

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TỐI ƯU LẮP CHỐNG SÉT VAN TRÊN ĐƯỜNG DÂY 500KV NHẪM HẠN CHẾ HIỆN TƯỢNG PHÓNG ĐIỆN NGƯỢC

IDENTIFICATION OF OPTIMAL LOCATION FOR INSTALLING SURGE ARRESTERS TO REDUCE BACK FLASHOVER INFLUENCE ON 500KV POWER LINES

Đinh Thành Việt¹, Nguyễn Tấn Tiến²

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; Email: dvtiet@dut.udn.vn

²Học viên cao học K24, ngành Mạng và Hệ thống Điện, Đại học Đà Nẵng; Email: tantienavn@gmail.com

Tóm tắt: Hiện tượng phóng điện ngược là một trong các nguyên nhân thường gặp gây mất điện cho các đường dây truyền tải điện, dẫn đến thiệt hại nặng về kinh tế xã hội cho ngành điện lẫn người sử dụng điện, các cơ quan doanh nghiệp... Bài báo trình bày phương pháp mô phỏng hiện tượng phóng điện ngược và ứng dụng phần mềm EMTP để mô phỏng tính toán và phân tích hiện tượng phóng điện ngược trên đường dây 500kV. Kết quả thu được cho phép phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hiện tượng phóng điện ngược trên đường dây 500kV như điện trở nối đất của cột, chiều cao của cột đồng thời xác định được các vị trí tối ưu trên đường dây để lắp đặt chống sét van nhằm hạn chế sự cố do phóng điện ngược trên đường dây 500kV. Nghiên cứu và các kết quả mô phỏng được thực hiện đối với đường dây 500kV Quảng Ninh - Móng Dương.

Từ khóa: Phóng điện ngược; điện trở nối đất; chống sét van đường dây; mô phỏng; EMTP.

1. Đặt vấn đề

Một trong những nỗi lo lớn nhất của lĩnh vực truyền tải điện là đường dây tải điện bị sét đánh. Đây là sự cố do thiên nhiên, nằm ngoài tầm kiểm soát của con người nên việc ngăn ngừa không đơn giản. Trên một số đường dây 500kV đi qua các khu vực địa lý có mật độ sét cao, điện trở suất của đất lớn, thường xuyên xảy ra hiện tượng phóng điện ngược. Đó là hiện tượng sét đánh vào đỉnh cột hoặc dây chống sét, gây ra phóng điện từ cột qua xà, qua các chuỗi cách điện tới dây dẫn các pha gây sự cố mất điện đường dây, làm ngừng cung cấp điện một vùng rộng lớn và gây thiệt hại lớn cho nền kinh tế. Để khắc phục hiện tượng này nhiều nơi đã sử dụng giải pháp lắp bổ sung thêm một số bát sứ, chẳng hạn trong các năm 2011-2012, Công ty Truyền tải Điện 1 đã lắp bổ sung trên 4.000 bát cách điện cho các đường dây bị sét đánh nhiều ở các khu vực truyền tải điện Quảng Ninh, Thái Nguyên, Tây Bắc cho các chuỗi cách điện đường dây [11]. Nhưng thực tế cho thấy giải pháp này cũng vẫn chưa đủ cơ sở để khẳng định sẽ làm giảm sự cố do nguyên nhân phóng điện ngược vì sự cố phóng điện ngược vẫn xảy ra.

Hiện nay một số nước tiên tiến trên thế giới đã thử nghiệm thành công thiết bị chống sét van lắp đặt trên đường dây với mục đích hạn chế hiện tượng phóng điện ngược và giải phóng năng lượng dư do hiện tượng quá điện áp khí quyển gây ra, nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cho hệ thống. Nếu lắp đặt chống sét van trên tất cả các pha của tất cả các cột điện thì sự cố do phóng điện ngược gây ra sẽ được giảm thiểu đáng kể [12], nhưng như vậy đòi hỏi chi phí quá cao. Vấn đề đặt ra là với số lượng chống sét van có hạn, thì việc xác định các vị trí cột điện để đặt chống sét van sao cho hiệu quả là rất quan trọng.

Abstract: Back flashover is one of the most popular reasons that might cause interruption of power transmission lines and leads to heavy socio-economic losses for electricity industries, customers, businesses, entrepreneurs... This paper presents a method of back flashover simulation, using the EMTP software for simulating, calculating and analyzing back flashover on 500kV power transmission lines. The research results allow us to analyze the factors affecting back flashover on 500kV power transmission lines such as tower grounding resistance, tower height; identification of optimal locations for surge arresters installation in view of reducing back flashover influence on the 500kV power lines. Research and simulation have been implemented for Quangninh - Mongduong 500kV power transmission lines.

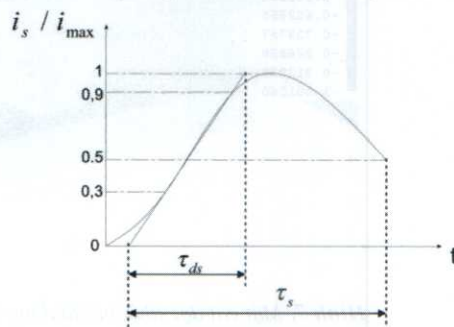
Key words: Back flashover; grounding resistance; line surge arrester; simulation; EMTP.

Trong bài báo này sẽ nghiên cứu ứng dụng phần mềm EMTP để tính toán mô phỏng, xác định vị trí tối ưu để lắp đặt chống sét van nhằm hạn chế sự cố do phóng điện ngược trên đường dây 500kV.

2. Phương pháp tính toán mô phỏng

2.1. Mô phỏng nguồn sét

Nguồn dòng sét có dạng sóng [1, 2, 4] như Hình 1, trong đó τ_{ds} là thời gian đầu sóng (độ dài đầu sóng), τ_s : độ dài đuôi sóng, i_{max} : dòng điện cực đại của nguồn sét. Trong nghiên cứu tính toán, sử dụng dạng sóng tiêu chuẩn có độ dài đầu sóng 1,2μs và đuôi sóng 50μs.

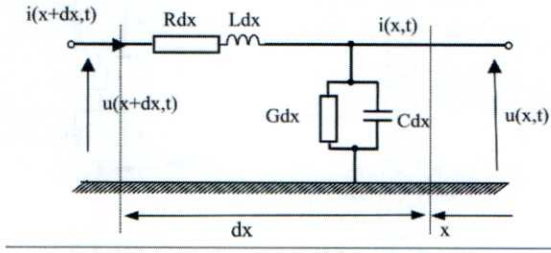


Hình 1. Dạng sóng dòng điện sét

2.2. Mô phỏng đường dây

Khi sét đánh vào đường dây sẽ sinh ra sóng điện từ truyền dọc theo đường dây gây nên quá điện áp khí quyển tác dụng lên cách điện. Vì vậy khi nghiên cứu tính toán chống sét cho hệ thống điện cần phải dựa trên cơ sở phân tích các quá trình truyền sóng trên đường dây. Hệ phương trình mô tả quá trình truyền sóng trên đường dây là hệ phương trình đạo hàm riêng trong đó R, L, C, G

là các tham số của đường dây trên một đơn vị chiều dài, $i(x,t)$ và $u(x,t)$ là dòng điện và điện áp dọc đường dây ở tọa độ x và thời gian t (Hình 2).



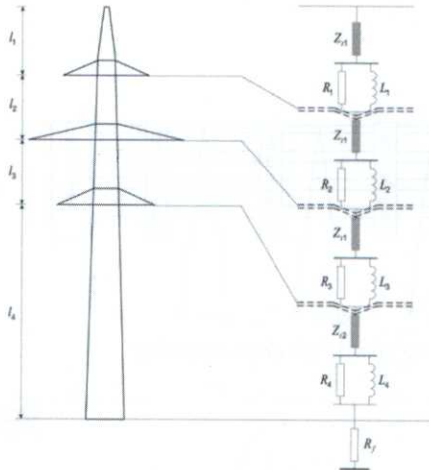
Hình 2. Sơ đồ thay thế đường dây

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = R i(x,t) + L \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = G u(x,t) + C \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \quad (1.2)$$

2.3. Mô phỏng cột đường dây

Các cột đường dây 500kV được nghiên cứu có dạng như ở Hình 3.



Hình 3. Mô hình thay thế cột đường dây

Để tính toán quá trình quá độ điện áp do sóng sét lan truyền trên mỗi cột, ta chia thành 4 phân đoạn [6-10]. Trở kháng sét Z_t , thời gian truyền sóng t , khoảng cách giữa các cánh xà l_1, l_2, l_3, l_4 và hệ số suy giảm γ được xác định như sau:

Trở kháng sét: $Z_{t1} = Z_{t2} = Z_{t3} = 220 \Omega$ (đoạn trên)

$Z_{t4} = 150 \Omega$ (đoạn dưới), vận tốc truyền sóng $v_t = v_{t1} = v_{t2} = v_{t3} = v_{t4} = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$, hằng số thời gian: $\tau = 2 \times H/v_t$, hệ số suy giảm $\gamma = 0,8944$.

Điện trở cản dục trên một đơn vị chiều dài của các phân đoạn trên [7]:

$$r_1 = -2 \times Z_{t1} \ln \gamma / (l_1 + l_2 + l_3) \quad (1.3)$$

Điện trở cản dục trên một đơn vị chiều dài của phân đoạn dưới: $r_2 = -2 \times Z_{t4} \ln \gamma / (l_4)$ (1.4)

Giá trị điện trở:

$$R_1 = r_1 \times l_1, R_2 = r_1 \times l_2, R_3 = r_1 \times l_3, R_4 = r_2 \times l_4$$

(mục 7.6.3.2, [7])

Giá trị điện cảm:

$$L_1 = R_1 \times \tau, L_2 = R_2 \times \tau, L_3 = R_3 \times \tau, L_4 = R_4 \times \tau.$$

2.4. Mô phỏng điện trở nổi đất chân cột

Đối với nổi đất chống sét vì mật độ dòng điện sét tán trong đất rất lớn, điện trường tăng cao dẫn đến quá trình phóng điện trong đất tương đương với việc tăng kích thước điện cực và tăng điện dẫn của đất khiến cho điện trở xung kích R_f có trị số thấp hơn so với điện trở tản xoay chiều của nổi đất chân cột R_g . Điện trở nổi đất xung kích của nổi đất chân cột được tính toán theo công thức [4, 7]:

$$R_f = \frac{R_g}{\sqrt{1 + \frac{I}{I_g}}} \quad (1.5)$$

trong đó I là dòng điện sét đi vào đất, I_g là dòng điện giới hạn bắt đầu gây ra ion hóa môi trường đất.

$$I_g = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{E_o \rho_o}{R_g^2} \right) \quad (1.6)$$

Trong đó ρ_o là điện trở suất của đất ($\Omega.m$), E_o là cường độ điện trường phóng điện trong đất (theo khuyến nghị là $400 \text{ kV}/\text{m}$ [7]).

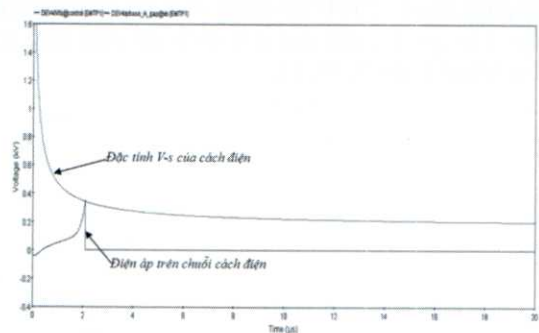
2.5. Mô phỏng phóng điện ngược

Hiện tượng phóng điện ngược xảy ra khi điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện cao hơn mức điện áp chịu đựng xung sét của chuỗi cách điện. Mức điện áp chịu đựng xung sét của chuỗi cách điện không phải là một giá trị cố định. Chuỗi cách điện có thể chịu được điện áp xung có biên độ lớn trong một khoảng thời gian ngắn, nhưng lại có thể bị phá hỏng khi chịu đựng điện áp xung nhỏ hơn trong khoảng thời gian dài hơn. Mức điện áp chịu đựng của chuỗi cách điện có thể được tính toán theo công thức sau [5]:

$$V_{fo} = K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \quad (1.7)$$

Trong đó V_{fo} là điện áp phóng điện, $K_1 = 400 \times L$, $K_2 = 710 \times L$, L là chiều dài chuỗi cách điện (m), t là thời gian tồn tại xung điện áp (μs).

Trong quá trình mô phỏng, mức điện áp chịu đựng xung của chuỗi cách điện được so sánh với điện áp thực tế đặt lên cách điện. Nếu điện áp trên cách điện vượt quá điện áp chịu đựng xung thì hiện tượng phóng điện xảy ra như ở Hình 4.



Hình 4. Đặc tính V-s và cơ chế phóng điện ngược

3. Ví dụ tính toán

Sử dụng phần mềm EMTP để mô phỏng hiện tượng phóng điện ngược trên tuyến đường dây 500kV Quảng Ninh- Mông Dương có dạng cột như Hình 5 và tổng số cột của cả tuyến đường dây là 57 cột.

Đường dây kép 500kV Quảng Ninh - Mông Dương nằm trên địa bàn của tỉnh Quảng Ninh có chiều dài là 24,276km, dây dẫn loại 4xACSR330/42 (dây phân pha 4 dây), dây chống sét có kết hợp với 2 dây cáp quang OPGW 80, cách điện dùng chuỗi sứ treo chế tạo theo tiêu chuẩn IEC, điện trở nối đất của cột đường dây đạt yêu cầu theo qui phạm trang bị điện [3], không lớn hơn 20 Ω .

Các thông số tính toán:

$$Z_{t1} = Z_{t2} = Z_{t3} = 220 \Omega, Z_{t4} = 150 \Omega,$$

$$\tau = 2 \times H / v_t \mu s, \gamma = 0,8944;$$

$$l_1 = 4,7m; l_2 = 10,5m; l_3 = 10,5m; l_4 = 27m$$

$$r_1 = -2 \times Z_{t1} \ln \gamma / (l_1 + l_2 + l_3) = 1,91 \Omega/m,$$

$$r_2 = -2 \times Z_{t4} \ln \gamma / (l_4) = 1,24 \Omega/m,$$

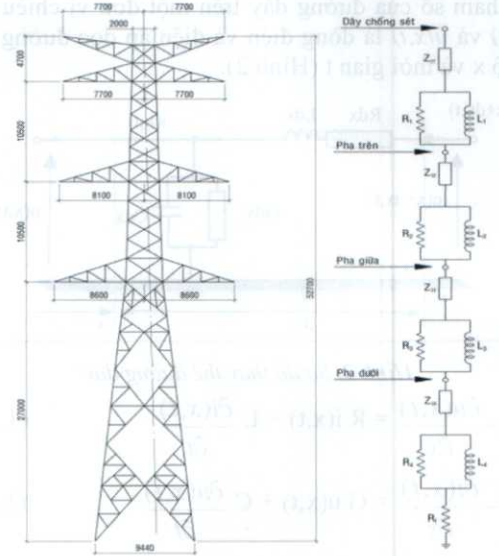
$$R_1 = r_1 \times l_1 = 8,98 \Omega, R_2 = r_1 \times l_2 = 20,06 \Omega,$$

$$R_3 = r_1 \times l_3 = 20,06 \Omega, R_4 = r_2 \times l_4 = 33,48 \Omega,$$

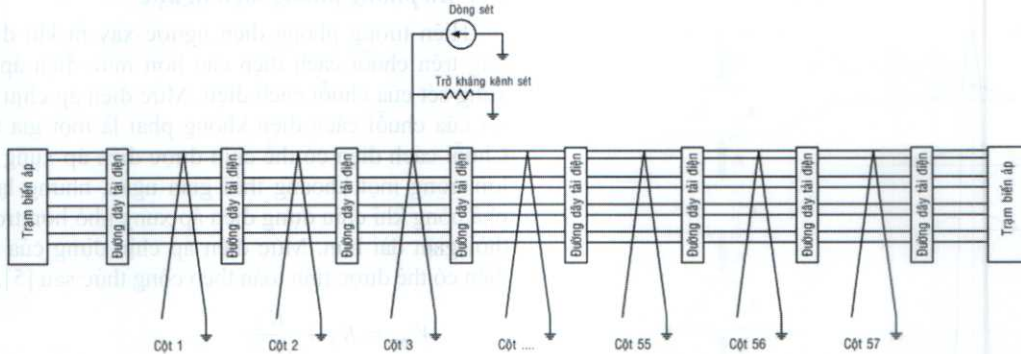
$$L_1 = R_1 \times \tau = 3,16 \mu H, L_2 = R_2 \times \tau = 7,05 \mu H,$$

$$L_3 = R_3 \times \tau = 7,05 \mu H, L_4 = R_4 \times \tau = 11,76 \mu H.$$

Đường dây như ở Hình 6 được mô phỏng trên phần mềm EMTP.



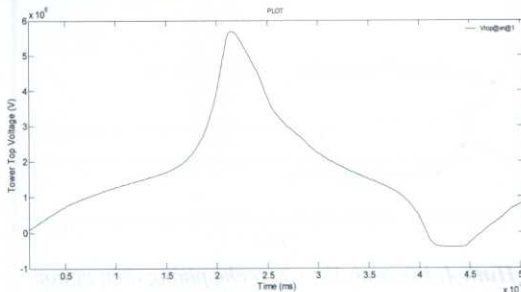
Hình 5. Sơ đồ thay thế cột đường dây tính toán



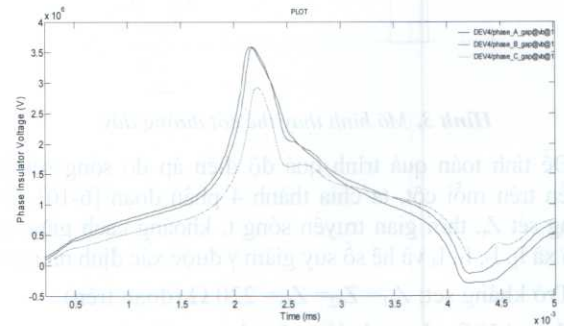
Hình 6. Tuyến đường dây 500kV Quảng Ninh-Mông Dương gồm 57 cột được mô phỏng

3.1. Ảnh hưởng của điện trở nối đất chân cột

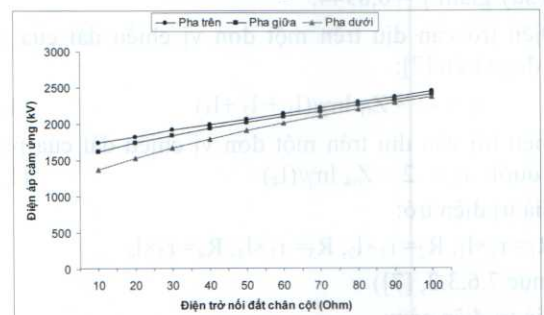
Để nghiên cứu ảnh hưởng của điện trở chân cột đến hiện tượng phóng điện ngược trên tuyến đường dây, thực hiện mô phỏng các cú sét đánh vào đỉnh cột (Hình 7). Trong từng trường hợp ta thay đổi điện trở nối đất chân cột từ 10÷100 Ω , khảo sát điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện do sét đánh gây ra như ở Hình 8. Kết quả tính toán từ phần mềm EMTP với dòng điện sét có dạng sóng 1,2/50 μs cho giá trị cực đại của điện áp cảm ứng trên chuỗi sứ như ở Hình 9, 10, 11.



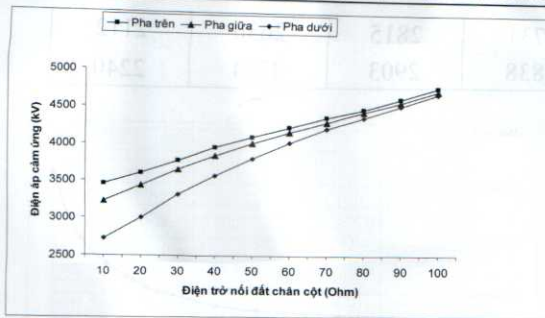
Hình 7. Dạng sóng điện áp cảm ứng tại đỉnh cột khi biên độ dòng sét là 100kA.



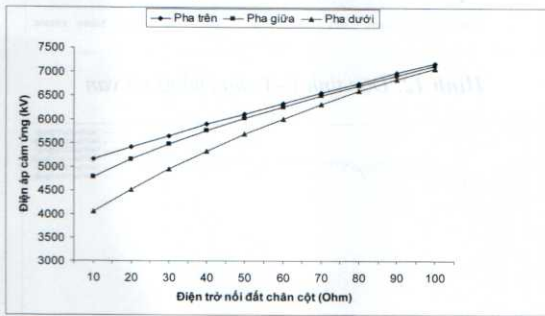
Hình 8. Dạng sóng điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện khi biên độ dòng sét là 100kA.



Hình 9. Điện áp cảm ứng cực đại trên chuỗi cách điện khi dòng sét có biên độ là 50kA



Hình 10. Điện áp cảm ứng cực đại trên chuỗi cách điện khi dòng sét có biên độ là 100kA



Hình 11. Điện áp cảm ứng cực đại trên chuỗi cách điện khi dòng sét có biên độ là 150kA

Từ đặc tính V-s của chuỗi cách điện trên tuyến đường dây (Hình 5) và giá trị cực đại của điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện, khả năng hiện tượng phóng điện ngược qua chuỗi cách điện xảy ra sẽ được thể hiện như ở Bảng 1.

Theo kết quả ở Bảng 1, trong trường hợp dòng điện sét có biên độ nhỏ hơn 50kA, thì không có hiện tượng phóng điện ngược xảy ra mặc dù điện trở nối đất chân cột thay đổi từ 10÷100 Ω . Khi tăng dòng sét có biên độ lớn hơn 100kA thì hiện tượng phóng điện ngược xảy ra hầu như với tất cả các giá trị điện trở nối đất chân cột. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy rằng giá trị điện trở nối đất chân cột lớn rất dễ dẫn đến xảy ra hiện tượng phóng điện ngược.

Bảng 1. Phóng điện ngược qua chuỗi cách điện khi dòng sét có dạng sóng 1,2/50 μ s

Điện trở nối đất chân cột (Ω)	Biên độ dòng sét								
	50kA			100kA			150kA		
	Pha trên	Pha giữa	Pha dưới	Pha trên	Pha giữa	Pha dưới	Pha trên	Pha giữa	Pha dưới
10	X	X	X	O	X	X	O	O	O
20	X	X	X	O	X	X	O	O	O
30	X	X	X	O	O	X	O	O	O
40	X	X	X	O	O	X	O	O	O
50	X	X	X	O	O	O	O	O	O
60	X	X	X	O	O	O	O	O	O
70	X	X	X	O	O	O	O	O	O
80	X	X	X	O	O	O	O	O	O
90	X	X	X	O	O	O	O	O	O
100	X	X	X	O	O	O	O	O	O

O: Phóng điện ngược X: Không xảy ra phóng điện ngược

3.2. Ảnh hưởng của chiều cao cột

Thực hiện mô phỏng các cú sét đánh với biên độ dòng sét lần lượt là 50kA, 100kA và 150kA (với dạng sóng 1,2/50 μ s). Trong từng trường hợp ta chỉ thay đổi các loại cột được sử dụng trên tuyến đường dây để khảo sát điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện do sét đánh gây ra, được kết quả như ở Bảng 2.

Bảng 2 cho thấy điện áp cảm ứng cực đại trên chuỗi cách điện tăng dần tương ứng với chiều cao cột, do sự thay đổi trở kháng sét, điện trở và điện cảm cân dũ của cột. Ngoài ra kết quả cũng cho thấy điện áp cảm ứng trên cách điện ở pha trên cùng cao hơn các pha phía dưới, do đó khả năng xảy ra phóng điện ở pha trên cùng cũng cao hơn.

Thực hiện tính toán mô phỏng như trường hợp với các loại cột trên nhưng chỉ treo một dây chống sét thu được kết quả như ở Bảng 3. Bảng này cho thấy trong trường hợp cột treo một dây chống sét thì sẽ dẫn đến điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện cao hơn nhiều so với khi treo hai dây chống sét.

Bảng 2. Quá điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện đối với các loại cột khác nhau

Loại cột	Chiều cao cột (m)	Biên độ dòng sét								
		50kA			100kA			150kA		
		Pha trên (kV)	Pha giữa (kV)	Pha dưới (kV)	Pha trên (kV)	Pha giữa (kV)	Pha dưới (kV)	Pha trên (kV)	Pha giữa (kV)	Pha dưới (kV)
Đ52-52B	52,7	2098	2016	1497	4173	4005	2969	6238	5980	4429
Đ52-58B	58,7	2156	2093	1597	4291	4160	3169	6419	6219	4730
Đ52-62B	62,7	2190	2138	1655	4361	4252	3286	6524	6360	4904
Đ52-68B	68,7	2234	2197	1731	4450	4375	3438	6664	6542	5156
ĐV52-79	79	2378	2282	1838	4755	4556	3659	7126	6828	5472

Bảng 3. Quá điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện trong trường hợp treo một và hai dây chống sét

Loại cột	Chiều cao cột (m)	Treo 2 dây chống sét và biên độ dòng sét là 50kA			Treo 1 dây chống sét và biên độ dòng sét là 50kA		
		Pha trên (kV)	Pha giữa (kV)	Pha dưới (kV)	Pha trên (kV)	Pha giữa (kV)	Pha dưới (kV)
Đ52-52B	52,7	2098	2016	1497	2627	2400	1821
Đ52-58B	58,7	2156	2093	1597	2704	2499	1945
Đ52-62B	62,7	2190	2138	1655	2751	2556	2017

Đ52-68B	68,7	2234	2197	1731	2815	2630	2112
ĐV52-79	79	2378	2282	1838	2903	2734	2240

3.3. Xác định vị trí tối ưu lắp chống sét van trên đường dây nhằm hạn chế hiện tượng phóng điện ngược

Thực hiện mô phỏng các cú sét đánh vào từng vị trí cột với biên độ dòng sét tăng dần đến khi bắt đầu xảy ra hiện tượng phóng điện ngược, ghi lại giá trị dòng sét min như ở Hình 16. Sử dụng nguồn sóng sét tiêu chuẩn là 1,2/50μs, tăng dần biên độ dòng sét từng bước nhảy 5kA, từ 50kA-150kA để khảo sát hiện tượng phóng điện ngược trên đường dây.

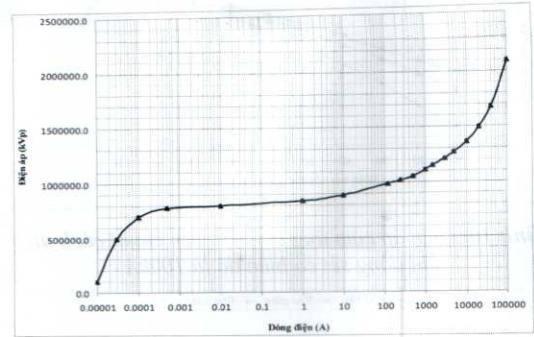
Từ Hình 16 ta xác định được trị số dòng đỉnh sét nhỏ nhất mà có thể gây ra hiện tượng phóng điện ngược tại các vị trí cột trên tuyến đường dây (phần mềm EMTP đã xét đến quá trình truyền sóng trong tính toán). Các vị trí 21, 22, 25, 39, 40 có khả năng xảy ra phóng điện ngược cao hơn các cột khác. Đây là các vị trí cột vừa có điện trở nổi đất chân cột và chiều cao cột lớn (Hình 17 và Hình 18). Do đó các cột 21, 22, 25, 39, 40 là vị trí thích hợp nhất để lắp đặt chống sét van trên đường dây. Theo phân bố xác suất dòng điện sét [4, 6]

$$p(i > I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{31 \text{ kA}}\right)^{2.6}} = 10,7\%$$

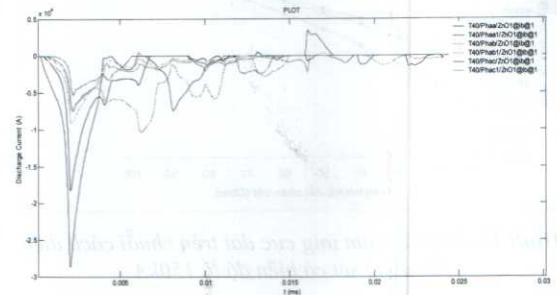
tại các vị trí cột 21, 22, 25, 39, 40 ứng với dòng điện sét đỉnh min $I=70\text{kA}$ xác suất xuất hiện dòng điện sét có biên độ lớn hơn I là 10,7%.

Sử dụng chống sét van (CSV) đường dây có điện áp định mức là 420 kV và có đặc tính V-A như Hình 12 để lắp song song với các chuỗi sứ trên các cột đã chọn.

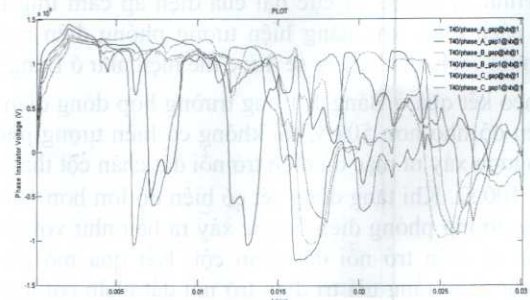
Khi lắp 6 CSV trên ba pha của cả hai mạch tuyến đường dây, ta thấy điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện của tất cả các pha có lắp CSV đều giảm thấp và hoàn toàn không có hiện tượng phóng điện ngược xảy ra (Hình 13 và 14).



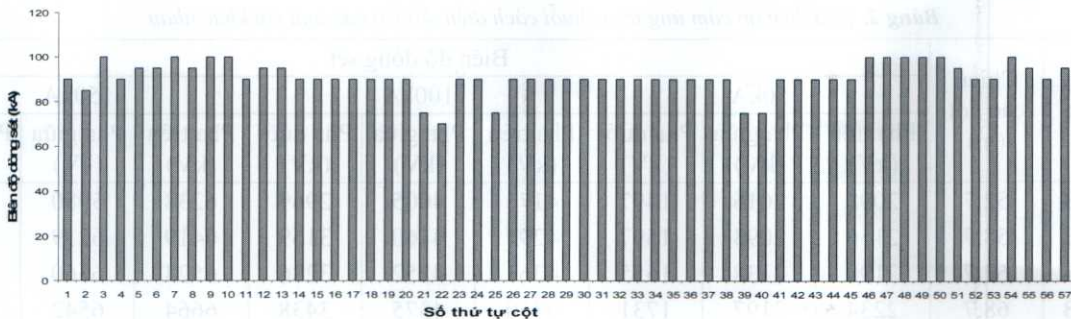
Hình 12. Đặc tính V-A của chống sét van



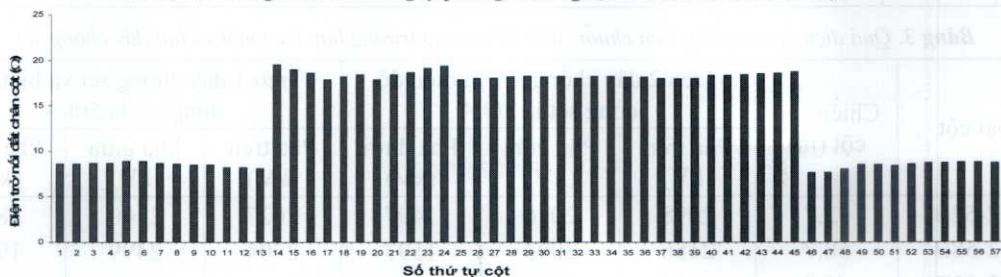
Hình 13. Dòng phóng của CSV tại cột 40



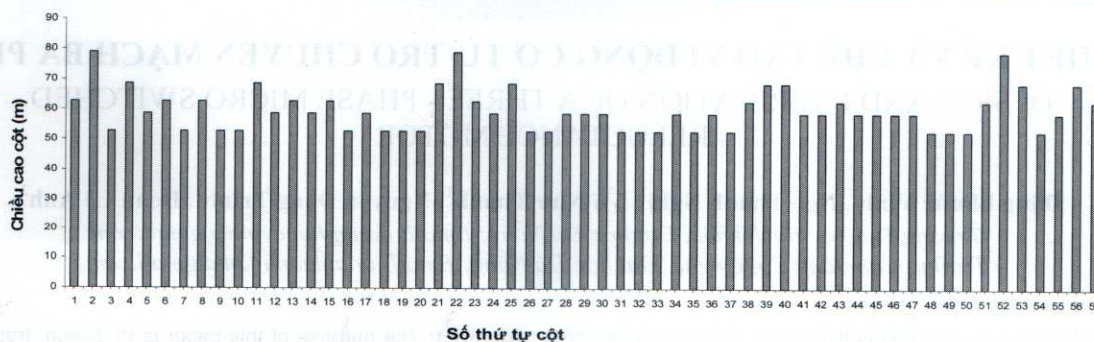
Hình 14. Điện áp cảm ứng trên cách điện tại cột 40



Hình 15. Dòng đỉnh sét min gây phóng điện ngược trên chuỗi sứ cách điện



Hình 16. Điện trở nổi đất của cột



Hình 17. Chiều cao cột

4. Kết luận

Bài báo đã sử dụng phần mềm EMTP để mô phỏng tính toán phân tích hiện tượng phóng điện ngược trên đường dây 500kV và thực hiện cụ thể đối với đường dây 500kV Quảng Ninh - Mông Dương. Trên cơ sở đó xác định được các vị trí cột tối ưu trên tuyến đường dây để lắp đặt chống sét van nhằm hạn chế sự cố do phóng điện ngược. Theo catalog của ABB [12], các CSV hiện nay có thể chịu được dòng xả với giá trị đỉnh đến hàng trăm kA.

Kết quả nghiên cứu cụ thể đối với đường dây này cũng cho thấy hiện tượng phóng điện ngược sẽ không xảy ra trên đường dây 500kV trong trường hợp dòng sét có biên độ nhỏ hơn 50kA. Khi dòng sét có biên độ lớn hơn 100kA thì hiện tượng phóng điện ngược xảy ra với hầu hết các giá trị điện trở nối đất chân cột.

Chiều cao cột cũng ảnh hưởng nhiều đến khả năng xảy ra phóng điện ngược, khi chiều cao cột tăng sẽ làm điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện tăng tương ứng khi bị sét đánh. Cột treo một dây chống sét thì sẽ dẫn đến điện áp cảm ứng trên chuỗi cách điện cao hơn nhiều so với khi treo hai dây chống sét và do đó làm tăng nguy cơ phóng điện ngược.

Tài liệu tham khảo

- [1] Võ Viết Đan (1972), *Giáo trình kỹ thuật điện cao áp*, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [2] Hoàng Việt (2004), *Kỹ thuật điện áp cao*, Đại học Quốc gia TP HCM.
- [3] Bộ Công nghiệp (2006), *Qui phạm trang bị điện*, Hà Nội.
- [4] [CIGRE WG 33-01, "Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines", Technical Brochure, October 1991.
- [5] IEEE Standard 1243-1997, "IEEE Guide for Improving The lightning Performance of Transmission Lines", June 1997.
- [6] IEEE Working Group on Lightning Performance of Transmission Lines, "A Simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Lines", *IEEE Trans. on Power App. & Systems*, Vol. PAS-104, No. 4, pp. 919-927, April 1985.
- [7] IEC 60071-4, "Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks", *International Electrotechnical Commission*, 2004.
- [8] M. Ishii, T.Kawamura, T.Kouno, E.Ohsaki, K.Shiokawa, K.Murotani and T.Higuchi, "Multistory Transmission Tower Model for Lightning Surge Analysis", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 6, No. 3, July 1991, pp. 1327 – 1335.
- [9] A.Ametani, N.Nagaoka, T.Funabashi and N.Inoue, "Tower Structure Effect on a Back-Flashover Phase", *Proc. of Int. Conf. on Power Systems Transients (IPST'05)*, Paper No.IPST05-190, Montreal, Canada, June 19-23, 2005.
- [10] Martinez J. A, Ferley C. A, "Modeling of Overhead Transmission Lines for Lightning Studies", *The Int. Conf. on Power Systems Transients (IPST'05)*, Montreal, Canada, June 19-23, 2005, pp. 1-5.
- [11] <http://www.baocongthuong.com.vn/nang-luong/33848/giam-thieu-su-co-luoi-dien-do-set.htm#.UpNJBcjq3EE>
- [12] ABB Surge Arresters-Buyer's Guide, Edition 5.1, 2007.

(BBT nhận bài: 01/11/2013, phản biện xong: 02/12/2013)