

RESEARCH OF THE ATMOSPHERIC OVERVOLTAGES IN A SUBSTATION BY USING ATP-EMTP

Nguyen Duc Tuong

TNU - University of Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 08/02/2022	In this research, the author considers the factors affecting the magnitude of the overvoltage acting on the insulation of the 110 kV Son La substation by the electromagnetic transients program ATP-EMTP. Research results show that overvoltage (pulse magnitude and voltage wavefront) propagated from the line to the substation depends on the parameters of the lightning current, the location of the lightning strike and the grounding resistance of the pole. When the lightning current is greater than 200 kA, it will generate an overvoltage greater than the basic impulse insulation level (BIL) of electrical equipment in the substation. Lightning strikes the last tower or the last span, the overvoltage generated and propagates into the substation with large parameters. On the other hand, the grounding resistance of the tower foot. In addition, the results of the study are used to enhance our understanding about the factors that contribute to overvoltage in the substation which enables us to provide better protection for the Substation insulation.
Revised: 20/4/2022	
Published: 21/4/2022	
KEYWORDS	
Atmospheric overvoltages	
Transient analysis	
Co-ordination insulation	
Overvoltage protection	
ATP-EMTP	
ATPDraw	

NGHIÊN CỨU QUÁ ĐIỆN ÁP KHÍ QUYỀN TRONG TRẠM BIẾN ÁP BẰNG PHẦN MỀM ATP-EMTP

Nguyễn Đức Tường

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 08/02/2022	Trong nội dung nghiên cứu này, tác giả xem xét các yếu tố ảnh hưởng tới độ lớn của điện áp tác dụng lên cách điện của Trạm biến áp 110 kV Sơn La bằng chương trình phân tích quá độ điện từ ATP-EMTP. Kết quả nghiên cứu cho thấy quá điện áp (độ lớn đỉnh xung và độ dốc đầu sóng điện áp) lan truyền từ đường dây vào trạm biến áp phụ thuộc vào tham số của dòng điện sét, vị trí sét đánh trên đường dây và phụ thuộc vào phương thức bảo vệ của các xuất tuyến. Khi dòng điện sét lớn hơn 200 kA sẽ tạo ra các đỉnh xung điện áp vượt mức cách điện xung sét cơ bản (BIL) của các thiết bị điện trong trạm biến áp. Sét đánh vào cột cuối hoặc khoảng cột cuối sẽ phát sinh quá điện áp có tham số lớn và lan truyền vào trạm biến áp. Mặt khác, điện trở nối đất chân cột điện cũng ảnh hưởng trực tiếp tới độ lớn của quá điện áp trên các máy biến điện áp đặt tại các xuất tuyến. Hơn nữa, kết quả nghiên cứu cung cấp thêm thông tin về các yếu tố ảnh hưởng tới quá điện áp trong trạm biến áp nhằm bảo vệ tốt hơn cách điện của trạm biến áp.
Ngày hoàn thiện: 20/4/2022	
Ngày đăng: 21/4/2022	
TỪ KHÓA	
Quá điện áp khí quyền	
Phân tích quá độ điện từ	
Phối hợp cách điện	
Bảo vệ quá điện áp	
ATP-EMTP	
ATPDRaw	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5512>

Email: d.t.nguyen@tnut.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

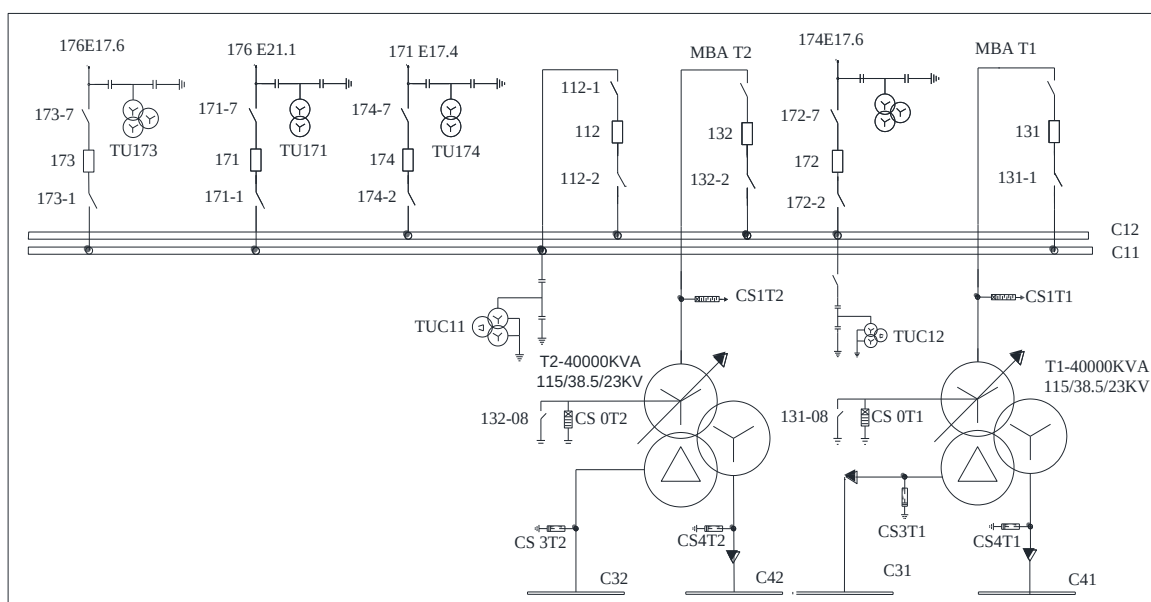
70

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Trong quá trình vận hành, trạm biến áp thường xuyên chịu tác động của phóng điện sét gây ra quá điện áp đánh thủng cách điện, sự cố ngắn mạch, chạm đất v.v... [1]-[4] hậu quả là làm hư hỏng thiết bị điện và thiết bị điều khiển trong trạm biến áp, gián đoạn cung cấp điện trong thời gian dài, gây mất ổn định hệ thống, mất an toàn cho con người, gây thiệt hại về kinh tế [5]-[9]. Do vậy, việc bảo vệ quá điện áp khí quyển cho trạm biến áp nhằm hạn chế tối đa quá điện áp nguy hiểm xuất hiện trong trạm biến áp [10]-[12], sao cho tần suất phóng điện trung bình trong trạm biến áp do quá điện áp khí quyển đạt tới 50 năm hay 100 năm [11], [13], [14].

Kết quả khảo sát đường dây tải điện cấp điện áp 110 kV và 220 kV từ năm 2011 đến năm 2015, trung bình có tới trên 70% các sự cố có liên quan đến phóng điện sét và thường tập trung vào khoảng tháng 4 đến tháng 9 hàng năm [15]. Trong nội dung này tác giả nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của quá điện áp sét lan truyền từ đường dây vào Trạm biến áp 110 kV Sơn La. Trạm biến áp bao gồm 2 máy biến áp có tổng công suất 80 MVA và 4 xuất tuyến (Hình 1):



Hình 1. Sơ đồ nối điện của Trạm biến áp 110 kV Sơn La

2. Mô phỏng trong chương trình ATPDraw

Trong nội dung nghiên cứu này, tác giả xem xét mức độ nguy hiểm của quá điện áp sét lan truyền từ xuất tuyến 173 vào trạm biến áp 110 kV Sơn La do sét đánh vào đỉnh cột trong 4 khoảng cột đầu trạm tương ứng với trạng thái vận hành không tải, độc lập của máy biến áp T_1 và T_2 .

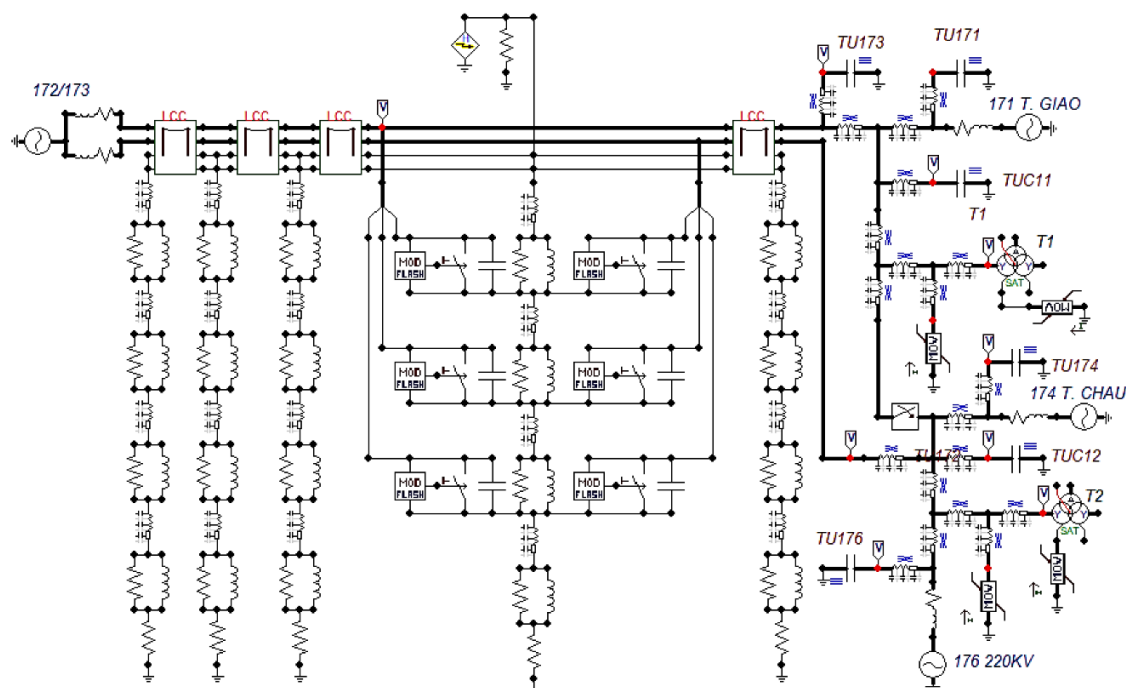
Mô hình tổng quát trạm biến áp và các đường dây 110 kV nối tới trạm được thể hiện trên Hình 2.

2.1. Mô hình nguồn hệ thống

Mô hình nguồn hệ thống được thay thế bằng mô đun điện áp và tổng trở trong có thông số được cho trong Bảng 1.

2.2. Mô hình đường dây LCC

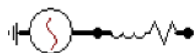
Xuất tuyến 172/173 là đường dây kép, có khoảng cột trung bình bằng 300 m được biểu diễn bằng mô đun LCC (Hình 3).



Hình 2. Mô hình trạm biến áp 110 kV Sơn La trong chương trình ATPDr

Bảng 1. Mô hình và dữ liệu nguồn hệ thống

DATA	UNIT	VALUE
Amplitude	Volts/Amps	63508
f	Hz	50
pha	Deg/Rad	0
A1		0
Tstart	s	-1
Tstop	s	1
R	Ohms	1
L	mH	50
C	uF	0



Hình 3. Mô hình của xuất tuyến 172/173

2.3. Mô hình cột điện

Kết cấu 5 cột điện đầu trạm của tuyến 172/173, mỗi cột được chia thành nhiều phân đoạn cột tương ứng với các tổng trở sóng của cột (Hình 4).

Mỗi phân đoạn cột điện h_1, h_2, h_3 được xác định theo biểu thức [11], [16], [17]:

$$Z = 60 \cdot \ln(2\sqrt{2} \frac{h_i}{r_i} - 1) \quad (1)$$

Trong đó: r_i là bán kính trung bình của cột điện;

h_i là phân đoạn chiều cao i .

Điện trở và điện cảm thay thế được tính theo công thức:

$$R_i = \frac{-2 \cdot Z_1 \cdot \ln \sqrt{\gamma}}{h_1 + h_2} h_i \quad (2)$$

$$R_3 = -2Z_3 \cdot \ln \sqrt{\gamma} \quad (3)$$

$$L_i = R_i \cdot \tau \quad (4)$$

với: $\gamma = 0,8944$ hệ số truyền sóng của cột; $\tau = 2 \frac{H}{\vartheta}$

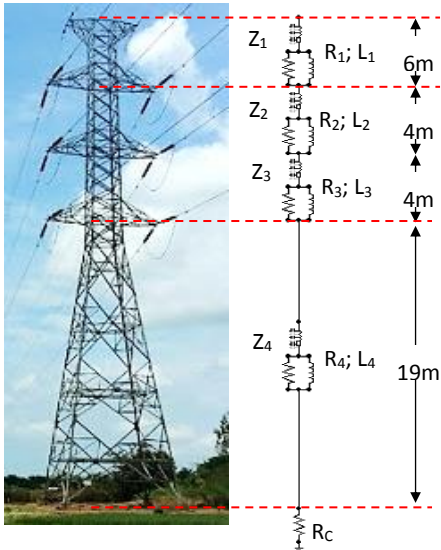
$\vartheta = 300 \left(\frac{m}{\mu s} \right)$ vận tốc truyền sóng;

L_i (mH) điện cảm phân đoạn i ;

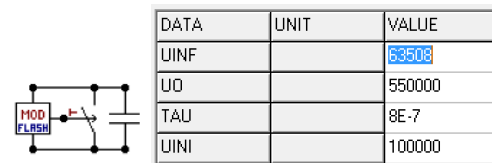
R_i (Ω) điện trở phân đoạn i ;

($i = 1 \div 4$)

R_c là điện trở nối đất chân cột.



Hình 4. Mô hình cột điện 110 kV



Hình 5. Mô hình và thông số chuỗi cách điện

Kết quả tính toán cho trong Bảng 2: Kết quả tính toán thông số (R , L , Z) của cột điện 110 kV

h_i (m)	r_i (m)	h_i/r_i	L_i (mH)	R_i (Ω)	Z_i (Ω)
6	1	6,00	0,32	7,95	166,24
4	1	4,00	0,06	2,31	140,01
4	1	4,00	0,06	2,31	140,01
19	2,5	7,60	2,56	20,22	181,21

2.4. Mô hình chuỗi cách điện

Chuỗi cách điện được thay thế bằng một điện dung tương đương (Hình 5), đối với sứ néo mỗi bát sứ được thay thế bởi một điện dung là 100 pF, với cường độ cách điện xung sét cơ bản (BIL) chọn bằng 550 kV [10]:

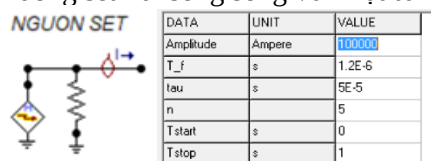
2.5. Mô hình nguồn sét

Dòng điện trong khe sét là một số liệu mang tính ngẫu nhiên biến thiên trong phạm vi khá rộng từ 2 kA tới 270 kA [13].

Xác suất xuất hiện dòng điện sét ứng với giá trị I được xác định theo công thức sau [14]:

$$P(I) = \frac{100}{1 + \left(\frac{I}{31} \right)^{2,6}} \quad (\%)$$

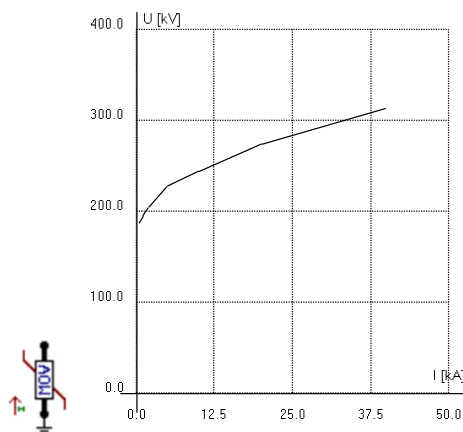
Mô hình sét gồm có mô hình dòng sét nối song song với một tổng trở (Hình 6):



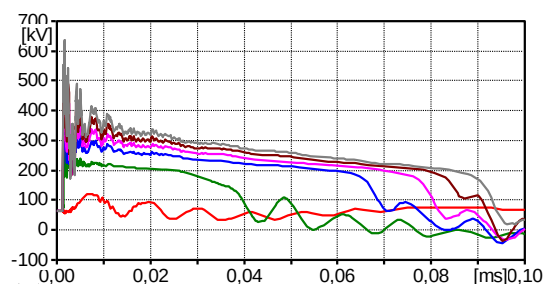
Hình 6. Mô hình nguồn sét

2.6. Mô hình chống sét van

Trong nội dung nghiên cứu có sử dụng chống sét van ôxit kẽm (ZnO) không khe hở loại 3EL1 096-1P.2 lắp đặt tại đầu vào T_1 , T_2 phía 110 kV, được sản xuất và thử nghiệm theo tiêu chuẩn quốc tế IEC 6009-4, với đường đặc tính làm việc trong chương trình ATPDraw được thể hiện trên Hình 7.



Hình 7. Đặc tính V-A của chống sét van



Hình 8. Định xung điện áp pha A trên đầu cực T_1

2.7. Hệ số dự trữ cách điện

Hệ số bảo vệ là tỉ số giữa điện áp chịu đựng và quá điện áp tác dụng lên đầu cực của thiết bị điện được bảo vệ. Theo tiêu chuẩn IEEE C62.22 [18], hệ số bảo vệ quá điện áp khí quyển (PR_L) được xác định theo biểu thức:

$$PR_L = \frac{BIL}{LPL} \geq 1,2$$

Trong đó: $BIL = 550$ kV là cường độ cách điện xung sét cơ bản của cấp điện áp 110 kV [10]; LPL là điện áp thực tế trên đầu cực thiết bị điện (kV).

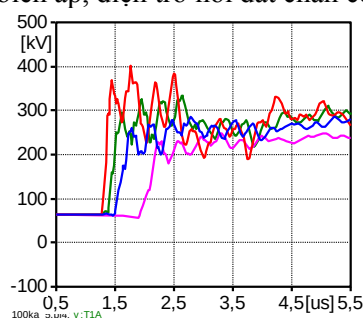
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng độ lớn dòng điện sét

Nghiên cứu sự biến thiên của quá điện áp trên các pha theo độ lớn dòng điện trong khe sét với 5 trị số dòng điện sét (I_s) biến thiên từ 5 kA đến 250 kA ứng với xác suất xuất hiện được xác định như Bảng 3. Vị trí sét đánh là đỉnh cột thứ 2 tính từ trạm biến áp, điện trở nối đất chân cột 40 (Ω).

Bảng 2. Xác suất xuất hiện dòng điện sét I_s

I_s (kA)	5	31	100	150	200	250
P_{I_s} (%)	99,1	50,0	4,5	1,6	0,8	0,4



Hình 9. Điện áp trên đầu cực T_1 phụ thuộc độ dốc đầu sóng dòng điện sét (S)

Trên Hình 8 là kết quả phân tích điện áp biến thiên trên đầu cực của máy biến áp T_1 (lấy pha A làm đại diện) của chương trình mô phỏng ứng với độ lớn dòng điện sét khác nhau. Từ kết quả cho thấy độ lớn của điện áp tác dụng lên đầu cực của T_1 nói riêng và cách điện trong trạm nói

chung phụ thuộc đáng kể vào độ lớn của đỉnh xung dòng điện sét. Độ lớn của quá điện áp khi quyền tỷ lệ thuận với dòng điện sét.

3.2. Ảnh hưởng độ dốc đầu sóng dòng điện sét

Độ dốc đầu sóng dòng điện sét được xác định theo biểu thức:

$$S = \frac{di_s}{dt} \quad (\text{kA} / \mu\text{s})$$

Phân bố độ dốc đầu sóng xác định theo công thức của Berger [19]:

$$P(S \geq S_s) = \frac{100}{1 + \left(\frac{S_s}{24}\right)^4} \quad (\%)$$

với: $P(S \geq S_s)$ là xác suất xuất hiện độ dốc đầu sóng dòng điện sét lớn hơn hoặc bằng S_s .

S_s là độ dốc dòng điện sét ($\text{kA}/\mu\text{s}$).

Trong nội dung nghiên cứu này, tác giả chọn độ lớn dòng điện sét bằng 100 kA và thời gian đỉnh như cho trong Bảng 4. Kết quả mô phỏng (Hình 9) và tính toán đỉnh xung điện áp trên đầu cực máy biến áp (Bảng 4) cho thấy ứng với độ dốc đầu sóng dòng điện trong khe sét càng lớn thì quá điện áp trong trạm càng cao.

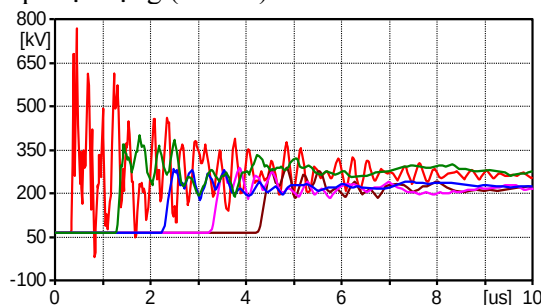
Bảng 3. Sự phụ thuộc đỉnh xung điện áp vào độ dốc đầu sóng dòng điện sét

T (μs)	1,2	5	10	20
S ($\text{kA}/\mu\text{s}$)	83	20	10	5
P (%)	99,8	97	67	0,7
U_{T1} (kV)	400	333	283	249
PR_L	1,38	1,65	1,94	2,21

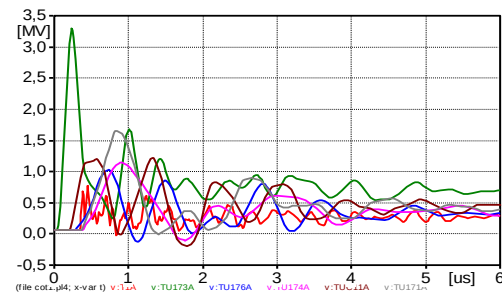
3.3. Ảnh hưởng của vị trí sét đánh

Khảo sát sự biến thiên của quá điện áp trên đầu cực của các thiết bị điện, tác giả xét 5 vị trí sét đánh tại 5 khoảng cột gần trạm biến áp giả thiết dòng điện sét là 100 kA.

Điện áp trên đầu cực máy biến áp T_1 được biểu diễn trên Hình 10, kết quả nghiên cứu cho thấy những cú sét phóng điện vào khoảng cột cuối rất nguy hiểm cho cách điện máy biến áp nói riêng và các thiết bị điện trong trạm nói chung do tham số (đỉnh xung điện áp và độ dốc đầu sóng điện áp) rất lớn, có thể gây ra phóng điện giữa các pha hay phóng điện trên cuộn dây pha của máy biến áp. Trong trường hợp này, điện áp trên đầu cực máy biến áp T_1 đạt tới 740 kV lớn hơn điện áp chịu đựng (550kV).



Hình 10. Điện áp trên đầu cực máy biến áp T_1



Hình 11. Điện áp trên đầu cực T_1 và các TU

Khi xem xét trường hợp nguy hiểm nhất ứng với dòng điện sét bằng 100 kA, và sét đánh tại đỉnh cột cuối thì điện áp tác dụng lên cách điện của các thiết bị điện trong trạm (T_1 , TU176, TU173, TU174 và TUC11) biến thiên như Hình 11. Kết quả tính toán PR_L trong trường hợp này được thống kê trên Bảng 5. Trường hợp sét đánh tại đỉnh cột cuối cho thấy tham số quá điện áp lớn, tổn hao trên đường truyền thấp, do vậy cách điện các thiết bị điện trong trạm không an toàn

($PR_L < 1,2$) với đoạn đầu sóng điện áp (0,5 μ s), nhưng hoàn toàn tin cậy ($PR_L > 1,2$) với điện áp thân sóng (3 μ s).

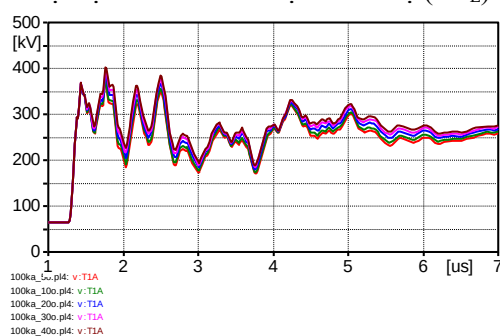
Bảng 4. Ảnh hưởng của vị trí sét đánh

STT	Tên thiết bị	Thời gian (μ s)	Điện Áp (kV)	Hệ số bảo vệ (PR_L)
1	TU171	0,5	1647	0,38
		3	234	2,66
2	TU173	0,5	3292	0,19
		3	303	2,06
3	TU174	0,5	1145	0,54
		3	225	2,77
4	TU176	0,5	1027	0,61
		3	224	2,78
5	TUC11	0,5	1197	0,52
		3	243	2,57
6	TUC12	0,5	920	0,68
		3	444	1,40
7	T1	0,5	760	0,82
		3	215	2,90
8	T2	0,5	460	1,36
		3	440	1,42

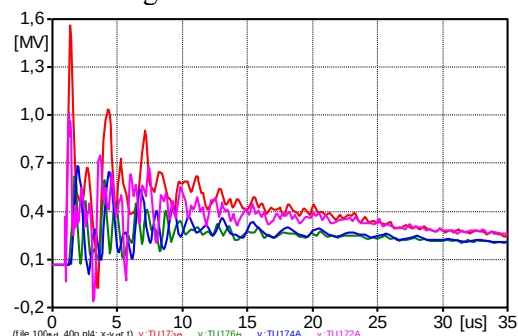
3.4. Ảnh hưởng của điện trở chân cột điện

Trên Hình 12 biểu diễn sự biến thiên của xung quá điện áp tác dụng lên cách điện pha A máy biến áp T_1 và T_2 ứng với dòng điện 100 kA khi điện trở nối đất chân cột (điện trở chân cột) thay đổi từ 5 Ω , 10 Ω , 20 Ω , 30 Ω và 40 Ω . Kết quả cho thấy điện trở chân cột không ảnh hưởng nhiều đến các máy biến áp là do các máy biến áp đặt ở xa và đã được bảo vệ chắc chắn bằng các chống sét van.

Tuy nhiên, khi xét điện áp tác dụng lên các máy biến áp đo lường TU (Hình 13) cho thấy, TU173 bị quá điện áp do đặt gần vị trí cột bị sét đánh. Kết quả phân tích điện áp đầu cực trên các thiết bị điện và tính toán hệ số bảo vệ (PR_L) được cho trên Bảng 6.



Hình 12. Điện áp trên đầu cực T1



Hình 13. Điện áp trên đầu cực TU

Bảng 5. Điện áp đầu cực và hệ số bảo vệ

STT	Tên thiết bị	Điện áp đầu cực (kV)	Hệ số bảo vệ
1	TU171	234	2,66
2	TU173	682	0,91
3	TU174	225	2,77
4	TU176	224	2,78
5	TUC11	236	2,64
6	TUC12	234	2,66
7	T1	211	2,95
8	T2	197	3,16

4. Kết luận

Quá điện áp tác dụng lên cách điện của thiết bị điện trong trạm biến áp do sét đánh trên đường dây tải điện trên không phụ thuộc vào tham số của phóng điện sét, phương thức bảo vệ của đoạn đường dây gần trạm và vị trí sét đánh. Độ tin cậy của bảo vệ cấp quá điện áp lan truyền của các chống sét van đặt trong trạm biến áp được đánh giá qua hệ số bảo vệ (PR_L). Kết quả nghiên cứu cho thấy độ tin cậy bảo vệ của trạm biến áp 110 kV Sơn La phụ thuộc trực tiếp vào các yếu tố:

- Tham số của dòng điện sét (độ lớn đỉnh xung và độ dốc đầu sóng xung dòng điện sét) càng lớn độ tin cậy bảo vệ càng giảm.

- Điện trở nối đất chân cột điện của đoạn đường dây gần trạm biến áp quyết định phần lớn điện áp giáng trên thân cột, nếu trị số điện áp đỉnh càng lớn, càng gây nguy cơ phóng điện ngược từ thân cột/xà vào dây dẫn pha tạo lên điện áp xung có tham số lớn tác dụng lên cách điện của các thiết bị trong trạm và làm giảm độ tin cậy bảo vệ.

- Các cú sét đánh càng gần trạm biến áp có tham số quá điện áp càng cao và không bị tổn hao do lan truyền. Do đó, cách điện của các thiết bị điện trong trạm chịu toàn bộ quá điện áp khi quyền do sét đánh gần trạm, đặc biệt là sét đánh trúng vào cột cuối.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] J. A. Martinez-Velasco, *Transient Analysis of Power Systems: A Practical Approach*, John Wiley & Sons Ltd, 2020.
- [2] M.A. Laughton and D.J. Warne, *Electrical Engineer's Reference Book, Sixteenth Edition*, Elsevier Ltd., 2003.
- [3] M. Vasileva and D. Stanchev, "Lightning overvoltages in electrical substation 220 kv due to shielding failure of overhead transmission line," in *10th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Sozopol, Bulgaria, 2018.
- [4] M. Trainba, C. A. Christodoulou, V. Vita, and L. Ekonomou, "Lightning overvoltage and protection of power substations," *WSEAS Transactions on Power Systems*, vol. 12, pp. 107-114, 2017.
- [5] IEC Std. 62305-1:2010, *Protection against lightning - Part 1: General principles*, International Electrotechnical Commission Press, 2010.
- [6] F. A. M. Rizk and G. N. Trinh, *High voltage engineering*, CRC Press, 2014.
- [7] IEC Std. 62305, *Protection against lightning*, International Electrotechnical Commission Press, 2013.
- [8] A. Rahiminejad and B. Vahidi, "An Application of Fractal-Based Lightning for SFR Calculation of High Voltage Substations," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 10, no. 15, pp. 1-12, 2017.
- [9] J. Li et al, "A New Estimation Model of the Lightning Shielding Performance of Transmission Lines Using a Fractal Approach," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 18, no. 5, pp. 1712-1723, 2011.
- [10] IEC Std. 60071-1-2006, *Insulation co-ordination, Part 1: Definitions, principles and rules*, International Electrotechnical Commission Press, 2006.
- [11] IEC Std. 60071-4, *Insulation co-ordination Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks*, International Electrotechnical Commission Press, 2004.
- [12] B. Franc, B. Filipovic-Grcic, and V. Milardic, "Lightning Overvoltage Performance of 110 kV Air-Insulated Substation," *Electric Power Systems Research*, vol. 138, pp. 78-84, 2016.
- [13] Andrew R. Hileman, *Insulation co-ordination for power systems*, CRC Press, 1999.
- [14] IEEE Std. 998, *Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2012.
- [15] T. Mai, "Sự cố lưới điện truyền tải: Hiểm họa từ sét," EVN NPT, 21 11 2016. [Online]. Available: <https://www.npt.com.vn/d6/vi-VN/news/Su-co-luoi-dien-truyen-tai-Hiem-hoa-tu-set-5-227-2784>. [Accessed Feb. 4, 2022].
- [16] Juan A. Martinez-Velasco, *Transient Analysis of Power Systems: Solution Techniques, Tools and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
- [17] Mansour Moradi, Hamdi Abdi, Arash Atefi, "Analyzing and Modeling the Lightning Transient Effects of 400 KV Single Circuit Transmission Lines," *International Journal of Science and Engineering Investigations*, vol. 2, no. 19, pp. 61-67, 2013.
- [18] IEEE Std. C62.22, *Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating-Current Systems*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2009.
- [19] K. Berger, "The Earth flash. In Lightning," *Academic Press*, vol. 1, pp. 119-190, 1977.