

## TỐI ƯU HOÁ VỊ TRÍ LẮP ĐẶT CHỐNG SÉT VAN TRONG LƯỚI PHÂN PHỐI

### DETERMINING OPTIMAL SURGE ARRESTER'S LOCATION IN DISTRIBUTION NETWORK

PGS.TS. Quyền Huy Ánh  
ThS. Nguyễn Phan Thanh  
Nguyễn Công Tráng  
ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM

#### TÓM TẮT

Để bảo vệ sét đánh lan truyền vào trạm biến áp phân phối, phía cao thế của trạm thường sử dụng chống sét van. Việc xác định khoảng cách hợp lý giữa chống sét van và đầu cực máy biến áp nhằm bảo vệ hiệu quả máy biến áp và các thiết bị đóng cắt trong trạm là rất cần thiết. Bài báo này trình bày phương pháp mới để tính khoảng cách phân cách và thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng (MTBF) của máy biến áp với các cấu hình khác nhau do sét đánh nhằm đảm bảo tuổi thọ máy biến áp theo yêu cầu định trước có xét đến các yếu tố ảnh hưởng như: hệ số che chắn của vật thể, mật độ sét khu vực, giá trị điện cảm của dây nối. Chương trình OPSOLA được xây dựng giúp người sử dụng dễ dàng xác định vị trí lắp đặt hợp lý chống sét van và kiểm tra MTBF đối với cấu hình trạm có sẵn.

**Từ khoá:** Chống sét van, máy biến áp, vị trí lắp đặt.

#### ABSTRACT

To protect the distribution substation from lightning overvoltage, the lightning arrester is installed at the high voltage side of transformers. The determination of reasonable distance between lightning arrester and terminals transformer to efficiently protect the transformer and switching devices of the substations is very necessary. This paper presents a new method for calculating the separated distance and the Mean Time Between Failure (MTBF) of the transformer with different configurations to assure the life of transformer according to given requirement and with consideration of the affected factors such as the shielding factor of the object, areas ground flash density, and the inductance value of connected wires. The OPSOLA program is built to help the users to easily determine the appropriate installed position of lightning arrester and check MTBF for the existing configuration of substation.

**Keywords:** Lightning arrester; transformer; installed position.

#### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo yêu cầu phối hợp cách điện và để đảm bảo yêu cầu kinh tế, mức cách điện của trạm được chọn thấp hơn mức cách điện đường dây. Vì vậy, trạm là chỗ yếu trong cách điện của hệ thống và quá áp do xung sét lan truyền theo đường dây vào có thể gây nguy hiểm cho cách điện của trạm, vì biên độ quá áp thường lớn hơn mức cách điện xung của trạm.

Đối với trạm phân phối, biện pháp chủ

yếu để bảo vệ trạm chống xung sét lan truyền từ đường dây vào trạm là sử dụng chống sét van. Trong đó, khoảng cách giữa chống sét van và đầu cực cao thế của máy biến áp là hết sức quan trọng. Nếu chống sét van đặt tại đầu cực máy biến áp thì máy biến áp được bảo vệ an toàn nhất, nhưng chống sét van còn phải bảo vệ cho toàn bộ cách điện của trạm, cho nên trong trường hợp tổng quát này giữa

chống sét van và đầu cực máy biến áp cần có một khoảng cách phân cách.

Hiện nay, vị trí chống sét van ở trạm phân phối thường được xác định dựa trên điện áp xung tại đầu cực máy biến áp, tức là chỉ quan tâm đến vấn đề kỹ thuật; và có xét đến các yếu tố ảnh hưởng, nhược điểm của phương pháp này là hệ số che chắn chọn theo kinh nghiệm và chỉ xét cấu hình trạm một máy biến áp.

Bài báo này giới thiệu phương pháp xác định vị trí lắp đặt hợp lý của chống sét van bảo vệ cho trạm biến áp phân phối dựa trên

$$N = N_g \left( \frac{28h^{0.6} + b}{10} \right) (1 - S_f) = N_g \left( \frac{28h^{0.6} + b}{10} \right) [1 - (S_{fL} + S_{fR})] \quad (1)$$

Ở đây: h là chiều cao cột (trụ), m;  $N_g$  là mật độ sét trung bình hằng năm, lần/km<sup>2</sup>.năm; b là khoảng cách hai dây ngoài cùng, m; đối với hầu hết đường dây phân phối thì  $b \approx 0$ ;  $S_f$  là hệ số che chắn tổng;  $S_{fL}$ ,  $S_{fR}$  lần lượt là hệ số che chắn ở phía bên trái và bên phải đường dây.

$$S_f = S_{fL} + S_{fR}$$

$S_f = 0$  đối với đường dây phân phối không được che chắn bởi các vật thể gần nó;

tiêu chuẩn IEEE, nhưng có cải tiến bằng cách xét thêm hệ số che chắn, mật độ sét ở khu vực đặt trạm, giá trị điện cảm (L) của dây dẫn nối ở hai đầu chống sét van.

## II. CƠ SỞ TÍNH TOÁN

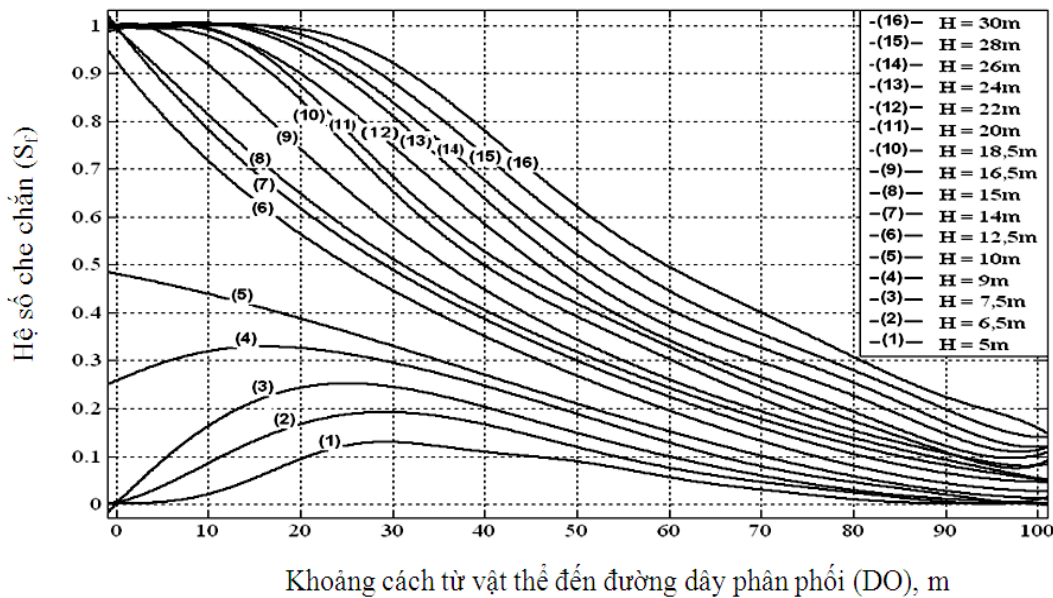
### 2.1 Yếu tố che chắn

Các vật thể (cây cối, các công trình) có thể đóng một vai trò quan trọng trong việc làm giảm đáng kể số lần sét đánh lên đường dây.

Số lần sét đánh vào đường dây N (số lần sét đánh/100 km/năm) được xác định bằng phương trình (1):

$S_f = 1$  đối với đường dây phân phối được bảo vệ hoàn toàn từ các vật thể gần nó.

Trên cơ sở áp dụng phương pháp hồi quy phi tuyến, xây dựng được quan hệ giữa hệ số che chắn ( $S_f$ ), chiều cao vật thể (H) và khoảng cách từ vật thể đến đường dây phân phối (DO) tạo điều kiện thuận lợi cho việc tra cứu hệ số  $S_f$  hay lập trình toán tự động sau này. 16 quan hệ này được trình bày ở Hình 1.

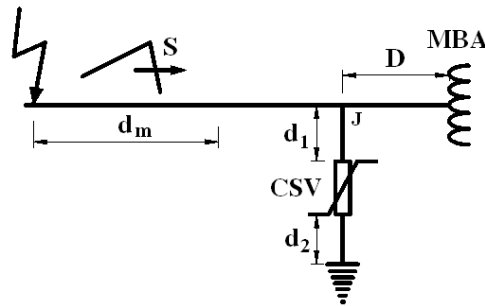


Hình 1. Quan hệ giữa  $S_f$ , DO và H

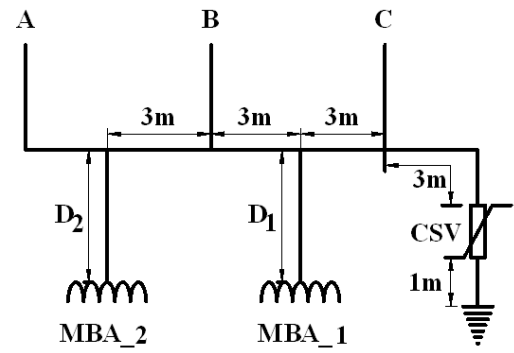
### 2.2 Phương pháp xác định vị trí đặt chống sét van

Dưới đây, trình bày giải thuật xác định vị trí đặt chống sét van đối với cấu hình trạm một máy biến áp (Khoảng cách D, Hình 2) và

cấu hình hai máy biến áp (Khoảng cách  $D_1$  và  $D_2$ , Hình 3).



Hình 2. Trạm 1 đường dây và 1 máy biến áp



Hình 3. Trạm 3 đường dây và 2 máy biến áp

### a. Cấu hình trạm một máy biến áp và một đường dây

**Bước 1.** Khoảng cách từ trạm đến chỗ sét đánh (phóng điện):

$$d_m = \frac{1}{(\text{MTBF}) \cdot \left(\frac{N}{100}\right)}, \text{ km} \quad (2)$$

Ở đây: MTBF là thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng, năm.

**Bước 2.** Độ gia tăng điện áp sóng tới tại J:

$$S_J = S = \frac{K_c}{d_m}, \text{ kA}/\mu\text{s} \quad (3)$$

Ở đây: S là độ gia tăng điện áp sóng tới đường dây, kA/ $\mu$ s;  $K_c$  là hằng số suy giảm do vàng quang, kV.km/ $\mu$ s.

**Bước 3.** Giá trị điện cảm của dây dẫn nối ở hai đầu chống sét van:

$$L = (d_1 + d_2) \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{D_{123}}{r}, \mu\text{H} \quad (4)$$

**Bước 4.** Điện áp băng ngang qua chống sét van từ J đến đất:

$$V_{sa} = V_a + L \cdot \frac{2S_J}{Z}, \text{ kV} \quad (5)$$

Ở đây:  $V_a$  là mức bảo vệ đầu sóng (FOW) của chống sét van tại 0,5 $\mu$ s, kV;  $d_1$  là khoảng cách giữa điểm J và chống sét van, m;  $d_2$  là khoảng cách từ chống sét van và mặt đất, m;  $D_{123}$  là khoảng cách trung bình hình học 3 pha từ J đến mặt đất, m; r là bán kính dây dẫn từ J đến mặt đất, m; Z là tổng trở sóng đường

dây,  $\Omega$ .

**Bước 5.** Điện áp chịu đựng cực đại của máy biến áp:

$$V_T = \frac{CWW}{PR_T} = \frac{1,1 \cdot \text{BIL}}{PR_T}, \text{ kV} \quad (6)$$

Ở đây: CWW là đỉnh sóng chịu đựng được của máy biến áp, kV; BIL là mức cách điện xung cơ bản của máy biến áp, kV;  $PR_T$  là hệ số bảo vệ máy biến áp, thường chọn  $\geq 1,15$ .

**Bước 6.** Khoảng cách phân cách cho phép cực đại giữa J và đầu cực máy biến áp:

$$D = \frac{0,385 \cdot C \cdot V_{sa}}{S_J} \cdot \frac{V_T - V_{sa}}{2,92 \cdot V_{sa} - V_T}, \text{ m} \quad (7)$$

Ở đây: C là tốc độ truyền sóng trên đường dây,  $C = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$ .

### b. Cấu hình trạm hai máy biến áp và ba đường dây

**Bước 1.** Loại bỏ máy biến áp không cần xem xét và xác định đường dây sóng sét đến.

**Bước 2.** Xác định các thông số sau:

- Xác định điểm nút J, nơi mà điểm chung giữa máy biến áp, chống sét van và đường dây sóng sét truyền đến.
- Xác định khoảng cách D từ J đến đầu cực máy biến áp.
- Xác định khoảng cách  $d_1$  từ J đến đầu cực chống sét van.

- Xác định khoảng cách  $d_2$  từ chống sét van và mặt đất.

**Bước 3.** Loại bỏ tất cả các đường dây kết nối đến  $d_1$

**Bước 4.** Tính tốc độ tăng điện áp tại điểm nút J:

$$S_J = S \cdot \frac{3}{N_{tt} + 2}, \text{ kA}/\mu\text{s} \quad (8)$$

Ở đây:  $N_{tt}$  là số đường dây tính toán (kể cả đường dây sóng sét truyền đến) được kết nối đến thanh góp của trạm.

**Bước 5.** Quá trình xác định  $D_1$  và  $D_2$  được tính toán tương tự như trường hợp trạm một đường dây và một máy biến áp từ bước 4 đến bước 6.

### 2.3 Kiểm tra MTBF của trạm có cấu hình và vị trí đặt chống sét van định trước

Phần này giới thiệu phương pháp xây dựng quan hệ MTBF của máy biến áp theo mật độ sét của từng khu vực nhằm kiểm tra yêu cầu đảm bảo tuổi thọ máy biến áp.

Từ biểu thức (5) và (7), tìm được:

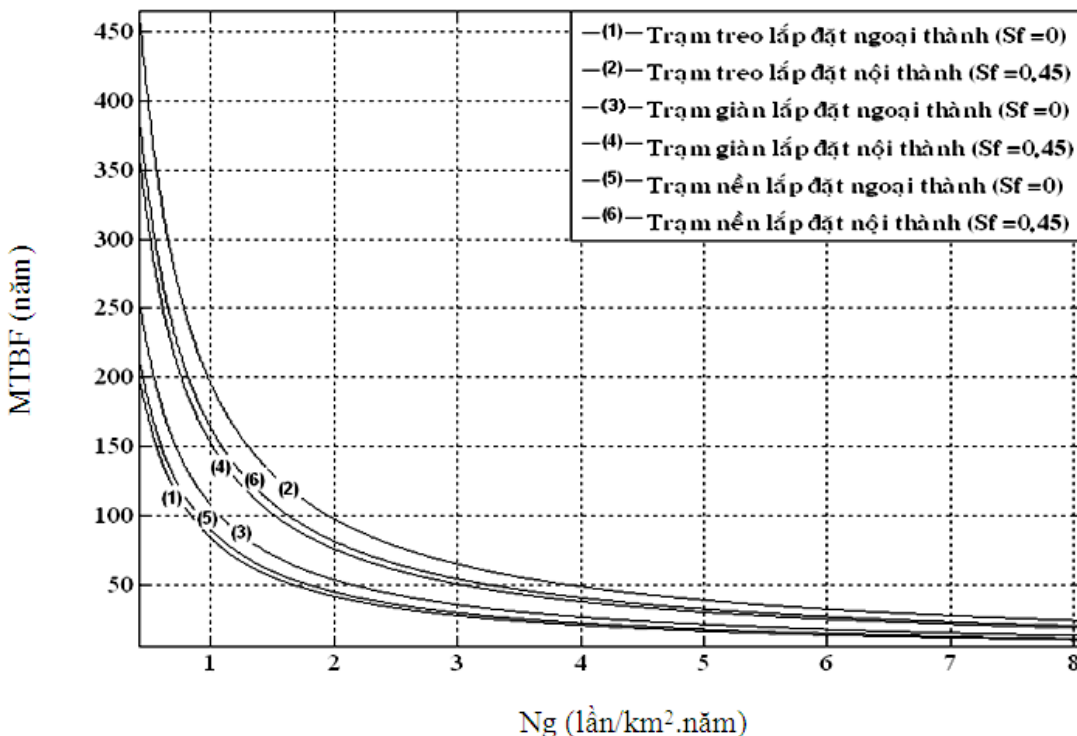
$$\left( \frac{5,84.LD.Z + 1,54.CL^2}{Z^2} \right) S_J^2 + \left( \frac{2,92.D.V_a.Z - D.V_T.Z - 0,77.L.C.V_T + 1,54.L.V_a.C}{Z} \right) S_J + 0,385.C.V_a(V_a - V_T) = 0 \quad (9)$$

Đây là dạng phương trình bậc hai:  $aS_J^2 + bS_J + c = 0$ , giải phương trình này tìm được độ dốc  $S_J$  (kV/ $\mu$ s).

Thời gian trung bình giữa 2 lần hư hỏng:

$$MTBF = \frac{1000.S_J}{N_g.K_c.(28h^{0,6} + b).(1 - S_f)}, \text{ năm} \quad (10)$$

Đồ thị 6 quan hệ giữa mật độ sét khu vực và thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng (Hình 4) giúp người vận hành có thể kiểm tra MTBF với các loại trạm đặt ở các khu vực khác nhau nhằm kiểm tra yêu cầu đảm bảo tuổi thọ máy biến áp.



Hình 4. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa MTBF,  $S_f$  và  $N_g$  của 3 loại trạm biến áp

### III. CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN

Để tiện cho việc xác định chính xác khoảng cách hợp lý từ chống sét van đến đầu cực máy biến áp hoặc kiểm tra MTBF của máy biến áp tùy thuộc vào từng loại trạm, từng khu vực, chương trình OPSOLA được xây dựng cho phép xác định giá trị khoảng cách này đối với cầu hình một máy biến áp, hai máy biến áp (Hình 5) và kiểm tra MTBF đối với từng loại trạm (trạm treo, trạm giàn, trạm nền) (Hình 6). Dưới đây là một số bài toán áp dụng.

#### 3.1 Xác định khoảng cách tối ưu vị trí chống sét van cho các cấu hình trạm biến áp

a. Số liệu đầu vào: Xét hệ thống đường dây phân phối và máy biến áp ba pha đặt tại Thành phố Hồ Chí Minh có điện áp 24 kV,  $h=10\text{m}$ ,  $b\approx 0$ ,  $\text{MTBF}=20\text{năm}$ ,  $N_g=5,37\text{lần/km}^2\cdot\text{năm}$ ,  $C=300\text{m}/\mu\text{s}$ , số đường dây/pha bằng 1,  $d_1=1,5\text{m}$ ,  $d_2=8,5\text{m}$ , chọn loại dây dẫn từ J đến mặt đất là AC240 bán kính  $r=16\text{mm}$  và  $D_{123} = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3} = \sqrt[3]{0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,4} \approx 0,88 \text{ m} = 88 \text{ cm}$ .

Phía bên phải đường dây: có chiều cao trung bình của các vật thể (các cây cối, các toà nhà) là 7,5m và khoảng cách từ các vật thể đó đến đường dây là 1,5m.

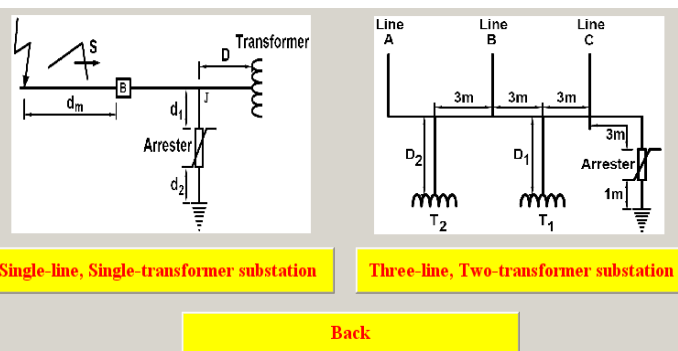
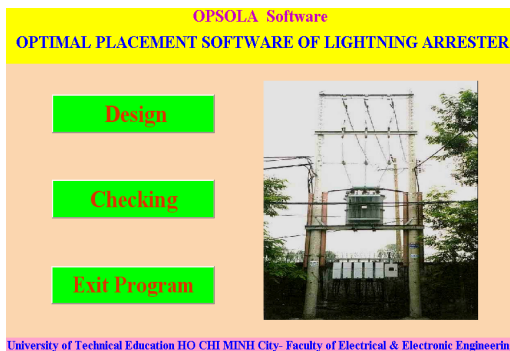
Phía bên trái đường dây: có chiều cao trung bình của các vật thể (các cây cối, các toà nhà) là 10m và khoảng cách từ các vật thể đó đến đường dây là 35m.

Ngoài ra, do khoảng cách giữa các nút (điểm) trên đường dây gần nhau nên đối với trạm hai máy biến áp có thể xem hệ số che chắn của các đường dây đến là như nhau.

#### b. Kết quả tính toán:

+ Đối với trạm 1 đường dây và 1 máy biến áp:  $D=4,35\text{m}$  ứng với sóng có độ dốc  $S_j = 1198,6 \text{ kV}/\mu\text{s}$ , khoảng cách từ trạm đến chỗ sét đánh là  $d_m=125\text{m}$  và số lần sét đánh vào đường dây  $N = 39,95 \text{ lần}/100\text{km}/\text{năm}$ .

+ Đối với trạm 3 đường dây và 2 máy biến áp: Khoảng cách từ các máy biến áp đến trục chính của đường dây lần lượt là  $D_1=12,5\text{m}$  và  $D_2=2,95\text{m}$ .



#### Single-line, Single-transformer Substation

**INPUT DATA**

Un	24	kV	h	10	m
Z	450	ohm	b	0	m
BIL	150	kV	Ng	5,37	flashes/km <sup>2</sup> /yr
C	300	m/us	MTBF	20	year
Kc	150	kV.km/us	DO_left	1.5	m
Va	46	kV	HO_left	7.5	m
d1	1.5	m	DO_right	35	m
d2	8.5	m	HO_right	10	m

**OUTPUT DATA**

Rate of rise of incoming surge at junction J (S)	1198.6	kV/us
Distance from station to flashover (dm)	0.1251	km
Flashes collection rate (N)	39.956	flashes/100 km/yr
Distance from J to transformer (D)	4.3543	m

**NOTES**

Un : System voltage  
 BIL: Basic lightning impulse insulation level of the transformer  
 Z: Surge impedance of line conductor or substation bus  
 C: Velocity of light  
 Kc: is the corona constant  
 Va: Surge arrester FOW protective level at 0.5 us  
 d1: Conductor length between Distribution Line and arrester terminal  
 d2: Conductor length between surge arrester and ground  
 h: is the pole height  
 b: is the structure width  
 Ng: is the ground density  
 MTBF: Mean time between failures  
 DO: Distance of Object from the Distribution Line  
 HO: Object Height

INPUT DATA		Three-line, Two-transformer Substation		NOTES
Un	24 kV	Ng	5,37 flashes/km <sup>2</sup> /yr	Un : System voltage
BIL	150 kV	MTBF_T1	20 year	BIL: Basic lightning impulse insulation level of the transformer
Z	450 ohm	MTBF_T2	20 year	Z: Surge impedance of line conductor or substation bus
Kc	150 kV.km/us	DO_left	1.5 m	C: Velocity of light
C	300 m/us	HO_left	7.5 m	Kc: is the corona constant
Va	46 kV	DO_right	35 m	Va: Surge arrester FOW protective level at 0.5 us
h	10 m	HO_right	10 m	h: is the pole height
b	0 m			b: is the structure width
				Ng: is the ground density
				MTBF: Mean time between failures
				DO: Distance of Object from the Distribution Line
				HO: Object Height
OUTPUT DATA				
Distance from MAIN BUS to transformer T1 (D1)		12.447 m		
Distance from MAIN BUS to transformer T2 (D2)		2.9486 m		
<input type="button" value="Calculate"/>		<input type="button" value="Save"/>		<input type="button" value="Back"/>

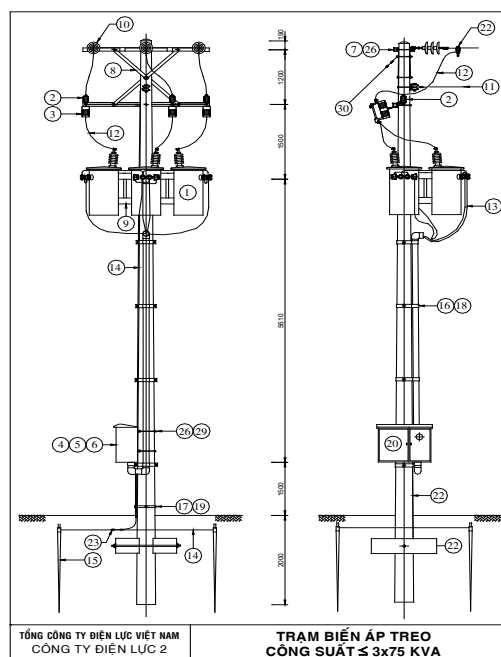
Hình 5. Các giao diện tính toán của chương trình OPSOLA để xác định vị trí chống sét van

### 3.2 Kiểm tra MTBF của máy biến áp ở trạm biến áp treo khu vực Tp.HCM

a. Số liệu đầu vào: Xét trạm biến áp treo có công suất  $S_{MBA} \leq 3 \times 75 \text{kVA}$ , được lắp đặt tại thành phố Hồ Chí Minh, với khoảng cách từ chống sét van đến đầu cực máy biến áp là  $D=1,5\text{m}$ ; khoảng cách từ đường dây đến đầu cực chống sét van là  $d_1=1,5\text{m}$  và khoảng cách từ chống sét van đến mặt đất là  $d_2=8,5\text{m}$  (Hình 6). Các thông số còn lại của cấu hình được


trình bày trên giao diện (Hình 7).

b. Kết quả tính toán: Giá trị  $MTBF=29,98$  năm ứng với độ dốc  $S_p=1792,2\text{kV}/\mu\text{s}$  và  $d_m=83,4\text{m}$ . Mặt khác, tuổi thọ máy biến áp theo yêu cầu định trước là 20 năm nên vị trí đặt chống sét van ở đây là hợp lý trong điều kiện mật độ sét  $N_g=5,37\text{lần}/\text{km}^2.\text{năm}$ .



Hình 6. Sơ đồ mặt cắt trạm biến áp treo

**Checking - Single Line Single Transformer Substation**

<b>INPUT DATA</b>		<b>NOTES</b>			
Un <input type="text" value="24"/> kV	d1 <input type="text" value="1.5"/> m	Un : System voltage BIL: Basic lightning impulse insulation level of the transformer Z: Surge impedance of line conductor or substation bus C: Velocity of light Kc: is the corona constant Va: Surge arrester FOW protective level at 0.5 us h: is the structure width b: is the pole height d1: Conductor length between Distribution Line and arrester terminal d2: Conductor length between surge arrester and ground D: Distance from Arrester to Transformer MTBF: Mean time between failures Ng: is the ground density DO: Distance of Object from the Distribution Line HO: Object Height			
BIL <input type="text" value="150"/> kV	d2 <input type="text" value="8.5"/> m				
Z <input type="text" value="450"/> ohm	D <input type="text" value="1.5"/> m				
C <input type="text" value="300"/> m/us	Ng <input type="text" value="5.37"/> flashes/km <sup>2</sup> /yr				
Kc <input type="text" value="150"/> kV.km/us	DO_left <input type="text" value="1.5"/> m				
Va <input type="text" value="46"/> kV	HO_left <input type="text" value="7.5"/> m				
h <input type="text" value="10"/> m	DO_right <input type="text" value="35"/> m				
b <input type="text" value="0"/> m	HO_right <input type="text" value="10"/> m				
<b>OUTPUT DATA</b>					
Rate of rise of incoming surge at junction J (S) <input type="text" value="1797.2"/> kV/us					
Distance from station to flashover (dm) <input type="text" value="0.0834"/> km					
Mean time between failures (MTBF) <input type="text" value="29.986"/> years					
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Back"/>					

Hình 7. Giao diện kiểm tra MTBF của chương trình OPSOLA

#### IV. KẾT LUẬN

▪ Đề xuất phương pháp xác định vị trí lắp đặt hợp lý của chống sét van bảo vệ trạm biến áp phân phối với các cấu hình khác nhau có xét đến các yếu tố ảnh hưởng như: hệ số che chắn của vật thể, mật độ sét khu vực, giá trị điện cảm của dây nối nhằm đảm bảo tuổi thọ của máy biến áp theo yêu cầu định trước.

▪ Xây dựng được 16 đường đặc tuyến quan hệ giữa chiều cao vật thể che chắn, khoảng cách từ đường dây đến vật thể che chắn và hệ số che chắn đối với đường dây phân phối và 6 đường đặc tuyến quan hệ giữa MTBF, hệ số che chắn và mật độ sét khu vực tạo điều kiện kiểm tra khoảng cách phân cách D và MTBF bằng tay hay tự động.

▪ Chương trình OPSOLA giúp người sử dụng thuận tiện trong việc xác định khoảng cách phân cách hợp lý, đồng thời kiểm tra được MTBF của máy biến áp đối với cấu hình trạm có sẵn nhằm đảm bảo tuổi thọ máy biến áp theo yêu cầu định trước.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- ABB *Dimensioning, Testing and Application of Metal Oxide Surge Arresters in Medium Voltage Networks*, September (2009).
- IEEE Std C62-22-2009 IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating Current Systems.
- IEEE Std 1410-2004 (Revision of IEEE Std 1410-1997) IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.
- IEEE Std C57.12.00-1993 IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.
- IEEE Std C62.11-1993 IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating Current Power Circuits.
- Quyền Huy Ánh, Nguyễn Phan Thanh, Nguyễn Ngọc Âu, Trương Ngọc Hưng “Nghiên cứu hiệu quả bảo vệ máy biến áp của thiết bị chống sét van có xét đến các yếu tố ảnh hưởng”, *Tạp chí Phát triển KH&CN*, tập 12, số 08 – 2009.