

NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ BẢO VỆ MÁY BIẾN ÁP CỦA THIẾT BỊ CHỐNG SÉT VAN CÓ XÉT ĐẾN CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG

Quyền Huy Ánh⁽¹⁾, Nguyễn Phan Thanh⁽¹⁾, Nguyễn Ngọc Âu⁽¹⁾, Trương Ngọc Hưng⁽²⁾

(1) Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM

(2) Trường Đại học Công nghiệp Tp HCM

(Bài nhận ngày 09 tháng 08 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 20 tháng 05 năm 2009)

TÓM TẮT: *Phía cao thế của máy biến áp phân phối thường được bảo vệ chống sét bằng thiết bị chống sét van. Trong lắp đặt thiết bị chống sét van, khoảng cách giữa thiết bị chống sét và đầu cực cao thế của máy biến áp là hết sức quan trọng. Bài báo này đề cập đến phương pháp mới xác định vị trí lắp đặt hợp lý của chống sét van bảo vệ máy biến áp phân phối xét đến cả hai chỉ tiêu kỹ thuật - kinh tế và các yếu tố ảnh hưởng khác như: mật độ sét, hệ số che chắn, tỉ lệ hư hỏng, tuổi thọ máy biến áp và điện trở nối đất. Hiện trạng lắp đặt thiết bị chống sét van cho trạm biến áp 400kVA, 22/0.4kV trên lưới phân phối điện Tp Hồ Chí Minh cũng được xem xét và đưa ra các khuyến cáo cụ thể.*

Từ khóa: *Chống sét van, máy biến áp, hiệu quả bảo vệ, yếu tố ảnh hưởng, vị trí lắp đặt.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mọi thiết bị điện khi lắp đặt đều được dự kiến đưa vào vận hành lâu dài ở một cấp điện áp nào đó và thường được lựa chọn dựa trên điện áp định mức của lưới điện mà thiết bị đó được đấu nối vào. Tuy nhiên, trong thực tế vận hành, đôi lúc lại xảy ra quá điện áp tạm thời do nhiều nguyên nhân gây ra: có thể là do các sự cố chạm đất, do thao tác đóng cắt, do sét đánh trực tiếp và sét cảm ứng. Trong đó, quá điện áp do sét là nguy hiểm nhất, bởi vì quá điện áp này rất lớn gây phóng điện đánh thủng cách điện và phá hủy thiết bị.

Hiện nay, các trạm biến áp phân phối thường được bảo vệ bằng chống sét van, vị trí lắp đặt chống sét van này được xác định trên cơ sở điện áp xung E_t tại đầu cực máy biến áp phải thấp hơn điện áp cách điện xung định mức của các cuộn dây máy biến áp V_t [1, 2]. Nhược điểm của phương pháp này là chỉ quan tâm đến chỉ tiêu kỹ thuật có kể đến các yếu tố ảnh hưởng như: độ dốc đầu sóng S_o , trở kháng xung đường dây Z , điện áp dư U_p của chống sét van, vận tốc sóng lan truyền v.

Dưới đây, đề cập đến phương pháp mới xác định vị trí lắp đặt hợp lý của chống sét van bảo vệ máy biến áp phân phối xét đến cả hai chỉ tiêu kỹ thuật - kinh tế và các yếu tố ảnh hưởng khác như: mật độ sét, hệ số che chắn, tỉ lệ hư hỏng, tuổi thọ máy biến áp và điện trở nối đất.

2. ĐỊNH VỊ TRÍ ĐẶT THIẾT BỊ CHỐNG SÉT VAN

Số lần sét đánh trực tiếp vào đường dây phân phối tùy thuộc vào những yếu tố như: chiều cao đường dây, khoảng cách ngang giữa các dây dẫn ngoài cùng, hệ số che chắn và mật độ sét đánh xuống đất và được tính toán như sau:

$$N = N_g \times (b + 28.H^{0.6}).(1 - S_f).10^{-6} \text{ lần /km.năm} \quad (1)$$

Ở đây: b là khoảng cách ngang giữa các dây dẫn ngoài cùng, m; H là độ cao của dây so với mặt đất, m; N_g là số lần sét đánh /km².năm; S_f là hệ số che chắn do các vật thể ở gần.

Với cách bố trí như trong Hình 1, hệ số che chắn S_f bởi gàn đối tượng thay đổi từ 0.3 đến 0.5. Với $h = H$ và $X = H$, giá trị hợp lý của S_f là 0.5 [3].

2.1. Phương pháp bảo vệ đơn giản

Trong phương pháp này, vị trí thiết bị chống sét được xác định dựa trên việc bảo đảm tỉ lệ hư hỏng chấp nhận được trong khoảng thời gian tồn tại của máy biến áp.

Để tỉ lệ hư hỏng đạt được dưới FR%, máy biến áp cần được bảo vệ chống sét đánh xảy ra chỉ một lần trong t_s năm, biểu thức tính t_s như sau:

$$t_s = \frac{LF}{FR} \cdot 100, \text{ năm}$$

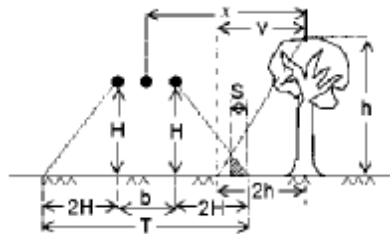
Ở đây: LF là tuổi thọ của máy biến áp, năm; FR là tỉ lệ hư hỏng, %.

Số lần sét đánh được nhận ở đoạn OA ở Hình 2 trong thời gian t_s được tính như sau:

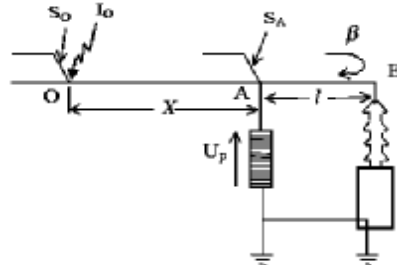
$$N_s = N \cdot t_s \cdot X, \text{ lần đánh}$$

Xác suất P_{I_0} của dòng sét tới vượt quá giá trị I_0 trong N_s lần sét đánh:

$$P_{I_0} = \frac{1}{N \cdot t_s \cdot X} \tag{2}$$



Hình 1. Che chắn gần đối tượng



Hình 2. Bảo vệ chống sét van của một máy biến áp

Giá trị I_0 có thể xác định bằng quan hệ [6, 7]:

$$P_{I_0} = e^{-0,02878 \cdot I_0}$$

Độ dốc của xung cảm ứng ban đầu tại điểm O (Hình 2):

$$S_0 = \left(\frac{I_0}{2} \right) \times \left(\frac{Z}{t_f} \right), \text{ kV} / \mu\text{s} \tag{3}$$

Ở đây: t_f là thời gian đầu sóng, μs ; Z là trở kháng xung đường dây, Ω ; I_0 là biên độ dòng sét, kA.

Xung tác động tại điểm A có độ dốc được cho bởi biểu thức [2]:

$$S_A = \frac{1}{\left(\frac{1}{S_0} + k \cdot X \right)}, \text{ kV} / \mu\text{s} \tag{4}$$

Ở đây: $k = 1,5 \cdot 10^{-6} \mu\text{s/kVm}$ là hằng số suy giảm do vàng quang; X là khoảng cách đến một xung sét với một độ dốc không xác định sẽ bị suy giảm tới độ dốc S_A tại A, m.

Điện áp đỉnh tại đầu cực máy biến áp:

$$E_t = U_p + S_A \left(\frac{2,1}{v} \right), \text{ kV} \tag{5}$$

Ở đây: U_p là điện áp dư của thiết bị chống sét, kV; v là vận tốc sóng lan truyền, m/ μ s; l là khoảng cách giữa thiết bị chống sét và máy biến áp, m.

Với một biên hạn an toàn cho máy biến áp là 20% (tiêu chuẩn ANSI 62.2:1981), khoảng cách giữa thiết bị chống sét van và máy biến áp được xác định như sau:

$$l = \frac{(0.8 \times E_t - U_p) \times v}{2 \times S_A}, \text{ m} \quad (6)$$

2.2. Phương pháp bảo vệ cải tiến

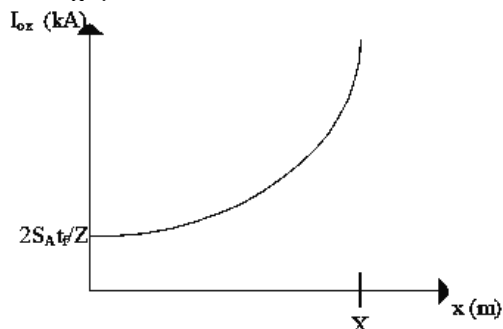
Phương pháp trên chỉ hiệu quả đối với các cú sét đánh giới hạn bởi giá trị I_0 và trước điểm O (Hình 2). Phương pháp cải tiến được đưa ra nhằm tính toán chính xác hơn với các giá trị xung sét và bảo đảm tỉ lệ rủi ro ở mức thấp nhất, được trình bày ở phần sau:

Gọi I_{ox} là dòng sét gây nên độ dốc của sóng đi vào lớn hơn S_A sau khi đánh vào đường dây tại một khoảng cách X cách xa tính từ điểm A được xác định bằng biểu thức:

$$I_{ox} = \frac{2 \cdot t_f \cdot S_A}{(1 - S_A \cdot k \cdot X) \cdot Z}, \text{ kA} \quad (7)$$

Ở đây: t_f là độ dốc đầu sóng, kV/ μ s; k là hằng số suy giảm do vàng quang, μ s/kV.m; Z là trở kháng xung của đường dây, Ω .

Cho nên, bất kỳ dòng sét đánh vào đường dây ở khoảng cách X có giá trị vượt quá I_{ox} sẽ gây nên $\frac{dE}{dt}$ lớn hơn độ dốc S_A tại điểm A.



Hình 3. Sự biến thiên dòng sét I_{ox} với khoảng cách x

Hình 3 trình bày sự biến thiên dòng sét I_{ox} với khoảng cách X tính từ điểm A. X là điểm cách xa nhất mà ở khoảng cách này một xung có biên độ lớn vô hạn bị suy giảm gây nên một độ dốc S_A chấp nhận được nhận tại điểm A.

Với một giá trị dòng sét lớn vô hạn I_{ox} , từ phương trình (7) giá trị của khoảng cách X được tính toán bằng:

$$X = \frac{1}{S_A \cdot k}$$

Do đó, công thức tính xấp xỉ là:

$$X = \left(1 - \frac{2 \cdot t_f \cdot S_A}{300 \cdot Z} \right) \left(\frac{1}{S_A \cdot k} \right), \text{ m} \quad (8)$$

Khảo sát một đoạn đường dây Δx của đường dây OA (Hình 2), từ phương trình (1) số lần sét đánh trên năm ΔN vào đoạn ΔX được xác định bằng biểu thức:

$$\Delta N = N_g \cdot (b + 28 \cdot H^{0,6}) \cdot (1 - S_f) \cdot 10^{-6} \cdot \Delta X$$

Vì vậy, số lần sét đánh trên năm vào đoạn Δx gây nên $\frac{de}{dt}$ lớn hơn S_A tại A là:

$$\Delta N_f = P_{iox} \cdot N_g \cdot (b + 28 \cdot H^{0,6}) \cdot (1 - S_f) \cdot 10^{-6} \cdot \Delta X$$

Bằng cách lấy tích phân trên khoảng cách X, tổng số lần xung sét nhận được tại điểm A trong một năm với $\frac{de}{dt}$ vượt quá giá trị S_A được tính toán từ biểu thức như sau:

$$N_f = N \cdot \int_0^x e^{-i(x)} \cdot dx, \text{ lần / năm} \quad (9)$$

Trong đó: $i(x) = 0,02878 \cdot \left(\frac{2 \cdot t_f}{Z} \right) \left(\frac{S_A}{1 - S_A \cdot k \cdot x} \right), \text{ kA}$.

Do thời gian trung bình giữa hai xung sét gây nên độ dốc lớn hơn S_A : $t_s = \frac{1}{N_f}$ nên tỉ lệ hư hỏng FR được tính toán bằng biểu thức sau:

$$FR = LF \cdot N_f \cdot 100\% \quad (10)$$

2.3. Bảo vệ với thiết bị có điện áp dư thấp

Điện áp dư của chống sét van đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ máy biến áp.

Với hầu hết các trường hợp, hệ số phân xạ tại máy biến áp $\beta = 1$, nếu điện áp dư của thiết

bị chống sét van $U_p \leq \frac{BIL}{2}$ thì hiệu quả bảo vệ đạt được là 100%.

Dòng cực đại qua thiết bị chống sét:

$$I_{AM} = \frac{(2U_L - U_p)}{Z}, \text{ kA} \quad (11)$$

Ở đây: U_L là mức cách điện đường dây, kV; U_p là điện áp dư của thiết bị chống sét, kV; BIL là mức cách điện cơ bản, kV; Z là trở kháng xung đường dây, Ω .

Có thể thấy, nếu U_p nhỏ thì dòng sét cực đại I_{AM} càng nhỏ, giá trị biên hạn an toàn PM càng tăng, việc bảo vệ hệ thống trung thế sẽ rất hiệu quả.

2.4. Ảnh hưởng của điện trở nối đất

Các máy biến áp phân phối đều được lắp đặt hệ thống điện cực nối đất. Khi dòng xung sét qua điện cực nối đất, giá trị của điện trở nối đất của các điện cực nối đất sẽ giảm dưới giá trị bình thường, do sự tăng ion hoá của đất. Mức độ giảm phụ thuộc vào những nhân tố như điện trở suất đất, số cọc đất đóng song song, hình dạng cọc, địa chất và dòng sét.

Đối với một đường dây trung thế với xà đỡ không được nối đất, mức cách điện xung lớn nhất vào khoảng từ 2700kV đến 3000KV.

Khi dòng sét chạy qua thiết bị chống sét van xuống đất, một điện áp được tạo ra qua điện trở của cọc nối đất, được xác định bởi :

$$V_{Rai} = R_{ai} \cdot I_{AM}, \text{ kV}$$

Ở đây: R_{ai} là điện trở nối đất chống sét, Ω ; I_{AM} là dòng lớn nhất đi qua chống sét van, kA.

Do vỏ máy biến áp cũng được đấu nối vào cùng hệ thống điện cực nối đất nên điện thế vỏ máy với đất $V_{T-E} = V_{Rai}$. Vì vậy, điện áp xung đầu cực máy biến áp đối với đất được xác định như sau :

$$V_{HV-E} = U_p + V_{Rai}, \text{ kV}$$

Do trung tính phía hạ áp của máy biến áp được nối đất riêng và xung sét không chạy qua bên này được nên điện áp xung của cuộn dây hạ thế so với đất chuẩn $V_{LV-E} = 0$ khi sét đánh ở xa.

Điều này dẫn đến điện áp xung của cuộn dây cao thế so với cuộn dây hạ thế V_{H-L} được xác định bằng biểu thức:

$$V_{H-L} = V_{HV-E} - V_{LV-E} = U_p + R_{ai} \cdot I_{AM}, \text{ kV} \quad (12)$$

Hơn nữa, điện áp xung của cuộn dây hạ thế so với vỏ máy V_{LV-T} được tính toán theo biểu thức sau:

$$V_{LV-T} = V_{LV-E} - V_{T-E} = R_{ai} \cdot I_{AM}, \text{ kV} \quad (13)$$

Từ phương trình (13) với giá trị biên hạn an toàn là 20%, giá trị đề nghị về điện trở nối đất xung được xác định tính theo biểu thức:

$$R_{ai} = \frac{(0.8 \times BIL - U_p)}{I_{AM}}, \Omega \quad (14)$$

3. CHƯƠNG TRÌNH POSCAL

3.1. Xác định khoảng cách lắp đặt hợp lý của thiết bị chống sét van

Xét đường dây phân phối 3 pha, điện áp 24kV có $H = 10,2\text{m}$, $b = 2,4\text{m}$, $S_f = 0,5$ và $Z = 450\Omega$. BIL của máy biến áp là 125kV và điện áp dư U_p của thiết bị chống sét là 79,9kV. Tỷ lệ hư hỏng $FR = 5\%$ và tuổi thọ máy biến áp $LF = 20$ năm. Vận tốc truyền sóng $v = 300\text{m}/\mu\text{s}$. Đường dây phân phối đặt ở Thành phố Hồ Chí Minh có các đặc điểm địa hình khí tượng như sau: điện trở suất của đất $\rho = 200\Omega\text{m}$; mật độ sét $N_g = 5,37$ lần/ km^2 .năm.

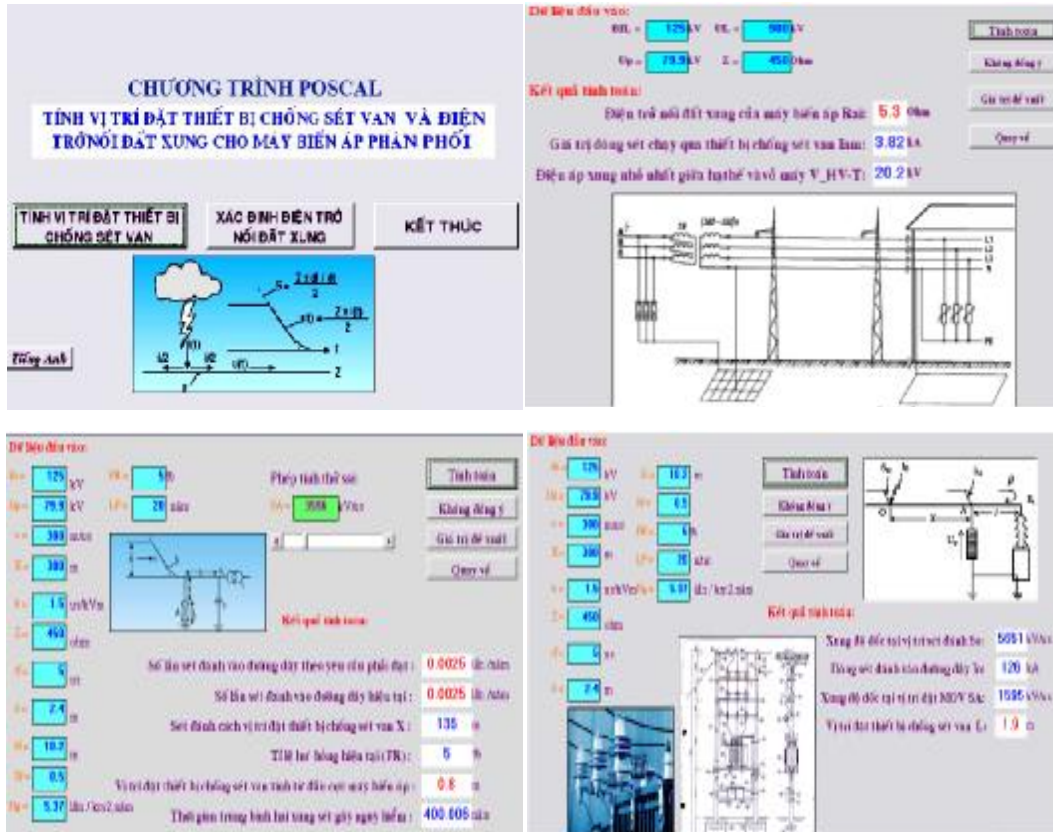
Cần xác định khoảng cách lắp đặt hợp lý giữa thiết bị chống sét van và đầu cực máy biến áp phân phối. Nhóm nghiên cứu đã xây dựng chương trình **POSCAL** cho phép xác định giá trị khoảng cách này theo cả hai phương pháp: phương pháp bảo vệ đơn giản và phương pháp bảo vệ cải tiến (Hình 4).

Kết quả tính toán ứng với số lần xung sét do thiết bị chống sét van nhận được trong một năm $N_f = 0,0025$ lần/năm như sau:

Phương pháp bảo vệ đơn giản: $L = 1,9\text{m}$ ứng với sóng có độ dốc $S_A = 1595\text{kV}/\mu\text{s}$

Phương pháp bảo vệ cải tiến: $L = 0,8\text{m}$ ứng với sóng có độ dốc $S_A = 3596\text{kV}/\mu\text{s}$

Như vậy, khi độ dốc xung sét càng cao thì giá trị L càng phải giảm để đảm bảo tuổi thọ máy biến áp theo yêu cầu định trước, ở đây là 20 năm.



Hình 4. Các giao diện tính toán của chương trình POSCAL

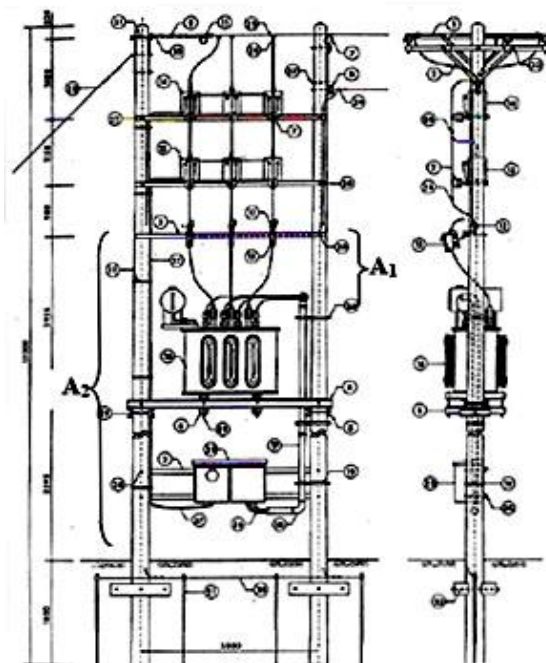
3.2. Áp dụng phân tích hư hỏng cho một máy biến áp

Hình 5 trình bày sơ đồ mặt cắt lắp đặt một trạm biến áp có cột cao 12m, với cách bố trí như sau, khoảng cách L giữa thiết bị chống sét van và đầu cực máy biến áp bằng tổng tất cả các đoạn A₁, A₂, A₃ (chiều cao thiết bị chống sét van), cụ thể là :

$$L = A_1 + A_2 + A_3 = 1,925 + 6,520 + 0,5 = 9\text{m}$$

Từ phương trình (6) tính được độ dốc S_A là 334kV/μs. Đối với dòng sét trong thực tế có thể lớn nhất là 300kA, từ phương trình (8) có thể tính được khoảng cách X. Thế những giá trị vào này phương trình (9), tính được N_f = 2,3344 lần /năm. Vì thế, máy biến áp này chỉ có thể

chịu một lần sét đánh hư hại trong $t_s = \frac{1}{N_f} = 0,428$ năm để có thể đảm bảo tuổi là 20 năm.



Hình 5. Sơ đồ mặt cắt trạm biến áp

4. KẾT LUẬN

§ Phương pháp xác định khoảng cách hợp lý giữa đầu cực máy biến áp và thiết bị chống sét van có xét đến các yếu tố ảnh hưởng như: mật độ sét đánh xuống đất, hình dạng của cột, sự che chắn của đối tượng khác, xác suất xuất hiện sét, giá trị hư hỏng ước tính của máy biến áp .v.v. nhằm đảm bảo tuổi thọ và mức cách điện định trước của máy biến áp đã được trình bày.

§ Chương trình POSCAL do nhóm nghiên cứu đã xây dựng trợ giúp người sử dụng nhanh chóng xác định giá trị khoảng cách hợp lý này.

§ Để bảo vệ chống sét lan truyền vào máy biến áp phân phối một cách hiệu quả, cần lựa chọn các thiết bị chống sét van có định áp dư ứng với xung dòng định mức nhỏ hơn 0,5 lần giá trị BIL cho phép của máy biến áp và bằng cách nối đất xà đỡ của đường dây phân phối.

Kết quả tính toán càng chính xác khi các thông số nhập vào chương trình POSCAL càng gần với các thông số thực tế của cấu hình lắp đặt.

STUDY EFFECT OF LIGHTNING ARRESTERS IN TRANSFORMER PROTECTION, ACCOUNTING INFLUENTIAL FACTORS

Quyên Huy Anh⁽¹⁾, Nguyen Phan Thanh⁽¹⁾, Nguyen Ngoc Au⁽¹⁾, Truong Ngoc Hung⁽²⁾

(1) Ho Chi Minh City of University Technical Education

(2)University of Industry Ho Chi Minh City

ABSTRACT: *The high voltage side of distribution transformers is usually protected against lightning surges by lightning arresters. In installation of lightning arresters, the separation distance between the lightning arrester and the high voltage bushing of transformer is importance factor. The new method for determination reasonable installation location of the lightning arrester, accounting technical - economic criteria and several influential factors such as the ground flash density, shielding factor, failure rate, lifetime of a transformer and earth resistance is presented in this paper. The installation of lightning arrester in 400kVA, 22/0.4kV distribution station in Ho Chi Minh City is also discussed and offered practical recommendations.*

Key words: *Lightning arrester, transformer, protection performance, effect factor, installation position.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].Hoàng Việt, *Kỹ thuật điện cao áp- Quá điện áp trong hệ thống điện, tập 2*, NXB ĐHQG Tp HCM, (2005).
- [2].ABB High Voltage Technologies Ltd, *Dimensioning, testing and application of metal oxide surge arresters in MV networks*, September (1994).
- [3].Andrzej Sowa & Jaroslaw Wiater, *Evaluation of arrester's protection levels during lightning strikes to overhead medium voltage lines*, Electrical Department, Bialystok Technical University
- [4].AJ Eriksson, Sen Mem and D V Meal., *Lightning performance and overvoltage surge studies on a rural distribution line*, IEE Proc. Vol. 129 Pt. C, No2 March (1982).
- [5].Charles W Plummer, *Reduction in distribution transformer failure and nuisance outages*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 10, No 2, April (1995).
- [6].J R Lucas, *High Voltage Engineering*, University of Moratuwa, (1995).
- [7].*Working group report: Calculating the lightning performance of distribution lines*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 5, No. 3, July (1990).