập của điện áp tiếp xúc, trong mọi trường hợp hệ thống vòng vuông và vòng tròn đều có điện áp tiếp xúc thấp hơn so với hệ thống tia. Đặc biệt là theo phương OZ, mặc dù giá trị U_{tx} cực đại của hệ thống kiểu vòng lớn hơn nhưng khi suy giảm về giá trị xác lập thì các hệ thống này lại có U_{tx} nhỏ hơn so với hệ thống kiểu tia. Như vậy, qua các trường hợp khảo sát, cơ bản nhận thấy hệ thống kiểu vòng cho giá trị U_{tx} thấp hơn so với hệ thống kiểu tia.

6. KẾT LUẬN

Tại Việt Nam, hệ thống nối đất trong trạm biến áp đã được thiết kế để đảm bảo giá trị điện trở một chiều, giá trị điện áp bước và điện áp tiếp xúc. Tuy nhiên, hệ thống nối đất cho đường dây truyền tải chỉ được

thiết kế để đảm bảo giá trị điện trở 1 chiều. Trị số điện áp quá độ, điện áp bước và điện áp tiếp xúc chưa được quan tâm trong quá trình thiết kế và thực hiện hệ thống nối đất mặc dù hình dạng hệ thống tiếp địa là yếu tố quyết định đến các giá trị điện áp này.

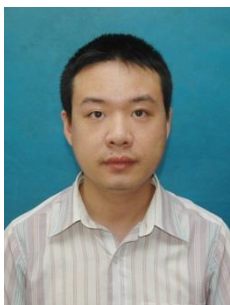
Trong nghiên cứu này, các hệ thống được mô phỏng có tổng chiều dài điện cực tương đương nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy mặc dù hệ thống tia vòng gây ra điện trở một chiều lớn hơn so với dạng tia thẳng nhưng về phương diện an toàn chúng luôn tạo ra điện áp bước và điện áp tiếp xúc nhỏ hơn. Chính vì vậy, quá trình thiết kế các hệ thống tiếp địa cho đường dây truyền tải đi qua khu vực này cần đặc biệt chú ý đến đặc tính này để phối hợp tốt giữa yêu cầu về bảo đảm kỹ thuật cho hệ thống nối đất và phương diện an toàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] CIGRE Task Force D1.01.10: Ageing of cellulose in mineral-oil insulated transformers, Brochure N° 323, 2007.
- [2] IEEE Guide for safety in AC substation grounding, IEEE Standard 80-2000, May 2000.
- [3] Effects of current on human beings and livestock, IEC60479-2:2017.
- [4] Quy phạm trang bị điện Việt Nam số 11 TCN-19-2006.
- [5] G. Ala and M.L.D. Silvestre, "A Simulation Model for Electromagnetic Transients in Lightning Protection Systems", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 44, No.4, pp. 539-554, 2002.
- [6] R. Markowska, A. Sowa, J. Wiater, "Step and Touch Voltage Distributions at GSM Base Station during Direct Lightning Stroke", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application, Chongqing, China, November 9-13, 2008.
- [7] F. Granze, S. Journet, R. Moini and F.P. Dawalibi, "Safety of Wind Farm Grounding Systems under Fault and Lightning Currents", International Conference on Lightning Protection, September 2016, Portugal.

- [8] E.A. Cherney and K.G. Ringler, N. Kolcio and G.K. Bell, "Step and Touch Potential at Faulted Transmission Tower", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-100, No.7, pp. 3312-3321, 1981.
- [9] M. Nayel, J. Zhao, J. He, Z. Caia and Q. Wang, "Study of Step and Touch Voltages in Resistive/Capacitive Ground due to Lightning Stroke", CEEM, 2006, pp. 56-60.
- [10] Bản đồ giông sét Việt Nam 2009, Viện Vật lý địa cầu.
- [11] Niên giám truyền tải 2018, Công ty Truyền tải điện 1.
- [12] Văn bản số 0310/QĐ-EVNNPT ngày 29/1/2016 của Tổng Công ty Truyền tải điện Quốc gia về việc ban hành Quy định Thiết kế hạng mục hệ thống nối đất đường dây tải điện trên không 220kV, 500kV.
- [13] Bản vẽ thi công công trình đường dây 220kV Đồng Nai 5 - Đăk Nông, 2014.
- [14] Guideline for Numerical Electromagnetic Analysis Method and its Application to Surge Phenomena, Cigre Working Group C4.501, June 2013.
- [15] Slavko Vujević, Dino Lovrić, "Exponential approximation of the Heidler function for the reproduction of lightning current waveshapes", Electric Power Systems Research, 2010, pp. 1293-1298.
- [16] Dino Lovrić, Slavko Vujević and Tonći Modrić, "On the estimation of Heidler function parameter for reproduction of various standardized and recorded lightning current waveshapes", European Transaction on Electrical Power, 2011.
- [17] F. Hanaffi, W H Siew, I. Timoshkin, H. Lu, Y. Wang, L. Lan and X. Wen, "Evaluation of Grounding Grid's Effective Area" in 2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP), Shanghai, China.
- [18] G.B. Niles, R. Baishiki, J.W. Cartwright, F. Dawalibi, W.K. Dick, W.G. Eisinger, J.G. Engimann, W.G. Finney, R.J. Heh, D.C. Hubbard, D.T. Jones, H.T. Lam, D.J. Nichols, H. Parker, P.D. Quinn and R. Ralston, "Background and Methodology for Analyzing Step and Touch Potentials near Transmission Structures Part I Background", IEEE Transaction on Power System, Vol. PWRD-1, No. 2, pp. 150-157, 1986.
- [19] M.A. El-Kady and M.Y. Vainberg, "Risk Assessment of Grounding Hazards due to Step and Touch Potentials near Transmission Line Structure", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-102, No.9, pp. 3080-3087, 1983.
- [20] COMSOL Multiphysics, www.comsol.com

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Xuân Phúc tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2005; nhận bằng Thạc sĩ ngành năng lượng năm 2010 tại Học viện Công nghệ Châu Á (AIT), Thái Lan; nghiên cứu sinh ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội từ năm 2013 - 2019.

Lĩnh vực nghiên cứu: quá độ điện từ trên lưới truyền tải điện, phối hợp cách điện, hệ thống nối đất, chống sét cho đường dây truyền tải điện.



Tác giả Phạm Hồng Thịnh tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2001; nhận bằng Thạc sĩ ngành hệ thống điện năm 2002 và bằng Tiến sĩ năm 2005 tại Đại học Joseph Fourier of Grenoble, Pháp.

Lĩnh vực nghiên cứu: quá điện áp và phối hợp cách điện trong hệ thống điện, vật liệu cách điện và điện môi.



Tác giả Trần Văn Tóp nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành điện tại Đại học Bách khoa Grenoble, Pháp. Tác giả hiện là Phó giáo sư, Phó hiệu trưởng Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: quá điện áp và bảo vệ chống quá điện áp cho hệ thống điện, vật liệu cách điện và điện môi.

