

# ỨNG DỤNG CHỐNG SÉT VAN TRÊN ĐƯỜNG DÂY COMPACT 110kV TẠI VIỆT NAM

## APPLICATION OF LINE SURGE ARRESTERS ON THE COMPACT TRANSMISSION LINES 110kV IN VIET NAM

Ninh Văn Nam<sup>1\*</sup>,  
Nguyễn Mạnh Quân<sup>1</sup>, Trần Văn Tớp<sup>2</sup>

### TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng chống sét van (CSV) lắp đặt trên đường dây compact 110kV trong lưới điện Việt Nam. Kết quả nghiên cứu dựa trên mô hình điện hình học (EGM) và phần mềm mô phỏng EMTP/ATP. Số lần sét đánh vào đường dây compact và đường dây thông thường được tính toán so sánh. Khả năng chịu sét của đường dây với các cấu hình lắp đặt CSV khác nhau theo điện trở tiếp địa cột được xem xét. Suất cắt đường dây trước và sau khi lắp đặt CSV được so sánh. Khả năng chịu sét của đường dây compact một mạch và hai mạch kết hợp với lắp đặt CSV được so sánh với đường dây có dây chống sét (DCS) không có CSV.

**Từ khóa:** Đường dây compact, chống sét van, mô phỏng EMTP/ATP.

### ABSTRACT

This paper presents result application of line surge arresters on the compact transmission lines 110kV in Viet Nam. The results study are based on the geometric model (EGM) method and EMTP simulation software. The number of lightning strikes to the compact transmission lines and standard line is calculated and compared. Different line surge arrester installation configurations are considered. Line lightning performance is computed for different tower footing resistance. Line performance before and after line surge arrester installation are compared. Line lightning performance of the single and double circuits compact transmission lines combined with line surge arresters are compared with the performance of the standard line without line surge arresters.

**Keywords:** Compact transmission line, line surge arresters, EMTP/ATP simulation.

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

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

\*Email: ninhnamhau@gmail.com

Ngày nhận bài: 10/01/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/5/2020

Ngày chấp nhận đăng: 18/8/2020

### 1. GIỚI THIỆU

Thực tế vận hành cho thấy, ở một số vị trí cột có chiều cao và điện trở tiếp địa có trị số lớn khả năng sét đánh gây phóng điện cao hơn những vị trí cột có chiều cao và điện trở tiếp địa cột nhỏ. Theo mô hình EGM cột càng cao trị số dòng điện sét thu hút càng lớn [1], do vậy nếu chiều cao cột có thể giảm được thì trị số dòng điện sét cũng giảm xuống, đồng thời diện tích thu hút sét cũng giảm xuống. Lắp đặt CSV là giải pháp chống sét hiệu quả cho đường dây truyền

tải, CSV lắp ở pha nào thì hầu như tại pha đó phóng điện do sét được loại bỏ hoàn toàn [2-9]. Theo kết quả nghiên cứu [3, 10] khi lắp 1 CSV thì lắp cho pha trên cùng mang lại suất sự cố nhỏ nhất. Do vậy, khi pha trên cùng được lắp CSV ngoài bảo vệ cho pha đó còn đóng vai trò như DCS bảo vệ cho các dây pha phía dưới. Loại bỏ hoàn toàn DCS tương đương với việc sử dụng đường dây compact [11-14]. Mặc dù đường dây compact chưa xuất hiện ở Việt Nam, nhưng việc loại bỏ DCS ở đường dây thông thường cũng làm cho chiều cao của cột cũng giảm xuống từ 4m đến 6m đối với đường dây 110kV. Thực tế vận hành cho thấy, sử dụng DCS ở những đường dây phân phối cấp điện áp nhỏ hơn 35kV là không hiệu quả. Vì vậy, nội dung bài báo trình bày kết quả nghiên cứu để xuất giải pháp sử dụng đường dây compact 110kV kết hợp lắp đặt CSV.

Số lần sét đánh vào đường dây phụ thuộc vào các tham số của dòng điện sét, mật độ sét và phụ thuộc vào cấu hình của đường dây truyền tải [15]. Hai đại lượng mật độ sét và tham số của dòng điện sét là hoàn toàn phụ thuộc vào yếu tố tự nhiên không thể thay đổi. Số lần sét đánh vào đường dây sẽ giảm nếu chiều cao cột giảm xuống. Khi không có DCS, dây pha trên cùng sẽ đóng vai trò như DCS và CSV lắp vào pha này sẽ bảo vệ trong trường hợp sét đánh trực tiếp vào dây pha. Khả năng chịu sét của các pha phía dưới không lắp CSV cũng được tăng lên do khoảng cách các pha giảm xuống làm cho cho hệ số ngẫu hợp các pha tăng lên.

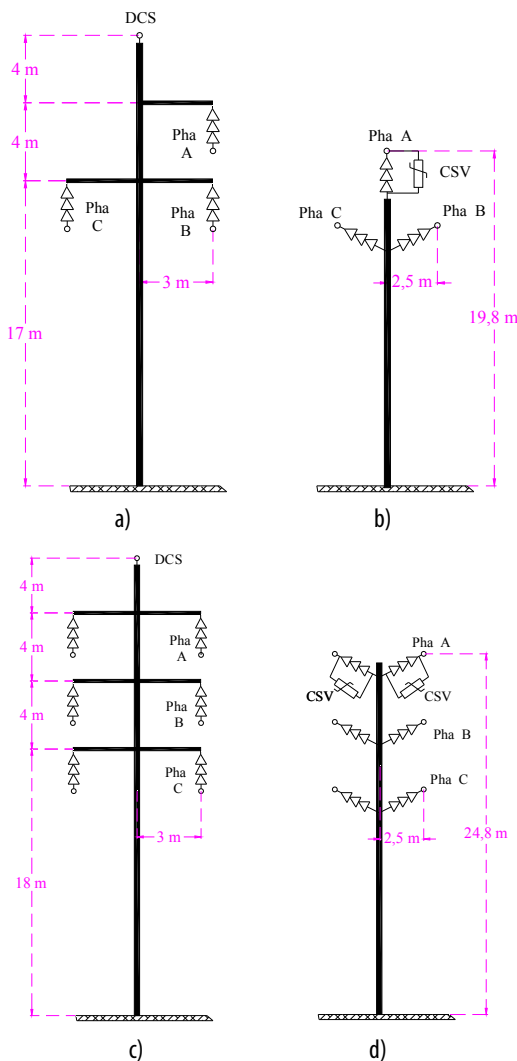
Ngày nay, cách điện đường dây với vật liệu composite đã và đang thay thế cho cách điện thủy tinh và cách điện sứ trên các đường dây 110kV. Công nghệ vật liệu composite ngày một phát triển, chiều dài đường rò của một phần tử cách điện được tăng lên, do đó số phần tử cách điện trong chuỗi cách điện giảm xuống, dẫn đến chiều dài chuỗi cách điện cũng ngắn xuống [16]. Ngoài ra, công nghệ CSV phát triển đã sản xuất được loại CSV có năng lượng hấp thụ lớn có thể tới một vài MJ [17], cao hơn nhiều mức năng lượng hấp thụ cần thiết của CSV tính toán cho trường hợp xấu nhất. Vì thế, sử dụng CSV lắp trực tiếp cho đường dây compact là hoàn toàn khả thi.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng CSV trên đường dây compact 110kV cho lưới điện Việt Nam. Số lần sét đánh vào đường dây compact và đường dây thông thường được tính toán và so sánh. Suất sự cố của đường

dây compact lắp CSV và đường dây thông thường theo trị số điện trở tiếp địa cột được xác định và so sánh. Ảnh hưởng của số lượng CSV lắp đặt trên đường dây compact cũng được xem xét. Các kết quả về dạng sóng điện áp đặt trên cách điện của đường dây compact các pha cũng được phân tích đánh giá. Ngoài ra năng lượng hấp thụ của CSV ứng với trị số ngưỡng dòng điện sét gây phóng điện và dòng điện sét 300kA cũng được xem xét.

**2. ĐƯỜNG DÂY COMPACT 110kV**

Từ đường dây 110kV có DCS (gọi là đường dây thông thường) như đường dây 1 mạch trên hình 1a và đường dây 2 mạch trên hình 1c. Đường dây compact sẽ bỏ DCS và phần thân cột từ xà của pha trên cùng tới đỉnh cột của đường dây thông thường, khoảng cách từ dây pha tới cột được thu nhỏ gọn lại như trên hình 1b đường dây 1 mạch và hình 1d đường dây 2 mạch.



Hình 1. Đường dây 110kV thông thường và đường dây compact

Như vậy, khi đó kích thước của đường dây compact được thu nhỏ gọn lại so với đường dây thông thường. Do không có DCS nên dây pha trên cùng sẽ được lắp đặt CSV, ngoài bảo vệ trực tiếp cho pha đó khi bị sét đánh, dây pha này cũng đóng vai trò như DCS cho các dây pha phía dưới.

Với số liệu kích thước cột của đường dây thông thường và đường dây compact như trên hình 1. Xác định được số lần sét đánh vào đường dây ( $N_L$ ) và dòng điện sét lớn nhất đánh vào dây pha ( $I_m$ ) theo EGM [2, 18] được trình bày trong bảng 1, giả thiết mật độ sét là 10 lần/km<sup>2</sup>.năm.

Bảng 1. Số lần sét đánh vào đường dây,

	Đường dây	Đường dây thông thường	Đường dây compact
$N_L$ (lần/100 km.năm)	1 mạch	193	167
	2 mạch	215	192
$I_m$ (kA)	1 mạch	12,14	9,64
	2 mạch	16,56	3,55

Kết quả tính toán cho thấy khi sử dụng đường dây compact số lần sét đánh vào đường dây 1 mạch giảm 14% và đường dây 2 mạch giảm 11%. Đối với đường dây compact dây pha trên cùng được lắp CSV có vai trò như DCS nên chỉ tính dòng lớn nhất đánh vào các dây pha phía dưới. Với cùng một độ cao cột góc bảo vệ càng nhỏ thì  $I_m$  càng nhỏ do vậy chỉ cần tính toán cho pha trên cùng (pha A) đối với đường dây thông thường và pha giữa (pha B) đối với đường dây compact vì góc bảo vệ đối với pha này lớn nhất. Kết quả tính toán  $I_m$  được trình bày trên bảng 1 cho thấy dòng điện sét lớn nhất đánh vào dây pha của đường dây compact 1 mạch và 2 mạch đều giảm hơn so với đường dây thông thường.

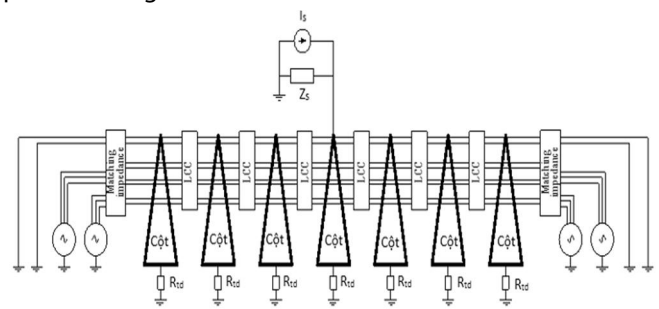
Bảng 2 trình bày kết quả tính toán tổng trở sóng của cột ( $Z_T$ ) theo [18] đối với đường dây thông thường và đường dây compact (giả thiết bán kính trụ 0,2m). Kết quả tính toán cho thấy sử dụng đường dây compact tổng trở sóng của cột giảm so với đường dây thông thường.

Bảng 2. Tổng trở sóng của cột ( $\Omega$ )

Đường dây 110kV	Đường dây thông thường	Đường dây compact
1 mạch	229	211
2 mạch	240	226

**3. MÔ HÌNH MÔ PHÒNG EMTP/ATP CHO ĐƯỜNG DÂY 110kV**

Các phần tử trong mô hình mô phỏng cho đường dây 110kV thông thường vào compact bao gồm mô hình về đường dây, cột, nguồn sét, chuỗi cách điện, hệ thống tiếp địa và CSV, hình 2 trình bày mô hình mô phỏng của từng phần tử trong EMTP/ATP.



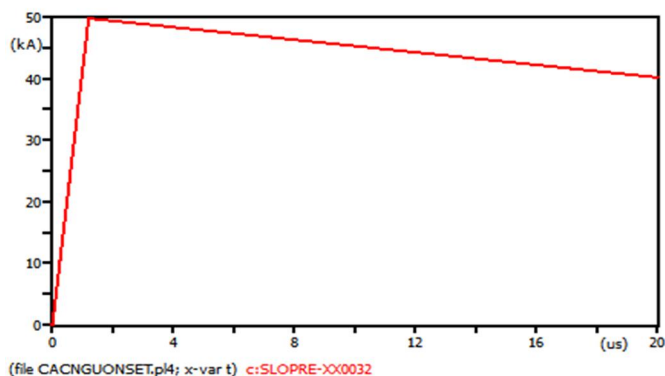
Hình 2. Mô hình đường dây 2 mạch trong EMTP/ATP

Đường dây sử dụng mô hình của JMarti cho tính toán quá điện áp sét được sử dụng [2], giả thiết vùng đất có điện trở suất 1000Ω.m. Trong bài báo này đường dây sử dụng dây dẫn ACSR330/42,2 không phân pha, DCS sử dụng dây TK-70, khoảng vượt trung bình 250m.

Mô hình cột sử dụng trong tính toán mô phỏng là mô hình cột nhiều tầng (multistory tower), được sử dụng rộng rãi trong các tính toán mô phỏng quá điện áp sét được IEEE và IEC giới thiệu [2]. Đối với cột 2 mạch, mỗi cột chia làm 4 tầng, đối với cột 1 mạch mỗi cột chỉ cần chia làm 3 tầng. Tầng 1 là đoạn cột từ đỉnh cột đến xà của pha trên, tầng 2 từ xà pha trên xuống xà pha giữa, tầng 3 từ xà pha giữa đến xà pha cuối, và tầng thứ 4 từ xà pha cuối xuống đất. Mỗi tầng được mô phỏng bằng một tổng trở sóng được ký hiệu lần lượt là  $Z_{t1}$ ,  $Z_{t2}$ ,  $Z_{t3}$  và  $Z_{t4}$  có trị số tương ứng với từng loại đường dây theo số liệu trong bảng 2. Để mô tả sự suy giảm sóng trên mỗi tầng của cột được thay thế bởi các trị số điện trở và điện cảm của từng tầng phụ thuộc vào kích thước của từng loại cột được tính theo như [2].

Mô hình nguồn sét sử dụng sóng sét được mô phỏng bởi một nguồn dòng dạng dốc Slope - ramp 1,2/50μs (hình 3) [2]. Tổng trở sóng của sét được thay thế bởi một điện trở tuyến tính có giá trị 400Ω mô phỏng tổng trở kênh sét mắc song song với nguồn dòng.

Chuỗi cách điện đường dây sử dụng loại composite bao gồm 7 bát, chiều dài mỗi bát là 146mm, mô hình phóng điện trên cách điện sử dụng mô hình theo IEEE [2] để mô phỏng.



Hình 3. Dạng sóng nguồn dòng Slope - ramp

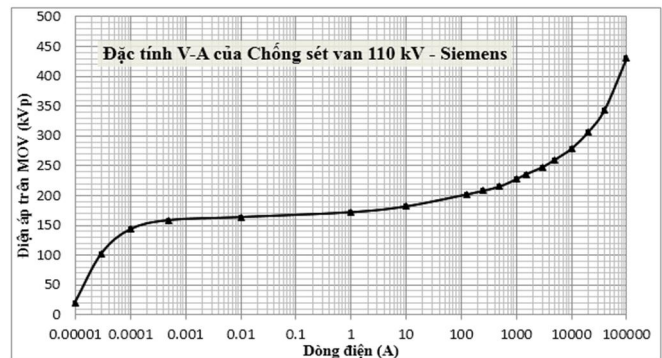
Mô hình điện trở tiếp địa cột, trong thực tế, giá trị điện trở tiếp địa của cột không phải là giá trị điện trở cố định như được đo ở điện áp một chiều mà là một điện trở phi tuyến có trị số phụ thuộc vào độ lớn của dòng điện sét và quá trình phóng điện trong đất. Trị số điện trở phi tuyến được xác định như sau [19]:

- Nếu  $I < I$  thì  $R_{td} = R_0$
- Nếu  $I > I$  thì  $R_{td} = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{I}{I_g}}}$

Trong đó:  $R_0$  là điện trở tiếp địa cột ở điện áp một chiều (Ω);  $I$  là dòng điện sét đi qua tiếp địa (A)  $I_g$  là cường độ dòng điện giới hạn (A);  $\rho$  là điện trở suất của đất (Ω.m);  $E_0$  là điện

trường xảy ra phóng điện trong đất hay gradient điện áp ion hóa trong đất có giá trị từ 100 đến 1000 kV/m [18].

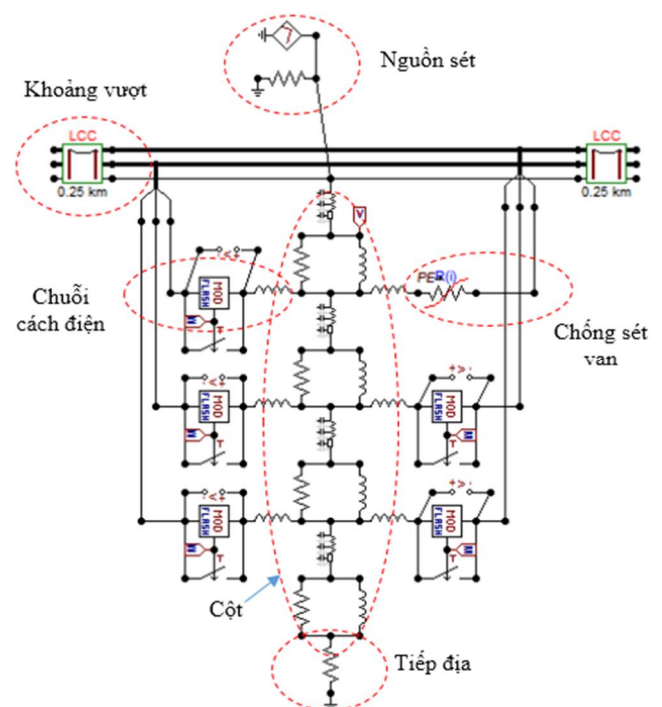
Như vậy, nhận thấy trong trường hợp dòng điện sét vượt quá trị số tới hạn gây phóng điện trong đất, thì giá trị điện trở tiếp địa còn giảm hơn so với trị số  $R_0$ . Mô hình thay thế điện trở tiếp địa cột và dữ liệu nhập vào trong EMTP theo như [2].



Hình 4. Đặc tính V-A của CSV loại không khe hở cho cấp điện áp 110kV [20]

Mô hình chống sét van, chống sét van sử dụng trong mô phỏng là loại chống sét van không khe hở 3EL của Siemens với dùng cho cấp điện áp 110kV, với trị số điện áp làm việc liên tục MCOV là 89kV với đặc tính V-A trình bày trên hình 4. CSV được mô phỏng trong EMTP bằng một điện trở phi tuyến với đặc tính phi tuyến nhập vào từ hình 4. Các tham số của dây nối, cách điện polymer của CSV được bỏ qua.

Sơ đồ các phần tử như nguồn sét, cột, tiếp địa, chuỗi cách điện, khoảng vượt, chống sét van được thay thế trong mô phỏng EMTP/ATP được thể hiện trên hình 5, với đại diện cho một cột 2 mạch và 2 khoảng vượt trong sơ đồ mô phỏng.

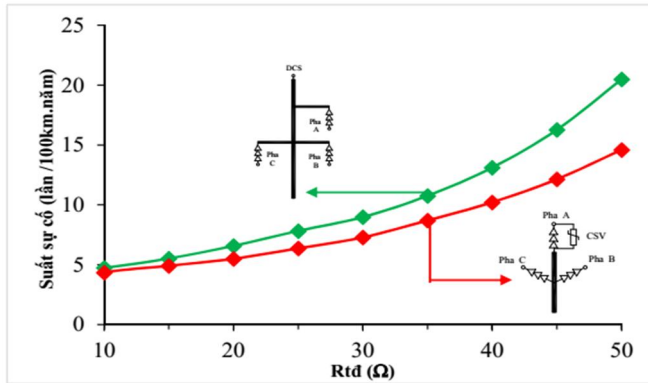


Hình 5. Sơ đồ mô phỏng cho một cột 2 mạch 110kV trong EMTP/ATP

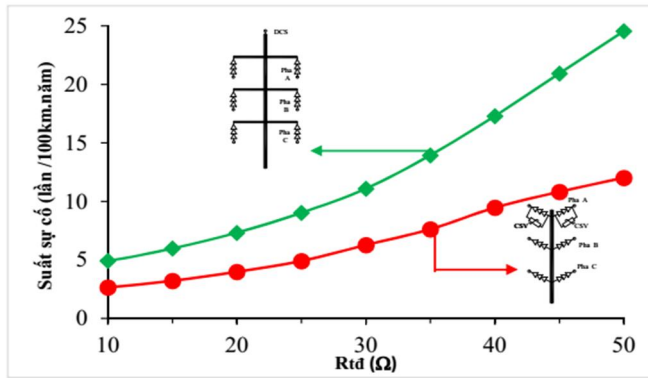
### 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

#### 4.1. Suất sự cố của đường dây compact kết hợp lắp CSV với đường dây thông thường

Tiến hành mô phỏng cho đường dây thông thường và đường dây compact kết hợp lắp CSV theo trị số điện trở tiếp địa thay đổi từ 10Ω đến 50Ω. Suất sự cố do sét của đường dây 110kV 1 mạch và 2 mạch được xác định theo [2]. Kết quả mô phỏng tính toán suất sự cố đường dây thông thường và đường dây compact kết hợp lắp CSV đường dây 1 mạch và 2 mạch được trình bày trên hình 6 và 7.



Hình 6. So sánh suất sự cố đường dây thông thường và đường dây compact kết hợp lắp CSV của đường dây 1 mạch



Hình 7. So sánh suất sự cố đường dây thông thường và đường dây compact kết hợp lắp CSV của đường dây 2 mạch

Kết quả mô phỏng trên hình 6 cho thấy đối với đường dây 1 nếu chỉ sử dụng đường dây compact mà không lắp đặt CSV tại pha A, khi sét đánh vào đường dây sẽ đánh trực tiếp vào dây pha, suất sự cố không phụ thuộc vào điện trở tiếp địa và có trị số rất cao tới 58 lần/100km.năm. Nhưng khi đường dây compact kết hợp với lắp đặt CSV tại pha trên cùng suất sự cố nhỏ hơn gần 4 lần so với khi đường dây compact không có CSV với  $R_{td} = 50\Omega$ . Ở dải điện trở tiếp địa nhỏ hơn 10Ω thì sử dụng đường dây compact kết hợp với lắp CSV ở pha trên cùng suất sự cố cũng không thay đổi nhiều so với đường dây thông thường. Khi  $R_{td} = 50\Omega$  suất sự cố đường dây compact kết hợp với lắp CSV ở pha trên cùng giảm từ 20,5 lần/100 m.năm xuống 14,6 lần/100km.năm so với đường dây thông thường.

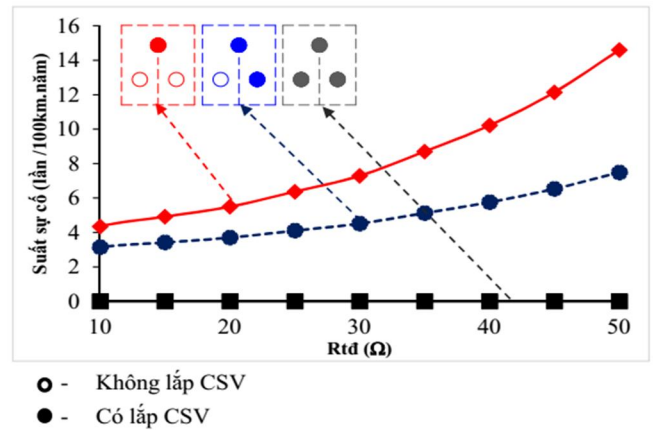
Kết quả mô phỏng trên hình 7 cho thấy đối với đường dây 2 mạch sử dụng đường dây compact kết hợp lắp đặt

CSV tại pha trên cùng của cả hai mạch suất sự cố giảm so với đường dây thông thường. Điện trở tiếp địa cột càng lớn thì sử dụng đường dây compact kết hợp lắp đặt CSV tại pha trên cùng của cả hai mạch càng hiệu quả. Khi đó hai dây pha A của hai mạch đóng vai trò như 2 DCS bảo vệ cho pha B và pha C nên khả năng sét đánh vào các dây pha phía dưới càng nhỏ do góc bảo vệ lúc này bằng 0°.

#### 4.2. Suất sự cố của đường dây compact khi thay đổi số lượng CSV lắp đặt

##### 4.2.1. Đường dây 1 mạch

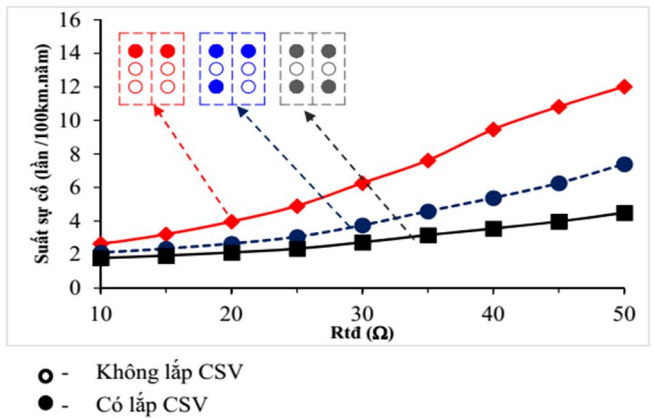
Tiến hành mô phỏng cho trường hợp đường dây compact kết hợp với lắp đặt CSV khi lắp 1 CSV trên pha A, lắp 2 CSV trên pha A và pha B và 3 CSV tại tất cả các pha. Kết quả mô phỏng tính toán suất sự cố của đường dây trình bày trên hình 8.



Hình 8. Suất sự cố đường dây compac theo số lượng CSV đường dây 1 mạch

Kết quả trên hình 8 cho thấy khi tăng số lượng CSV lắp đặt suất sự cố của đường dây giảm. Khi lắp 3 CSV trên tất cả các pha suất sự cố của đường dây bằng 0. Ngoài ra, giảm điện trở tiếp địa cũng làm giảm suất sự cố đường dây. Suất sự cố của đường dây khi  $R_{td} = 40\Omega$  sử dụng 2 CSV tương đương với đường dây có  $R_{td} = 10\Omega$  sử dụng 1 CSV.

##### 4.2.2. Đường dây 2 mạch



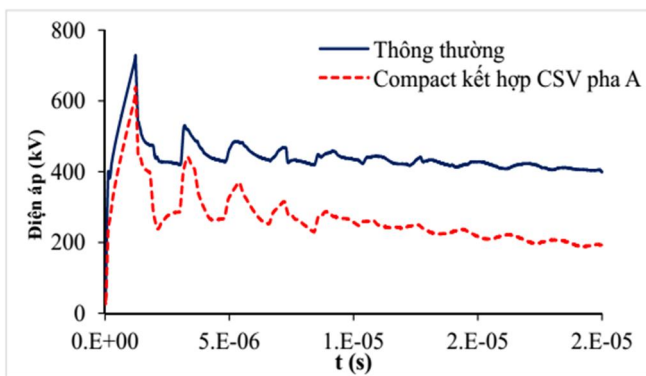
Hình 9. Suất sự cố đường dây compac theo số lượng CSV đường dây 2 mạch

Tiến hành mô phỏng cho trường hợp đường dây compact kết hợp với lắp đặt CSV khi lắp 2 CSV, lắp 3 CSV và 4 CSV. Kết quả mô phỏng tính toán suất sự cố của đường

dây trình bày trên hình 9. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy tương tự như đường dây 1 mạch, tăng số lượng CSV suất sự cố của đường dây giảm.

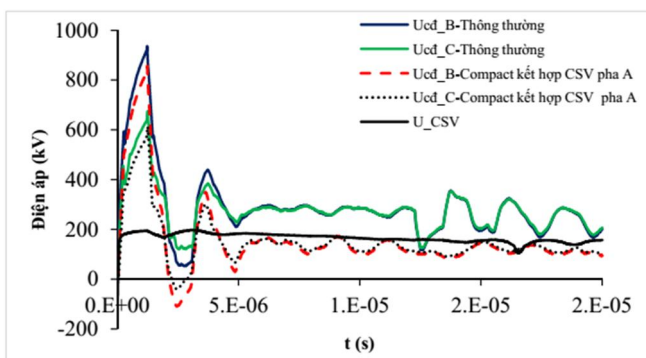
**4.3. Điện áp trên cách điện các pha**

Khi khoảng cách giữa các dây pha với DCS hoặc giữa các dây pha với nhau giảm sẽ làm tăng hệ số ngẫu hợp của các pha [20]. Dẫn đến điện áp đặt trên cách điện giảm xuống. Sử dụng đường dây compact không chỉ làm giảm số lần sét đánh vào đường dây do giảm được chiều cao cột đồng thời giảm khoảng cách giữa các dây pha với nhau dẫn đến làm tăng hệ số ngẫu hợp giữa các pha, điện áp đặt trên cách điện các pha không lắp CSV cũng được giảm xuống. Mô phỏng trường hợp đường dây 1 mạch và 2 mạch với dòng điện sét 50kA (1,2/50μs),  $R_{td} = 10\Omega$ , kết quả mô phỏng điện áp trên cách điện pha B và pha C của đường dây thông thường và đường dây compact kết hợp lắp CSV được trình bày trên hình 10 và 11.



Hình 10. Điện áp trên cách điện pha B đường dây 1 mạch

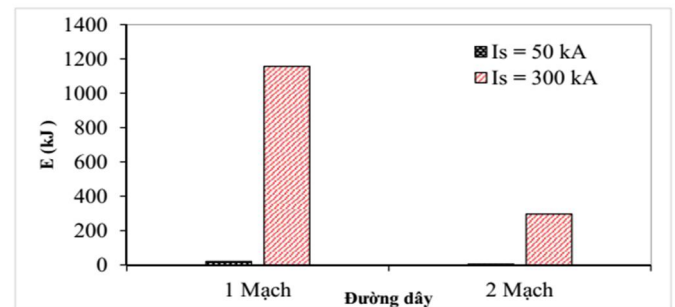
Kết quả mô phỏng trên hình 10 và 11 cho thấy, điện áp trên cách điện các pha không lắp CSV của đường dây compact kết hợp CSV nhỏ hơn so với đường dây thông thường, điện áp trên cách điện pha lắp CSV luôn ở mức điện áp dư của CSV. Điều này cho thấy khi sét CSV làm việc dòng điện sét chạy qua CSV chạy trên dây tạo ra điện áp cảm ứng trên các dây pha khác, do pha B và pha C gần pha A hơn so với DCS nên hệ số ngẫu hợp pha B và pha C của đường dây compact kết hợp CSV lớn hơn hệ số ngẫu hợp pha B và pha C của đường dây thông thường. Chính vì thế điện áp đặt trên cách điện pha B và pha C của đường dây compact kết hợp CSV sẽ nhỏ hơn.



Hình 11. Điện áp trên cách điện các pha đường dây 2 mạch

**4.4. Năng lượng hấp thụ của CSV**

Trường hợp sét đánh trực tiếp đỉnh cột của đường dây compact kết hợp lắp CSV, vì không có DCS nên trường hợp này sét đánh trực tiếp vào dây pha. Mô phỏng với dòng điện sét 50kA (1,2/50μs),  $R_{td} = 10\Omega$ , đây là ngưỡng dòng điện sét mà CSV lắp ở pha A làm việc trong khi các pha không lắp CSV không xảy ra phóng điện, ngưỡng dòng điện này theo phân bố xác suất tích lũy cường độ dòng sét [1] xác suất xuất hiện trị số dòng điện sét lớn hơn 50kA là 15%. Kết quả mô phỏng xác định năng lượng hấp thụ của CSV trong trường hợp lắp CSV ở pha A với ngưỡng dòng điện sét 50kA và trường hợp lắp CSV trên tất cả các pha với ngưỡng dòng điện sét 300kA được trình bày trên hình 12.



Hình 12. Năng lượng hấp thụ của CSV

Kết quả mô phỏng trên hình 12 cho thấy, năng lượng hấp thụ của CSV với ngưỡng dòng điện sét 50kA thì năng lượng hấp thụ của CSV ở cả trường hợp 1 mạch và 2 mạch đều có trị số nhỏ hơn nhiều lần năng lượng hấp thụ cho phép của CSV. Khi dòng điện sét 300kA (Dòng điện sét lớn nhất theo phân bố của IEEE [1]) năng lượng hấp thụ lớn nhất của CSV ở trường hợp 1 mạch đạt tới 1157kJ (trong trường hợp này cả 3 CSV trên các pha A,B,C đều làm việc) những vẫn đảm bảo năng lượng hấp thụ cho phép của CSV, nên CSV không bị phá hỏng. Ở trường hợp đường dây 2 mạch do tất cả các CSV tại cột bị sét đánh cùng làm việc nên dòng điện sét đã phân bố sang các CSV khác nên năng lượng hấp thụ của CSV chỉ đạt 296kJ nhỏ hơn nhiều lần năng lượng lớn nhất mà CSV có thể chịu được.

**5. KẾT LUẬN**

Số lần sét đánh vào đường dây compact ít hơn so với đường dây thông thường có DCS, trị số dòng điện sét lớn nhất đánh vào các dây pha phía dưới cũng nhỏ hơn, dẫn đến suất sự cố do sét đánh vào dây dẫn cũng nhỏ hơn.

Đường dây compact chỉ hiệu quả khi kết hợp với lắp đặt CSV, nếu không có CSV khi sét đánh vào đường dây sẽ đánh trực tiếp vào dây pha rất nguy hiểm suất sự cố của đường dây rất cao tới 60 lần/100km.năm, bởi vì đường dây 110 kV chuỗi cách điện chỉ chịu được dòng điện sét nhỏ hơn 3,2kA (vì  $U_{50\%} = 650kV$ , tổng trở sóng dây pha  $400\Omega$ )

Suất sự cố của đường dây compact kết hợp với CSV phụ thuộc vào số lượng CSV lắp đặt và điện trở tiếp địa của cột. Số lượng CSV tăng lên suất sự cố giảm xuống trên cả đường dây 1 mạch và 2 mạch. Khi điện trở tiếp địa của cột càng lớn sử dụng đường dây compact kết hợp lắp CSV càng hiệu quả.

Khi xảy ra sét đánh mà CSV làm việc, sử dụng đường dây compact kết hợp với CSV làm tăng hệ số ngẫu hợp giữa các pha, dẫn đến điện áp đặt trên cách điện các pha không lắp CSV giảm xuống.

Năng lượng hấp thụ của CSV với trị số dòng điện ngưỡng bắt đầu gây phóng điện trên cách điện có trị số nhỏ hơn nhiều so với khả năng hấp thụ của CSV. Với trị số dòng điện sét rất cao 300kA thì năng lượng hấp thụ của CSV có thể đạt tới ngàn kJ, trường hợp này rất ít xảy ra do xác suất xuất hiện ngưỡng dòng điện sét này rất nhỏ khoảng 0,2%.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. CIGRE, 1991. *Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines*. CIGRE Technical Brochure no. 63.
- [2]. Ninh Văn Nam, Nguyễn Xuân Phúc, 2017. *Ứng dụng chống sét van giảm suất cắt do sét trên đường dây truyền tải*. Tạp chí KHCN, Đại học Công Nghiệp Hà Nội, số 38, pp. 160-165.
- [3]. Ninh Van Nam, Pham Hong Thinh, Tran Van Top, 2018. *Effect of Transmission Line Configuration on the Installation of Surge Arrester*. Tạp chí Khoa học & Công nghệ các trường Đại học Kỹ thuật, no 131, pp. 49-54.
- [4]. Pham T. H., S. A. Boggs, H. Suzuki, T. Imai, 2012. *Effect of Externally Gapped Line Arrester Placement on Insulation Coordination of a Twin-Circuit 220 kV Line*. IEEE Transactions on power delivery. vol. 27, no. 4, pp. 1991-1997.
- [5]. Sadovic S., M. Babuder, M. Hrast, D. Bokal, M. Marnisek, T. Sadovic, 2009. *Line Surge Arrester Application on 123 kV Double Circuit Line*. International Symposium on High Voltage Engineering, Johannesburg, South Africa.
- [6]. Sadovic S., R. Joulie, S. Tartier, E. Brocard, 1997. *Use of line surge arresters for the improvement of the lightning performance of 63kV and 90kV shielded and unshielded transmission lines*. IEEE Transactions on Power Delivery. vol. 12, no. 3, pp. 1232-1240.
- [7]. Short T., C. Warren, J. Burke, C. Burns, J. Godlewski, F. Graydon, H. Morosini, 1996. *Application of surge arresters to a 115-kV circuit*. Transmission and Distribution Conference Proceedings., 1996 IEEE, pp. 276-282.
- [8]. Tarchini J., W. Gimenez, 2003. *Line surge arrester selection to improve lightning performance of transmission lines*. Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna, pp. 6-11.
- [9]. Zanetta L. C., C. E. M. Pereira, 2003., *Application studies of line arresters in partially shielded 138kV transmission lines*. IEEE transactions on power delivery. vol. 18, no. 1, pp. 95-100.
- [10]. Martinez J. A., F. Castro-Aranda, 2009. *Lightning performance analysis of an overhead transmission line protected by surge arresters*. IEEE Latin America Transactions. vol. 7, no. 1, pp. 62-70.
- [11]. Deng Xu, Zhou Hao, 2011. *Research of the lightning protection performance for 220 kV double-circuit transmission line*. 2011 7th Asia-Pacific International Conference on Lightning, IEEE, pp. 314-317.
- [12]. Paolo villa, Amaldo bertazzi, Maurizio Leva, 2002. *Compact transmission line with inverted delta configuration*. CIGRE 2002, pp. 1-4.
- [13]. Sadovic S., D. Lepley, E. Brocard, J. George, 2011. *Line Surge Arresters Applications on the Compact Transmission Lines*. Journal of Energy. vol. 60, no. 41-46, pp. 26-32.
- [14]. Sadovic S., M. Muhr, T. Sadovic, 2007. *Line Surge Arrester Energy Duty Considerations on the Compact Unshielded Transmission Lines*. 15th International Symposium on High-Voltage Engineering, ISH, pp. 27-31.
- [15]. IEEE Std 1243-1997, 1997. *IEEE guide for improving the lightning performance of transmission lines*. Standard IEEE.
- [16]. QCVN, 2015. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về kỹ thuật điện*. 2015/BCT.
- [17]. Wakai T., N. Itamoto, T. Sakai, M. Ishii, 2000. *Evaluation of transmission line arresters against winter lightning*. IEEE Transactions on Power Delivery. vol. 15, no. 2, pp. 684-690.
- [18]. Andrew R.Hileman, 1999. *Insulation coordination for power systems*. CRC Press.
- [19]. IEC TR 60071-4, 2004. *Insulation co-ordination, part 4: computational guide to insulation co-ordination and modeling of electrical networks*. Standard IEC.
- [20]. Ninh N. V., T. Pham, T. V. Tran, 2016. *Coupling effect in transmission line submitted to lightning strikes*. The 9th Regional Conference on Electrical and Electronics Engineering (RCEEE -2016), pp. 20-24.

#### AUTHORS INFORMATON

**Ninh Van Nam<sup>1</sup>, Nguyen Manh Quan<sup>1</sup>, Tran Van Top<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Hanoi University of Industry

<sup>2</sup>Hanoi University of Science and Technology