

KHẢ NĂNG CHỊU SÉT CỦA CÁCH ĐIỆN TRẠM BIẾN ÁP 500KV

LIGHTNING-AGAINST CAPABILITY OF INSULATOR AT 500KV POWER SUBSTATION

Nguyễn Hồng Anh¹, Đinh Thành Việt², Lê Cao Quyền³, Trần Việt Thành³

¹Đại học Quy Nhơn; nhanh@qu.edu.vn

²Đại học Đà Nẵng; dtviet@ac.udn.vn

³Công ty CP TVXD Điện 4; lecaoquyen@gmail.com; tranvietthanh90@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá khả năng chịu sét của cách điện 500kV cũng như giải pháp mới cho việc lựa chọn mức cách điện xung (BIL) của các thiết bị trong trạm biến áp 500kV. Để thu được kết quả, trong bài báo đã sử dụng phần mềm EMTP – RV để mô phỏng phân tích hiện tượng sét đánh lan truyền vào trạm và điện áp xung sét tác động lên các vị trí khác nhau trong trạm trong các trường hợp nguy hiểm nhờ tạo ra các dạng sóng quá điện áp khí quyển, đặc biệt là tính toán trường hợp sự cố nguy hiểm tạo ra hiện tượng sóng sét lan truyền vào trạm do quá điện áp khí quyển gây nên tại cột cuối của đường dây truyền tải 500kV đầu nối vào trạm. Từ đó đã đánh giá được giá trị xung sét tại các vị trí trọng yếu đồng thời đưa ra kết quả lựa chọn mức cách điện nhẹ hơn so với các yêu cầu truyền thống mà vẫn đảm bảo được điều kiện vận hành bình thường.

Từ khóa - trạm biến áp; thiết bị điện; quá điện áp khí quyển; sét; EMTP - RV; cách điện.

Abstract - This paper presents the result of research on lightning-against capability of 500kV insulator as well as new suggestions for choosing basic insulation levels (BIL) of equipments in 500kV power substation. To obtain the result, the author has used EMTP-RV software to simulate, analyse lightning propagation to the power substation and lightning voltage influence at different positions in power substation in some dangerous cases by creating atmospheric overvoltage waveforms. The author also calculates dangerous cases of lightning propagation into power substation by atmospheric overvoltage occurred at the end-tower of 500kV transmission line, connected with power substation. Based on this, lightning impulse at important positions has been evaluated and recommendations are given for choosing smaller BIL in comparison with traditional requirements still ensuring normal operating conditions.

Key words - power substation; electric equipment; atmospheric overvoltage; lightning; EMTP - RV; insulation.

1. Đặt vấn đề

Quá điện áp khí quyển là hiện tượng rất nguy hiểm đối với hệ thống điện, đặc biệt là khi sét đánh trực tiếp lên bản thân công trình. Quá điện áp khí quyển được chọn làm điều kiện kiểm tra cách điện và xác định trị số điện áp thí nghiệm xung kích. Yêu cầu cách điện đối với thiết bị điện ở trạm biến áp 500kV là phải có mức chịu xung sét (BIL) lên đến 1800kV. Yêu cầu này gây ra nhiều bất lợi, làm cho chi phí mua sắm thiết bị điện trở nên rất cao. Bài báo đề xuất giải pháp lựa chọn giá trị cách điện bé hơn yêu cầu quy phạm trang bị điện nhưng vẫn đảm bảo điều kiện làm việc an toàn, góp phần giảm được chi phí đầu tư.

2. Mô hình phân tích

2.1. Tổng quan và mô hình hóa về sét

2.1.1. Đặc tính chính của sét

Sét là một hiện tượng vật lý trong đó các điện tích dịch chuyển từ vị trí này đến vị trí khác và hình thành nên một dạng “sóng” điện tích. Do đó ta có thể định nghĩa dòng điện sét $i(t) = dq/dt$ là sự thay đổi điện tích trong sét xảy ra trong một thời gian rất ngắn. Dạng sóng thực tế có sự biến đổi khá lớn, biên độ sóng cực đại sẽ đạt được trong vài micro giây cho đến 20 micro giây, phần đuôi sóng có biên độ giảm dần đến vài chục micro giây. Phổ tần số của sét từ 10kHz đến vài MHz.

Trên thực tế, để đơn giản sóng dòng điện sét được mô hình có dạng dốc (Hình 1), sóng sẽ đạt đỉnh trong $1,2\mu s$ và sau đó giảm xuống còn lại 50% giá trị đỉnh trong $50\mu s$.

Giá trị trung bình của sét đánh lên dây chống sét, dây pha, cột, các công trình kiến trúc thường được tính là $I_0 = 31kA$. Anderson [8] đã đưa ra công thức tính xác suất xảy ra phóng điện sét có giá trị đỉnh dòng sét lớn hơn giá trị I_0 như sau:

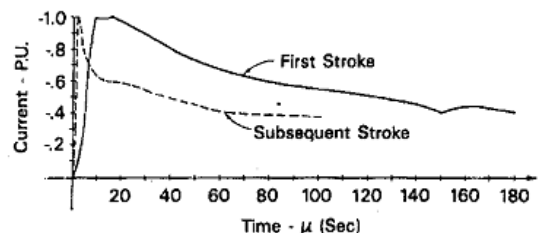
$$P(I \geq I_0) = \frac{1}{1 + (\frac{I_0}{31})^{2.6}} \quad (2.1)$$

Trong đó:

$P(I \geq I_0)$ - Xác suất để dòng sét đỉnh trong lần phóng điện bất kỳ lớn hơn I_0 .

I : Giá trị dòng điện (kA) ($2kA < I < 200kA$)

Xác suất để xảy ra phóng điện sét có biên độ lớn hơn 100kA và 200kA là 4,54% và 0,78%.



Hình 1. Đặc tính của dòng điện sét

2.1.2. Nguồn sét

Xét nguồn sét 200kA $3/100\mu s$, hình dạng sóng gần đúng với thực tế (theo CIGRE). Theo Bewley [1] khi sóng truyền trong không gian với tốc độ bằng tốc độ ánh sáng, điện trở sóng $Z_r = 400\Omega$. Tuy nhiên, giá trị đó không chính xác khi truyền trên dây dẫn, do đó Diesendorf [2] đã đưa ra giá trị tương đối từ 1000Ω đến 2000Ω .

2.1.3. Sét đánh lên đường dây

a. Sét đánh trực tiếp lên dây pha

Khi sét đánh trực tiếp lên dây pha của một đường dây dẫn điện (Hình 2), toàn bộ dòng điện $i(t)$ tại điểm tác động được chia làm hai. Hai nửa sóng truyền dọc theo hai hướng đối diện nhau của dây dẫn. Tổng trở sóng của dây dẫn từ 250-400 Ω .

Điện áp trên dây dẫn: $u(t) = Z \frac{i(t)}{2}$. Tại cột, điện áp tăng theo thời gian truyền sóng, điện áp đạt giá trị cực đại: $U_{\max} = Z \frac{I_{\max}}{2}$. Khi $Z \frac{I_{\max}}{2} \geq U_a$ sẽ xảy ra quá trình đánh thủng cách điện, khi đó dòng tới hạn là:

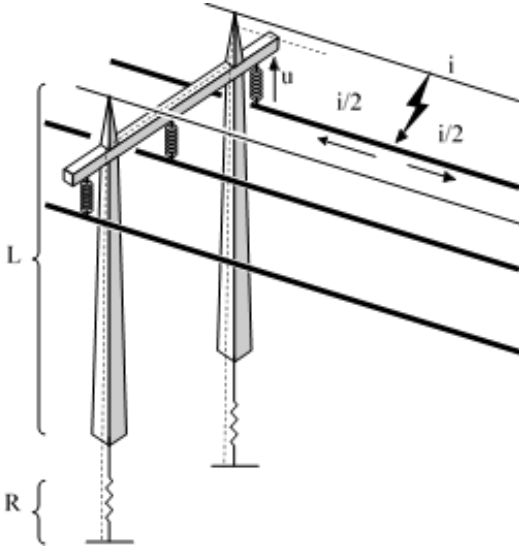
$$I_c = 2 \frac{U_a}{Z} \quad (2.2)$$

Trong đó: U_a – điện áp xung đánh thủng cách điện của chuỗi sứ hoặc bất kì thiết bị cách điện nào (impulse flashover voltage).

Xác suất để sét đánh vòng qua dây chống sét lên dây pha V_α :

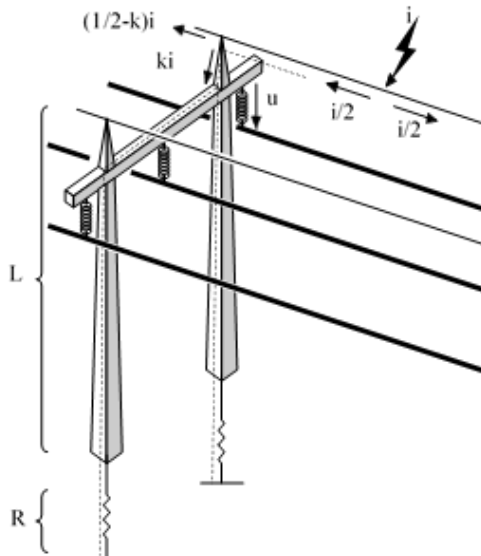
$$\lg V_\alpha = \frac{\alpha \sqrt{h}}{90} - 4 \quad (2.3)$$

Trong đó: α : Góc bảo vệ của dây chống sét (độ); $\alpha=20^\circ$;
h: Chiều cao của dây chống sét (mét).



Hình 2. Mô hình sét đánh trực tiếp trên dây pha

b. Sét đánh lên dây chống sét hoặc cột



Hình 3. Mô hình sét đánh trên dây chống sét

Khi sét đánh lên dây chống sét (Hình 3), dòng điện sẽ qua hệ thống nối đất của cột xuống đất. Điện áp trên đỉnh cột sẽ phụ thuộc vào điện cảm của cột và điện trở nối đất đối với xung dòng điện.

Điện áp này có thể đạt đến điện áp đánh thủng cách điện của chuỗi cách điện trong trường hợp xảy ra phóng điện ngược. Một phần của dòng điện sẽ lan truyền theo pha bị ảnh hưởng đến trạm biến áp.

c. Quá trình truyền sóng

Vận tốc truyền sóng trong vật dẫn điện nói chung và dây dẫn nói riêng rất lớn từ 150.000 km/s đến 300.000km/s và phụ thuộc vào môi trường xung quanh. Ở tần số công nghiệp 50Hz, chiều dài bước sóng từ 3000km đến 6000km. Đề đơn giản có thể xem xét quá trình truyền sóng xảy ra tức thời qua các thiết bị.

2.2. Mô hình đường dây và cột

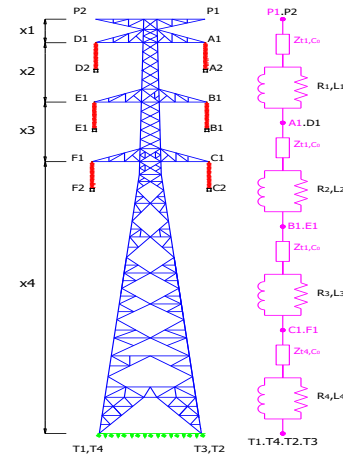
Dây dẫn loại ACSR-330 phân pha 4, khoảng cách 45cm, treo dây chống sét loại PHLOX116, khoảng cách giữa các cột dao động trong khoảng giữa 300m và 450m.

Đối với cột đường dây siêu cao áp 500kV có treo dây chống sét, dựa vào sự đo lường trên lưới điện siêu cao áp 500kV tại Nhật Bản, M. Ishii [7] đã đưa ra mô hình cột gồm nhiều phần tử dao động phân bố theo chiều cao. Mô hình này phản ánh đúng kết quả sự ảnh hưởng tần số cao của xung sét.

- Tốc độ truyền sóng dọc theo cột lấy bằng tốc độ ánh sáng trong chân không $c_0=300\text{m}/\mu\text{s}$. Để thể hiện sự suy giảm cũng như sự biến đổi hình dạng của sóng, mạch dao động RL được đưa vào từng phần của mô hình [4].

- Bên cạnh mô hình trên, trong tính toán chống sét cho đường dây truyền tải cũng như ảnh hưởng của sét đối với việc phối hợp cách điện trạm biến áp, IEEE/CIGRE cũng đưa ra công thức tính toán trở kháng sóng của cột. Tuy nhiên, theo nghiên cứu của A. Ametami [3], các giá trị tính toán được kém chính xác so với thực tế.

Đối với từng loại mô hình cột ta có các mô hình thay thế khác nhau. Hình 4 thể hiện mô hình thay thế của đường dây mạch kép 500kV.



Hình 4. Mô hình đường dây mạch kép 500kV

2.3. Điện trở nối đất trạm biến áp

Khi dòng sét có biên độ lớn đi qua hệ thống nối đất của

cột sẽ gây ra quá trình ion hóa, do đó hệ thống nối đất được thay thế bằng một điện trở phi tuyến. Theo IEC60071-2 và IEEE 1410-2004 giá trị điện trở nối đất $R_t(t)$ được xác định như sau:

Nếu $i(t) < I_g$: $R_t(t) = R_0$

Nếu $i(t) > I_g$: $R_t(t) = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{i(t)}{I_g}}}$

với $I_g = \frac{E_0 \rho}{2\pi R_0^2}$

R_0 : Điện trở nối đất ở tần số thấp (Ω),

$i(t)$: Dòng qua điện trở nối đất (A),

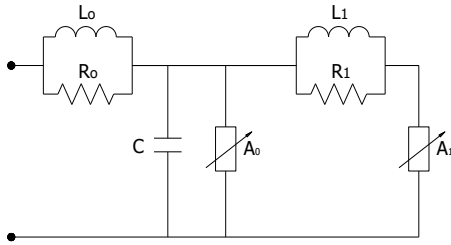
I_g : Dòng điện giới hạn (A),

ρ : Điện trở suất của đất ($\Omega \cdot m$),

E_0 : Gradient ion hóa của đất, (chọn 400kV/m).

2.4. Chống sét van

Để mô hình hóa cho chống sét van trong trường hợp xung sét có độ dốc lớn, xét mô hình chống sét van do Dan Durback đưa ra và được đề cập trong tiêu chuẩn IEEE WG 3.4.11-1983 (Hình 5).



Hình 5. Mô hình chống sét van

Trong đó các thông số của mô hình được tính toán theo tiêu chuẩn IEEE Standard C62.22-1997 [6].

2.5. Các thiết bị trong trạm

- Dây dẫn sử dụng trong trạm như sau:

Điện áp định mức: $U=500kV$.

Số sợi phân pha $n=3$.

Khoảng cách giữa các dây phân pha $a=33cm$.

Bán kính mỗi dây $r=1,845cm$.

Khoảng cách trung bình hình học giữa các pha $GMD=1007,937cm$.

Bán kính trung bình hình học của dây dẫn $GMR=12,19cm$.

Tổng trở sóng của dây dẫn:

$$Z_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} \ln \frac{GMD}{GMR} = 262,78\Omega$$

Trong đó: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$; $\epsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12}$, vận tốc truyền sóng xấp xỉ $3 \cdot 10^8 m/s$. Ở tần số 50Hz, chiều dài bước sóng $\lambda \approx 6000km$.

Đường dây và thanh dẫn trong trạm sử dụng mô hình mô phỏng CP trong phần mềm EMTP-RV [5].

- Máy biến áp:

Máy biến áp có thể thay thế bằng điện dung của nó đối với đất. Đối với máy biến áp tự ngẫu nối Y, giá trị điện dung được xác định bằng công thức sau đây:

$$C = 0,52 \cdot S^{0,4}$$

C- Điện dung [nF]

S- Công suất định mức máy biến áp [MVA]

- Dây dẫn ngắn từ 5m đến 10m có thể thay bằng điện cảm L có giá trị $1\mu H/m$.

- Điện dung của một số các thiết bị được cho ở Bảng 1.

Bảng 1. Điện dung các thiết bị

Thiết bị	C
Biến điện áp	5nF
Biến dòng điện	680pF
Máy cắt (đóng)	200pF
Dao cách ly	150pF

Trong trường hợp máy cắt mở, nối hai đầu cực máy cắt bằng điện dung $C_g=700pF-1600pF$, chọn $C=800pF$.

3. Giả thiết tính toán

Từ công thức (2.1) và (2.3), ta có xác suất để dòng sét có biên độ 200kA đánh vòng qua dây chống sét:

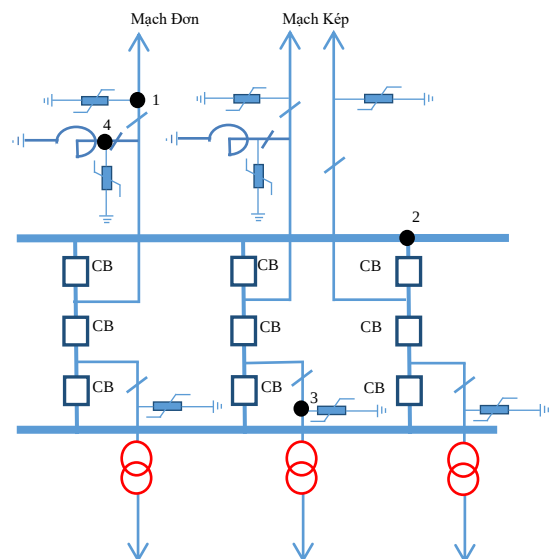
+ Đối với đường dây mạch đơn: $\eta_1 = 0,002262\%$

+ Đối với đường dây mạch kép: $\eta_2 = 0,007566\%$

Với mục đích ban đầu đã được nêu rõ là sẽ thực hiện mô phỏng kiểm tra giá trị xung sét mà trạm biến áp sẽ nhận được khi xảy ra hiện tượng quá điện áp khí quyển trong trường hợp nguy hiểm. Kịch bản sẽ thực hiện khảo sát quá điện áp khí quyển ở vị trí cột cuối đường dây mạch đơn và mạch kép dẫn đến sét lan truyền vào trạm. Trạm biến áp sử dụng sơ đồ tiêu biểu 3/2 và các vị trí trọng yếu được bảo vệ bằng chống sét van (Hình 6). Các thiết bị trong trạm phía 500kV cũng như máy biến áp được mô hình hoá theo các thông số như trên.

Các vị trí bảo vệ bằng chống sét van:

1. Điểm đầu vào trạm – Head Line,
2. Thanh cái của trạm – Station,
3. Trước máy biến áp – Power Trans,
4. Trước kháng điện – Shunt Reactor.



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý trạm biến áp

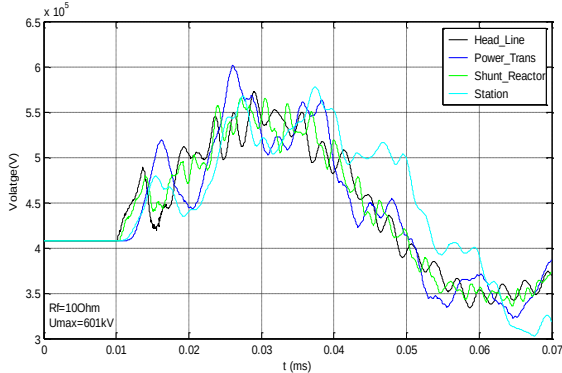
4. Kết quả tính toán

Kết quả tính toán là các dạng sóng và các giá trị xung sét lớn nhất tại các vị trí trọng yếu nhận được khi xảy ra sự cố quá điện áp khí quyển trên hệ thống đường dây mạch đơn hoặc mạch kép.

1. Điểm đầu vào trạm – Head Line.
2. Thanh cái của trạm – Station.
3. Trước máy biến áp – Power Trans.

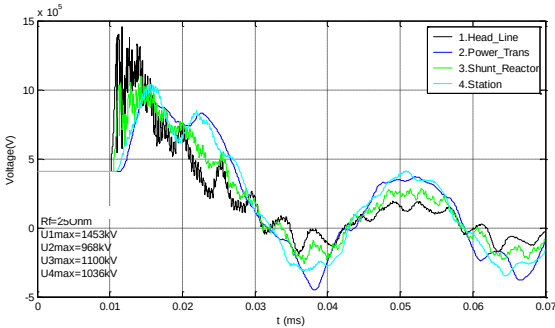
4.1. Đường dây 500kV mạch kép

Kết quả mô phỏng trường hợp sét đánh vào dây chống sét được thể hiện ở Hình 7.



Hình 7. Quá điện áp tại điểm đầu trạm, thanh cái 500kV, trước MBA 450MVA và kháng điện 65MVAR

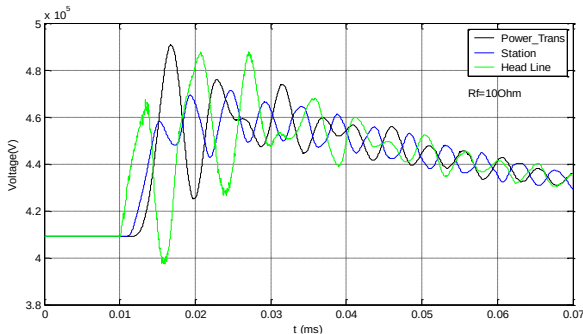
Kết quả mô phỏng trường hợp sét đánh vòng qua dây chống sét lên dây pha được thể hiện ở Hình 8.



Hình 8. Quá điện áp tại điểm đầu trạm, thanh cái 500kV, trước MBA 450MVA và kháng điện 65MVAR

4.2. Đường dây 500kV mạch đơn

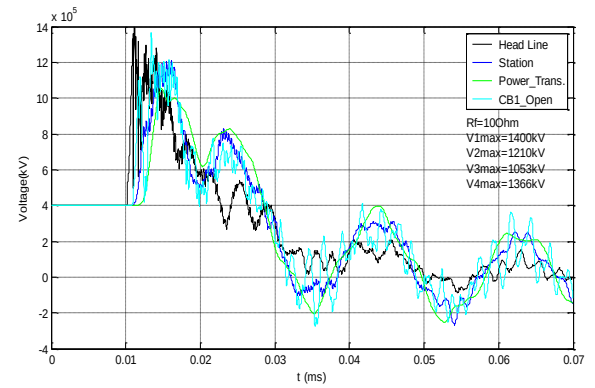
Kết quả mô phỏng trường hợp sét đánh vào dây chống sét được thể hiện ở Hình 9.



Hình 9. Quá điện áp tại điểm đầu trạm, thanh cái 500kV, trước MBA 450MVA và kháng điện 65MVAR

Kết quả mô phỏng trường hợp sét đánh vòng qua dây

chống sét lên dây pha được thể hiện ở Hình 10.



Hình 10. Quá điện áp tại điểm đầu trạm, thanh cái 500kV, trước MBA 450MVA và kháng điện 65MVAR

Kết quả tính toán quá điện áp của các trường hợp nêu trên được thể hiện trong các Bảng 2 và 3.

Bảng 2. Giá trị quá điện áp khi tính đường dây 500kV mạch đơn

Điện áp U_{max} (kV)					
Sét đánh vào dây chống sét			Sét đánh vòng qua dây chống sét		
Head Line	Station	Power Trans	Head Line	Station	Power Trans
487	471	490	1400	1210	1053

Bảng 3. Giá trị quá điện áp khi tính đường dây 500kV mạch kép

Điện áp U_{max} (kV)					
Sét đánh vào dây chống sét			Sét đánh vòng qua dây chống sét		
Head Line	Station	Power Trans	Head Line	Station	Power Trans
573	565	601	1453	1100	968

4.3. Nhận xét

Đối với trường hợp sét đánh vòng qua dây chống sét thì giá trị xung cao hơn gấp 2 lần cũng như tốc độ đạt giá trị đỉnh gấp cả chục lần so với sét đánh trực tiếp lên dây chống sét. Ngoài ra tần số dao động của biên độ sét tại các điểm khi sét đánh vòng cũng lớn hơn so với khi sét đánh lên dây chống sét.

Tính toán đã được thực hiện dựa trên những giả thiết bất lợi nhất trong quá trình khảo sát (dòng sét có biên độ lớn, sét đánh vòng qua dây chống sét lên dây pha, vị trí sét đánh là cột cuối vào trạm), xác suất để xảy ra trường hợp này là rất bé ($<0,007566\%$). Các kết quả tính toán cho thấy điện áp lớn nhất có thể xuất hiện trong trạm khi xảy ra sét đánh với biên độ lên đến 200kA là 1453kV. Vậy khi thiết kế có thể lựa chọn các thiết bị điện có thông số điện áp chịu xung sét BIL là 1550kV, với mức cách điện này thì hoàn toàn đảm bảo điều kiện vận hành an toàn của thiết bị khi xảy ra quá điện áp do sét đánh lan truyền vào trạm. Bên cạnh đó cần phải tính toán lựa chọn các vị trí phù hợp để lắp đặt chống sét van cho từng sơ đồ đầu nối của trạm.

Tất cả các trường hợp nguy hiểm trên vẫn còn nằm trong giới hạn giá trị BIL 1550kV. Kết quả tính toán cho thấy giá trị xung nhận được thấp hơn nhiều so với tiêu chuẩn yêu cầu cách điện BIL cho trạm biến áp 500kV là 1800kV [9] và điều đó cho phép đề xuất giảm nhẹ mức cách điện BIL cho các thiết bị điện 500kV.

5. Kết luận

Các kết quả tính toán trong bài báo cho thấy có thể giảm nhẹ yêu cầu cách điện BIL đối với các thiết bị điện trong trạm biến áp 500kV so với yêu cầu cách điện theo quy phạm.

Các kết quả tính toán phân tích ở bài báo này đã được đưa vào ứng dụng trong thực tiễn tư vấn thiết kế tại các trạm biến áp 500kV như Thanh Mỹ (hoàn thiện), trạm cắt 500kV Pleiku cũng như trong tương lai gần sẽ áp dụng cho trạm biến áp 500kV Lai Châu. Kết quả khảo sát thực tiễn cho thấy những kết quả tính toán trên đã đảm bảo an toàn và đạt tiêu chuẩn cách điện của trạm. Vì vậy bài báo kiến nghị áp dụng tiêu chuẩn cách điện mới này vào thực tiễn nhằm mang lại hiệu quả kinh tế cho ngành điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. V. Bewley, "Traveling Waves on Transmission Systems", Dover (N.Y.), 1963.
- [2] W. Diesendorf, "Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems", Butterworths, 1974.
- [3] Akihiro Ametani, "Lightning Surge Analysis by EMTP and Numerical Electromagnetic Analysis Method", *30th International Conference on Lightning Protection - ICLP 2010*.
- [4] Y. Liu et al, "A non-uniform transmission line approach for transient analysis of grounding system under lightning impulse", *ICLP2004*, Avignon, France, 13-16 Sept. 2004, pp 536-541.
- [5] Carlos T. Mata, Mark I. Fernandez, Vladimir A. Rakov, Martin A. Uman, "EMTP Modeling of a Triggered - Lightning Strike to the Phase Conductor of an Overhead Distribution Line", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.15, No. 4, October 2000.
- [6] IEEE Std 1243, "Lightning Performance for Transmission Lines", 1997.
- [7] IEEE Trans. Power Delivery, "Multistory transmission tower model for lightning surge analysis", 1991.
- [8] Anderson JG, "Lightning performance of transmission lines in transmission line reference book". 345 kV and Above, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA 1982.
- [9] Bộ Công nghiệp, *Quy phạm trang bị điện*, NXB Lao động - Xã hội, Hà Nội, 2006.

(BBT nhận bài: 27/12/2014, phản biện xong: 03/03/2015)