NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA SÉT ĐÁNH LAN TRUYỀN TỚI ĐƯỜNG DÂY VÀ TRẠM TRUYỀN TẢI 500 kV SỬ DỤNG PHẦN MỀM EMTP

STUDYING THE EFFECTS OF LIGHTNING STRIKES TO 500 kV TRANSMISSION LINE AND STATION USING EMTP SOFTWARE

Lê Khắc Lâm, Đặng Việt Hùng

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 02/10/2023, Ngày chấp nhận đăng: 29/12/2023, Phản biện: TS. Nguyễn Quang Thuấn

Tóm tắt:

Theo báo cáo của Tổng công ty Truyền tải điện Quốc gia (EVNNPT) trong những năm gần đây, sự cố do sét chiếm khoảng 60-80% tổng số sự cố xảy ra trên đường dây trên không. Hậu quả của sự cố do giông sét là việc ngừng cung cấp điện cho các hộ phụ tải quan trọng, ảnh hưởng không nhỏ đến sản xuất kinh doanh của các doanh nghiệp.

Bài báo này tập trung vào việc mô phỏng và xem xét các thông số dòng điện, điện áp và công suất tại một số vị trí quan trọng trên đường dây xuất tuyến và trong trạm biến áp 500 kV khi có hiện tượng sét đánh vào dây chống sét trên cột điện xuất tuyến đầu trạm. Kết quả mô phỏng cho thấy vai trò quan trọng của việc đảm bảo tốt các tiếp địa tại các chân cột xuất tuyến trong việc bảo đảm an toàn cho các trang thiết bị trong trạm. Kết quả mô phỏng về dòng điện và năng lượng truyền qua tiếp địa và chống sét van hữu ích trong việc thiết kế, lắp đặt tiếp địa và chống sét van.

Từ khóa:

Chống sét van, xung sét, mô hình đường dây truyền tải và trạm biến áp, phần mềm EMTP, tiếp địa.

Abstract:

According to EVNNPT's reports in recent years, lightning incidents account for about 60-80% of the total incidents occurring on overhead lines. The consequence of the incident caused by lightning is to stop providing electricity to important load households, significantly affecting the production and business of enterprises.

The article focuses on simulating and reviewing the parameters of current, voltage and power generated at some important locations on the feeder line and in the 500 kV substation when lightning strikes the protective wire, lightning on the station's outgoing power pole. Simulation results show the important role of ensuring good grounding at the base of the feeder columns in ensuring the safety of equipment in the station. Based on the results of the current and energy transmitted through the earthing and lightning arrester valves, recommendations on the design and installation of the earthing and lightning arrester valve parameters have been given.

Keywords:

Lightning protection valves, lightning surges, transmission line and transformer station models, EMTP software, grounding.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các trạm biến áp (TBA) 500 kV có vai trò rất quan trọng trong hệ thống điện. Do đó, bảo vệ các trang thiết bị trong trạm khỏi các sự cố quá điện áp do sét đánh lan truyền là một trong những ưu tiên hàng đầu khi thiết kế, xây dựng trạm.

Trong những năm gần đây, dù đã được đầu tư các trang thiết bị hiện đại đáp ứng các tiêu chuẩn quốc tế, tuy nhiên theo kết quả thống kê của EVNNPT và Công ty Truyền tải điện 1 (EVNPTC1) về tình hình sự cố trên lưới điện miền Bắc cho thấy, tần suất sự cố do sét vẫn còn nhiều, cường độ dòng sét ngày mạnh theo quy mô phát triển của lưới điện [1], [2].

Nghiên cứu này xem xét các thông số về dòng điện, điện áp tại một số điểm và công suất thoát sét qua chống sét van trong một số tình huống do sét đánh lan truyền trên đường dây truyền tải đến máy biến áp trạm 500 kV bằng phần mềm EMTP trong một số tình huống như sau:

- Không có tiếp địa ở 2 cột xuất tuyến và sét đánh vào đầu cột xuất tuyến ngay ngoài trạm.
- Có tiếp địa ở các cột và điện trở tiếp địa phụ thuộc độ lớn dòng thoát sét.
- Có tiếp địa chân cột và điện trở tiếp địa không đổi, lần lượt là 10Ω và 5Ω.

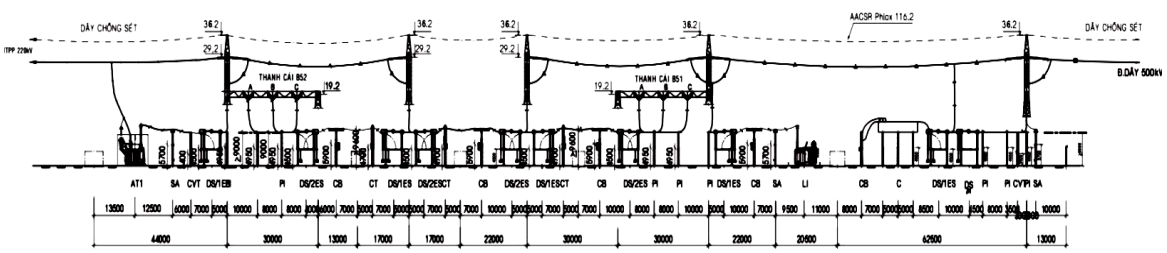
2. MÔ PHỎNG TRẠM BIẾN ÁP 500 kV

2.1. Đặc điểm sân trạm lộ xuất tuyến

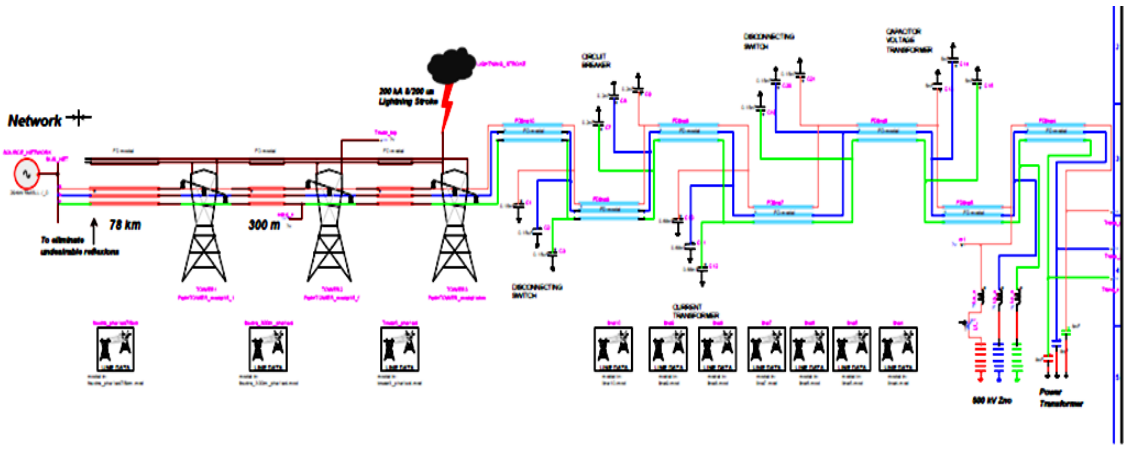
Trong nghiên cứu này, một mặt cắt điển hình của trạm 500 kV trong tài liệu [3] được sử dụng để mô phỏng. Đặc điểm mặt cắt phía 500 kV (Hình 1) được chia ra làm 7 đoạn đường dây:

- Đoạn từ máy biến áp (MBA) đến chống sét van (CSV) phía 500 kV của MBA, khoảng cách 12.5 m;
- Đoạn từ vị trí CSV đầu MBA đến máy biến áp đo lường kiểu tụ (CVT): 6 m.
- Đoạn từ CVT đến dao cách ly: 7 m.
- Đoạn từ dao cách ly đến máy biến dòng đo lường (CT): 7 m.
- Đoạn từ CT đến máy cắt (CB): 12 m.
- Đoạn từ máy cắt CB đến dao cách ly: 41 m.
- Đoạn từ dao cách ly đến cột xuất tuyến: 185 m

Trong mô hình có mô phỏng cả đoạn đường dây xuất tuyến, bên ngoài TBA, gồm 2 khoảng cột, mỗi khoảng dài 300 m, và coi như được nối với hệ thống điện quốc gia có nguồn điện áp không đổi 500 kV thông qua đường dây dài 78 km (Hình 2).



Hình 1. Mặt cắt trạm 500 kV [3]



Hình 2. Mô hình mô phỏng trạm và đường dây

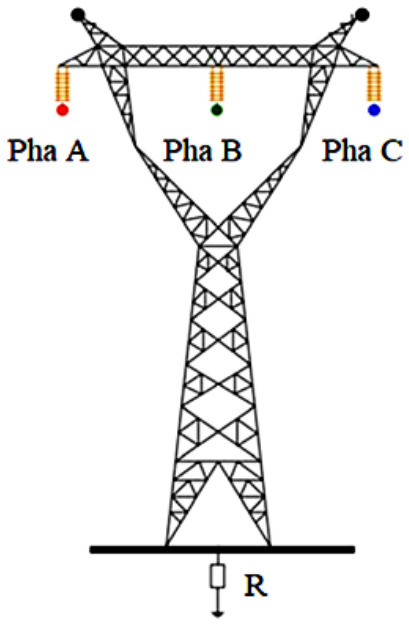
2.2. Mô hình đường dây, cột điện

Đường dây

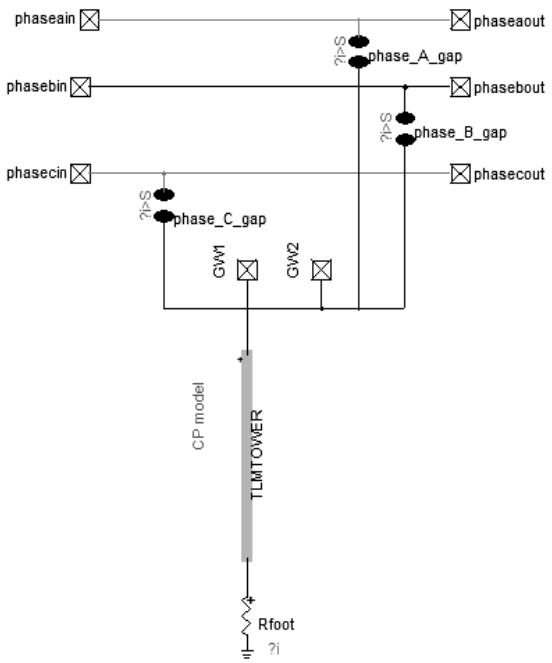
Đường dây điện được mô phỏng gồm các đoạn đường dây khác nhau, chiều dài khác nhau. Trong EMTP, có nhiều mô hình đường dây có thể lựa chọn như Constant Parameters (CP) Line, Frequency Dependent (FD) Line, Wideband Line. Tuy nhiên, dựa trên những đánh giá và so sánh về độ chính xác của các mô hình trên [4], trong nghiên cứu này lựa chọn mô hình Frequency Dependent Line m-phase. Mỗi pha được truyền tải bằng dây dẫn ACSR 330/42 có đường kính 24.84 mm. Điện trở 1 chiều 0.08989 Ω/km. Các dây pha được treo ở độ cao khoảng 31m, hai dây pha kề nhau cách nhau 12m. Dây chống sét mã Phlox-116 đường kính 14 mm, điện trở 1 chiều là 0.58 Ω/km. Hai dây chống sét treo ở độ cao 38m, cách nhau 18m.

Cột điện

Mô hình cột điện sử dụng trong mô phỏng là mô hình đường truyền không phụ thuộc vào tần số - CPDL (Constant Parameter Distributed Line) của IEEE (Hình 3, 4) [5]. Trong mô hình này, các tham số được tính toán ở một tần số nhất định. Ưu điểm chính của mô hình này là tốc độ tính toán nhanh. Dù kém chính xác hơn so với mô hình cáp và đường dây phụ thuộc vào tần số - FD (Frequency Dependence) Line/Cable, nhưng mô hình CPDL vẫn hiệu quả khi phân tích các vấn đề trong dải tần số hạn chế.



Hình 3. Hình dạng cột điện thực tế



Hình 4. Mô phỏng cột điện trong EMTP

Các cột điện được tiếp địa thông qua điện trở R. Trong bài báo này, có xem xét trường hợp điện trở tiếp địa chân cột có trị số phụ thuộc dòng thoát sét (Hình 5). Khi đó, điện trở tiếp địa chân cột được mô phỏng bằng mô hình điện trở phi tuyến. Trị số điện dẫn Y thay đổi phụ thuộc sự biến thiên dòng điện thoát sét. Mỗi đoạn thẳng thứ k bất kỳ của đường phi tuyến có thể được biểu diễn bằng mạch Norton tương đương:

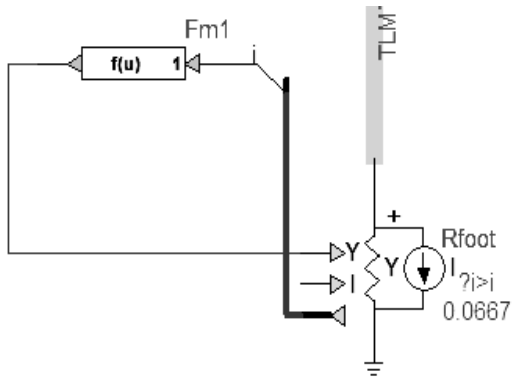
$$i_k = Y_k v_k + I_k = \frac{\partial i_k}{\partial v_k} v_k + I_k \qquad (1)$$

Trong đó:

I_k : Trị số dòng điện đầu đoạn thẳng thứ k;

Y_k : Tốc độ thay đổi của dòng điện i_k trong đoạn k;

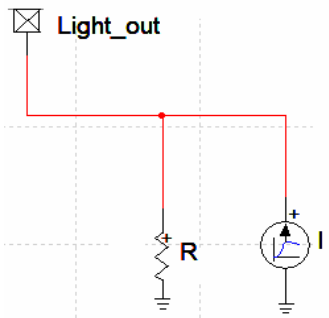
v_k : Khoảng thời gian tính từ đầu đoạn thẳng thứ k.



Hình 5. Mô phỏng tiếp địa chân cột xuất tuyến có điện trở biến thiên theo cường độ dòng thoát sét

2.3. Mô hình nguồn xung sét đánh vào trạm

Nguồn xung sét đánh lan truyền vào TBA được mô phỏng là xung sét tiêu chuẩn 8/200 μs (Hình 6) [6].



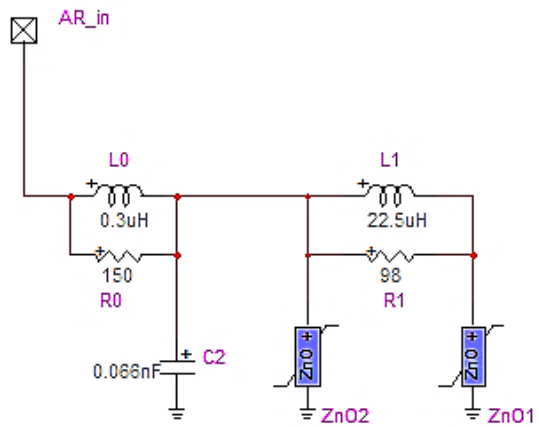
Hình 6. Mô hình mô phỏng xung sét

Nguồn sét được mô phỏng như một nguồn dòng nối song song với một điện trở R=1000 Ω. Trong khi đó, theo thống kê của các hiện tượng giông sét tại miền Bắc, sự cố xuất hiện với cường độ sét cao (I_m=272 kA) đã được ghi nhận trên đường dây 274 Thường Tín (T500TT). Các yêu cầu gần đây nhất của Tổng Công ty Truyền tải điện Quốc gia (EVNNPT), yêu cầu các

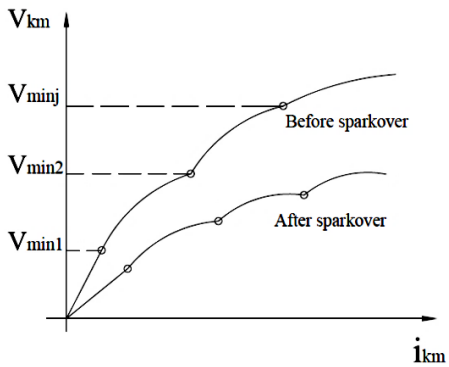
công ty tư vấn điện tính toán dòng sét trên đường dây với giá trị I_m lên tới 300 kA.

2.4. Mô hình thiết bị chống sét van phía 500 kV

CSV được đặt ở đầu MBA. Thành phần cơ bản của CSV là phần tử điện trở phi tuyến ZnO. Có nhiều mô hình CSV được áp dụng khác nhau trên thế giới, trong đó mô hình biến thiên trong miền tần số (Frequency Dependent Model) của IEEE Working Group 3.4.11 được sử dụng rộng rãi hơn cả (Hình 7) [7]-[10].



Hình 7. Mô hình CSV biến thiên trong miền tần số



Hình 8. Đặc tính chống sét van ZnO

Theo đó, để mô phỏng sự biến thiên phi tuyến theo quan hệ điện áp và dòng điện V–I được thể hiện bởi 2 điện trở phi tuyến ZnO, đặc tính được thể hiện như Hình 8. Giữa 2 phần tử này được kết nối thông qua một bộ lọc (R_1-L_1). Trong trường hợp thiết bị tăng xung trước chậm (slow-front surges), bộ lọc này có giá trị rất bé và có thể bỏ qua (2 điện trở phi tuyến coi như mắc song song với nhau); ngược lại, trong trường hợp tăng nhanh xung trước (fast font surges), bộ R_1-L_1 là không thể bỏ qua. Ngoài ra, để mô phỏng chính xác sự biến thiên điện áp và dòng điện đỉnh chạy trong CSV, phần tử điện kháng (L_0-R_0) được mắc nối tiếp với điện trở phi tuyến. Để mô phỏng quá trình suy giảm của dòng điện, thành phần điện dung C được mắc song song với bộ điện trở phi tuyến.

Các trị số của các phần tử R, L trong mô hình CSV loại 1 cột được tính toán theo công thức: L_1=15d(μH); R_1= 65d (Ω); L_0=0.2d(μH); R_0=100d (Ω); C=100/d (pF) với d(m) là chiều cao tương đối của CSV.

Trong nghiên cứu này sử dụng thông số chống sét van điển hình của ABB loại T468TA372A được đề cập trong tài liệu [3] có các thông số RLC như Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số mô phỏng của CSV

d	L_0	R_0	L_1	R_1	C
5.468 m	1.094 μH	546.8 Ω	82.02 μH	355.4 2 Ω	18.288 pF

Các đoạn phi tuyến của bộ chống sét được mô tả bằng các hàm số mũ dưới dạng sau:

$$i_j = p \cdot \left[\frac{V_j}{V_{ref}} \right]^q \quad (2)$$

Trong đó:

p và q là các hệ số của phương trình;

V_j (pu) là điện áp đầu đoạn phi tuyến. Giá trị này phải lớn hơn 0 cho phân khúc đầu tiên. Đoạn đầu tiên được kết nối với gốc hệ trục toạ độ bằng cách sử dụng một đoạn tuyến tính;

i_j là dòng điện truyền qua CSV tương ứng với thông số của đoạn j;

Bảng 2 thể hiện giá trị đặc tính của 2 điện trở phi tuyến trong mô hình CSV được sử dụng trong nghiên cứu này.

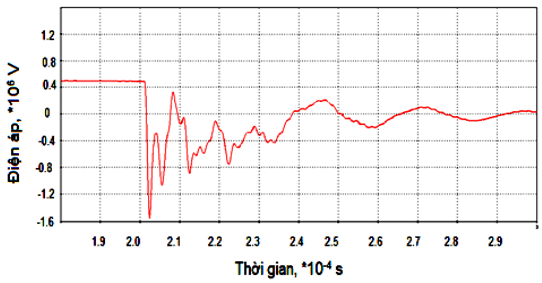
Bảng 2. Đặc tính 2 điện trở phi tuyến trong mô hình CSV

ZnO_1, U_{ref}= 468 kV		**ZnO_2, U_{ref} = 468 kV**		
Dòng điện, A	Điện áp, pu	Nhân tử p	Trị số mũ q	V_{min}, pu
10	0.875	16.31	24.02	0.66
100	0.963	13.41	26.62	1.07
1000	1.050	38.38	20.08	1.17
2000	1.088	1.15	35.29	1.25
4000	1.125	407.09	11.13	1.27
6000	1.138	2566.81	5.36	1.37
8000	1.169	-	-	-
10000	1.188	-	-	-
12000	1.206	-	-	-
14000	1.231	-	-	-
16000	1.250	-	-	-
18000	1.281	-	-	-
20000	1.313	-	-	-

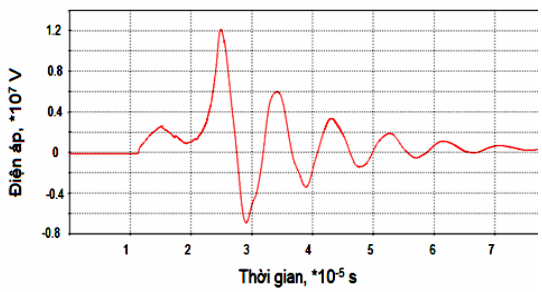
3. THỰC HIỆN MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THU ĐƯỢC

3.1. Mô phỏng các trường hợp

Trường hợp sét đánh vào đầu cột xuất tuyến ngay ngoài trạm và các tiếp địa ở 2 cột xuất tuyến bị đứt. Đây là tình huống hy hữu, tuy nhiên trong thực tế vẫn có những báo cáo về tình trạng cắt trộm cáp tiếp địa chân cột đường dây truyền tải gây mất an toàn lưới điện. Có thể thấy, trong trường hợp này quá điện áp xảy ra ở đầu cực MBA có giá trị cực đại lên tới 1600 kV (Hình 9), trong khi đó điện áp trên dây pha C phía cột xuất tuyến thứ 2 lên đến 12000 kV (Hình 10).



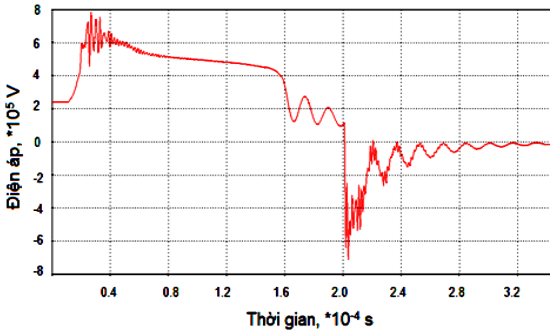
Hình 9. Điện áp đầu cực MBA khi cột xuất tuyến không có tiếp địa



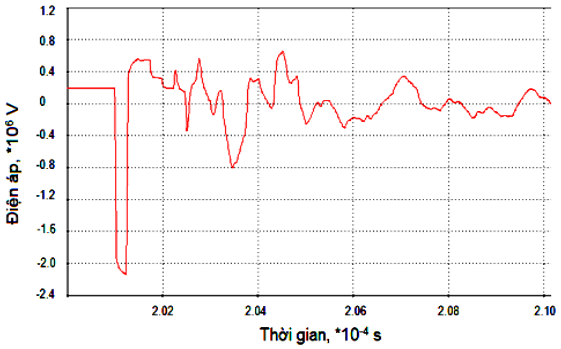
Hình 10. Điện áp pha C trên cột xuất tuyến ngoài trạm khi cột xuất tuyến không có tiếp địa

Trường hợp có tiếp địa ở các cột và điện trở tiếp địa phụ thuộc độ lớn dòng thoát sét. Trong trường hợp này, quá điện áp đầu cực MBA giảm xuống gần 2 lần, ở mức 800 kV (Hình 11) và không còn gây nguy hiểm với MBA nếu cách điện cơ bản BIL (Basic Insulation Level) đạt yêu cầu theo Quy phạm trang bị điện 2006 (Phần III: Thiết bị phân phối và trạm biến áp) là 1800 kV [11]. Điện áp trên pha C ở cột xuất tuyến thứ 2 giảm mạnh nhưng vẫn còn đạt mức cao, khoảng 2100 kV (Hình 12). Dòng điện thoát sét ở tiếp địa cột

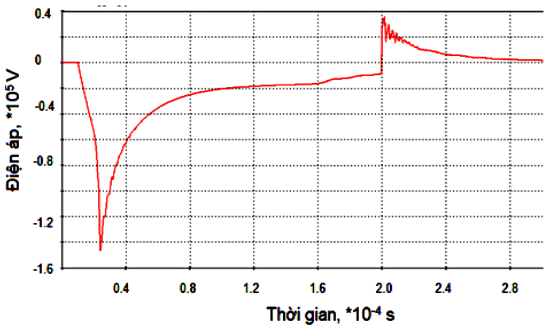
xuất tuyến 1 đạt giá trị 145 kA. Dòng thoát sét ở tiếp địa cột xuất tuyến 2 cách cột thứ nhất 300 m đạt biên độ 50 kA (Hình 13, 14). Dòng điện thoát sét qua chống sét van ZnO_1 và ZnO_2 lần lượt đạt biên độ 37 kA và 15 kA (Hình 15). Trong khi đó năng lượng truyền qua chống sét van ZnO_1 đạt biên độ 1400 kJ trong khoảng thời gian 0.14 ms, và qua ZnO_2 là 160 kJ trong khoảng thời gian 0.04 ms (Hình 16). Xác suất xuất hiện của cường độ dòng sét có cường độ trên 50 kA tương đối nhỏ, theo tính toán là khoảng 0.3% [12], tuy nhiên theo yêu cầu bảo vệ trạm trước những tác động ngày càng cực đoan của khí hậu trong những năm gần đây, nghiên cứu này chọn xem xét thay đổi cường độ dòng xung sét từ 50 kA đến 300 kA.



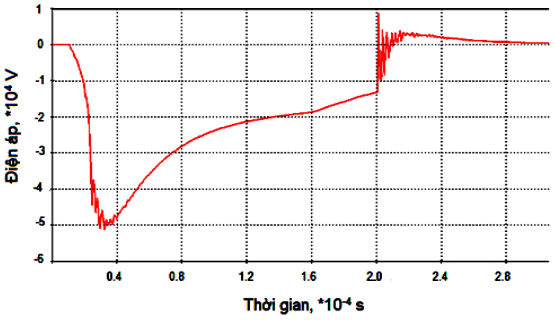
Hình 11. Điện áp đầu cực MBA khi có tiếp địa chân cột xuất tuyến



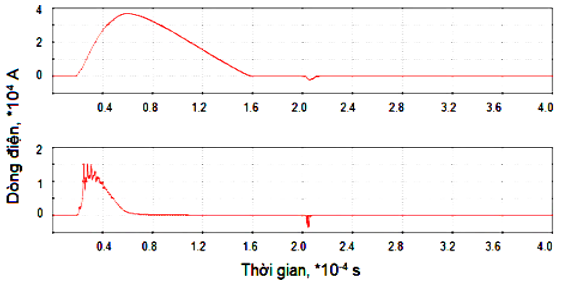
Hình 12. Điện áp pha C trên cột xuất tuyến khi có tiếp địa chân cột



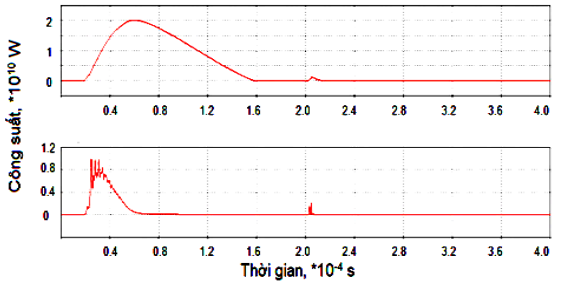
Hình 13. Dòng thoát sét ở cột xuất tuyến thứ nhất



Hình 14. Dòng thoát sét ở chân cột xuất tuyến thứ 2



Hình 15. Dòng thoát sét qua CSV



Hình 16. Năng lượng truyền qua CSV

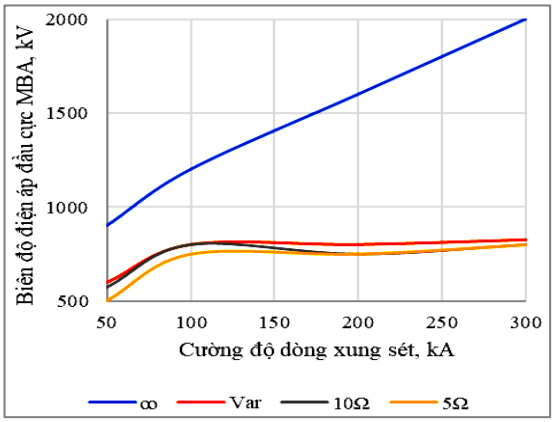
Trường hợp điện trở tiếp địa chân cột xuất tuyến không đổi. Theo Quy phạm trang bị điện, đối với cấp điện áp trên

1 kV điện trở nối đất trong năm không được quá 10 Ω [13], đo đó trong nghiên cứu này, xem xét 4 mô hình giá trị của tiếp địa chân cột xuất tuyến, bao gồm: Không có tiếp địa chân cột (R_{td}= ∞), điện trở tiếp địa thay đổi theo cường độ dòng thoát sét (R_{td}=Var), điện trở tiếp địa không đổi, lần lượt là 10Ω và 5Ω.

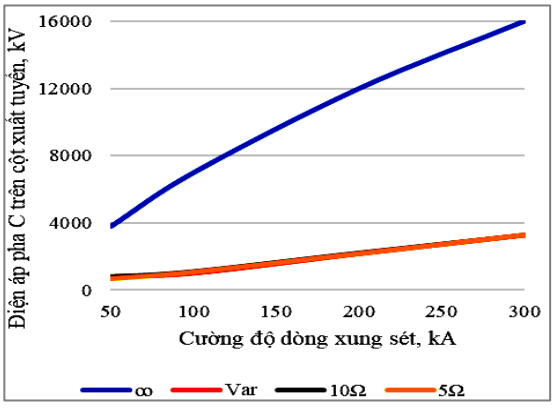
Để có đánh giá trực quan hơn, ta thể hiện các kết quả mô phỏng trên bằng biểu đồ như trong Hình 17 đến Hình 20.

Bảng 3. Kết quả thu được khi thay đổi thông số xung sét và điện trở tiếp địa chân cột xuất tuyến

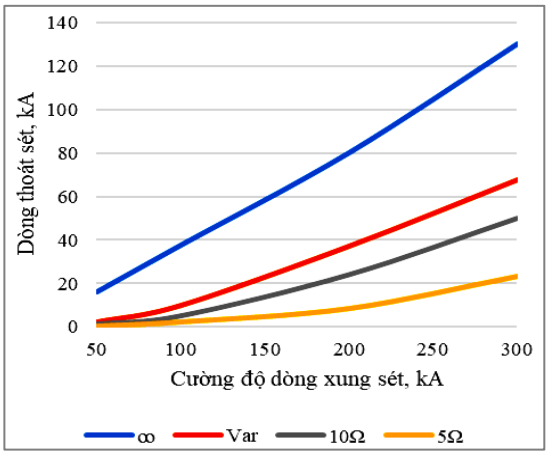
Tên đại lượng	Tiếp địa chân cột xuất tuyến	Biên độ dòng xung sét, kA			
		50	100	200	300
Biên độ điện áp đầu cực MBA, kV	∞	900	1200	1600	2000
	Var	600	800	800	825
	10 Ω	575	800	750	800
	5 Ω	500	750	750	800
Điện áp pha C trên cột, kV	∞	3800	7000	12000	16000
	Var	800	1000	2150	3250
	10 Ω	775	1100	2200	3250
	5 Ω	700	1100	2200	3300
Dòng thoát sét ở CSV ZnO_1, kA	∞	16	37.5	80	130
	Var	2.1	9.75	37	67.5
	10 Ω	1.15	5.0	24	50
	5 Ω	0.265	2.25	8.5	23.5
Năng lượng truyền qua CSV ZnO_1, kJ	∞	300	1450	4988	8625
	Var	6.5	158.1	1400	4250
	10 Ω	1.75	56	770	2720
	5 Ω	0.09	4.8	150	735



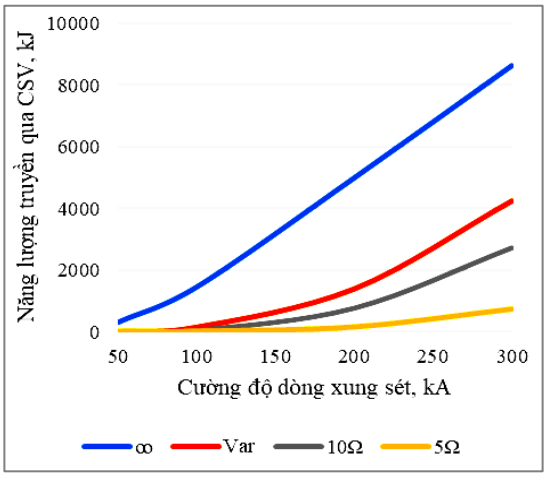
Hình 17. Sự phụ thuộc của biên độ điện áp đầu cực MBA theo cường độ dòng xung sét



Hình 18. Sự phụ thuộc của biên độ điện áp pha C trên cột xuất tuyến theo cường độ dòng xung sét



Hình 19. Sự phụ thuộc của biên độ dòng thoát sét qua CSV theo cường độ dòng xung sét



Hình 20. Sự phụ thuộc của năng lượng truyền qua CSV theo cường độ dòng xung sét

3.2. Phân tích các kết quả thu được

1) Trong trường hợp mất tiếp địa chân cột xuất tuyến, các thông số được xem xét có trị số cao hơn rõ rệt, gấp từ 2.5 lần (thông số Biên độ điện áp đầu cực MBA - Hình 17) đến 12 lần (thông số năng lượng truyền qua CSV - Hình 20) so với trường hợp điện trở tiếp địa 5 Ω. Ngoài ra, có thể nhận thấy các trị số đó tăng tỷ lệ theo cường độ dòng xung sét. Trong tình huống này, điện áp đầu cực MBA vượt ngưỡng giá trị cực đại của điện áp cách điện cơ bản BIL ở cường độ sét 200 kA 8/200 µs.

2) Trong trường hợp có tiếp địa chân cột xuất tuyến, từ cường độ dòng xung sét 100 kA, điện áp đầu cực MBA tương đối ổn định và không vượt quá 800 kV. Đây là mức điện áp an toàn đối với cách điện MBA. Thông số về điện áp pha C trên cột xuất tuyến nhìn chung không phụ thuộc vào trị số điện trở tiếp địa (Hình 18). Trong khi đó, các thông số được xem xét còn lại vẫn cho thấy sự gia tăng theo cường độ dòng xung sét. Điều này có thể lý giải do đặc tính làm việc và khả năng thoát sét của CSV lắp đặt trước MBA.

3) Điện áp pha C ở dây truyền tải trên cột xuất tuyến chịu điện áp cao từ khoảng 700 kV ngay cả ở kịch bản cường độ dòng xung sét thấp nhất là 50 kA và điện trở tiếp địa chân cột bé nhất là 5 Ω. Thời gian tác dụng của mức điện áp cao như vậy lên chuỗi sứ tương đối ngắn, chỉ cỡ mili giây. Điều này có thể hữu ích khi thiết kế, chọn lựa trang thiết bị đường dây truyền tải.

4) Các thông số về dòng thoát sét và năng lượng truyền qua CSV thu được từ mô phỏng phù hợp với các thông số tương ứng mà nhà sản xuất ABB đưa ra đối với CSV dòng HS PEXLIM T-T được sử dụng cho lưới điện cấp điện áp 500kV [14]. Ngay cả trong tình huống cường độ dòng xung sét lên đến 300 kA, dòng thoát sét và năng lượng truyền qua CSV vẫn nằm trong giới hạn cho phép của thiết bị theo công bố của nhà sản xuất ABB.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này đã thực hiện mô phỏng bằng phần mềm EMTP và xem xét một số chỉ số về dòng điện, điện áp và năng lượng tại một số điểm quan trọng trên đường dây và trong trạm truyền tải 500 kV. Các thông số của các phần tử được sử dụng trong mô hình được tính toán, lựa chọn theo những nghiên cứu và khuyến nghị hiện hành.

Kết quả thu được từ việc thay đổi thông số về cường độ sét trong dải từ 50 đến 300 kA, trị số tiếp địa chân cột xuất tuyến đến 10 Ω cho thấy tầm quan trọng của việc duy trì và đảm bảo trị số thấp của tiếp địa các chân cột xuất tuyến ngoài trạm trong việc bảo vệ các phần tử trong TBA khỏi quá điện áp do sét đánh lan truyền. Sự khác biệt rõ rệt của điện áp đầu cực MBA trong trường hợp có và không có tiếp địa chân cột xuất tuyến một lần nữa khẳng định vai trò quan trọng của tiếp địa chân cột và mức độ nghiêm trọng của hành vi cắt trộm và phá hoại tiếp địa này.

Kết quả dòng thoát sét qua tiếp địa chân cột xuất tuyến trong mô hình có thể được cân nhắc, xem xét khi thiết kế và lắp đặt tiếp địa chân cột xuất tuyến đường dây.

Các trị số về dòng điện và năng lượng thoát sét ở các CSV có thể được sử dụng để tính toán, lựa chọn chủng loại và số lượng CSV cần thiết lắp đặt nhằm bảo vệ an toàn cho MBA cũng như chính CSV được sử dụng. Trong nghiên cứu cụ thể này, khi sử dụng CSV ABB dòng T468TA372A cho đường dây 500 kV, các kết quả thu được về cường độ dòng thoát sét và năng lượng truyền qua CSV ZnO đều nằm dưới ngưỡng cho phép của CSV được công bố trong tài liệu của nhà sản xuất ABB. Điều này cho thấy không cần thiết phải trang bị thêm CSV thứ 2 cho MBA ngay cả với cường độ dòng sét cao khi xác suất xảy ra là cực thấp, bằng 1 phần triệu.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin chân thành cảm ơn EMTP Alliance đã tạo điều kiện, cho phép sử dụng miễn phí phần mềm thời gian qua để chúng tôi hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] https://www.npt.com.vn/d6/vi-VN/news/Giam-su-co-do-set-danh-can-nhung-giai-phap-hieu-qua-cho-luoi-truyen-tai-dien-khu-vuc-dong-bang-song-Cuu-Long-20-358-3164

[2] https://www.ptc1.com.vn/Desktop.aspx/Danh-sach/Tin_Nganh_dien/EVNNPT_to_chuc_Hoi_thao_chuyen_de_ve_chong_set_cho_luoi_dien_truyen_tai/

[3] Quy định về công tác thiết kế dự án lưới điện cấp điện áp 110-500 kV. Phần Trạm biến áp cấp điện áp từ 220 đến 500kV (3 tập), 2017.

[4] Accurate Modeling of Frequency-Dependent Transmission Lines in Electromagnetic Transient Simulations. Marti, J.R. (1982). IEEE Power Engineering Review, PER-2(1), 29–30. doi:10.1109/mper.1982.5519686

[5] Accurate modeling and simulation of transmission line transients using frequency dependent modal

transformations. Abur, A., Ozgun, O., & Magnago, F.H. (n.d.). 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37194).

doi:10.1109/pesw.2001.917314

[6] Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ.

[7] Modeling of metal oxide surge arresters. (1992). IEEE Transactions on Power Delivery, 7(1), 302–309. doi:10.1109/61.108922

[8] IEC 60099-4 (2006) Surge arresters. Part 4: Metal-Oxide surge arresters without gaps for AC systems.

[9] International Electro Technical Commission, IEC 60071-4. Insulation co-ordination - Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks, 2006.

[10] International Electro-Technical Commission, IEC 60071-1. Insulation Co-ordination - Part 1: Definition, principles, rules; 2006.

[11] TCVN 7998-1: 2009 Cái cách điện dùng cho đường dây trên không có điện áp danh nghĩa lớn hơn 1000V

[12] TCVN 9888-1:2013 (IEC 62305-1:2010) Bảo vệ chống sét. Phần 1: Các nguyên tắc chung.

[13] Quy phạm trang bị điện 11-TCN-18-2006. Phần I: Quy định chung.

[14] ABB Surge Arresters - Buyer's Guide. Edition 6, 2008-08.

Giới thiệu tác giả:

Tác giả Lê Khắc Lâm bảo vệ luận án Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện cao thế tại Đại học Năng lượng Matxcơva (MPEI) - Liên bang Nga năm 2018. Hiện nay, tác giả là giảng viên Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: công nghệ chế tạo máy điện và thiết bị điện, cách điện trong máy điện và hệ thống điện, chống sét cho đường dây và trạm điện.

Tác giả Đặng Việt Hùng tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2002 và 2004, nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện tại Trường École Centrale de Lyon - Cộng hòa Pháp năm 2010. Hiện nay tác giả công tác tại Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, vật liệu kỹ thuật điện cao áp, tự động hóa hệ thống cung cấp điện.