

SỐ LẦN CẮT ĐIỆN ĐƯỜNG DÂY DO SÉT CÓ XÉT ĐẾN CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG

LIGHTNING TRIPPING NUMBER OF TRANSMISSION LINE CONSIDERING INFLUENCE FACTORS

Phan Đình Chung

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; pdchung@dut.udn.vn

Tóm tắt - Bài báo đã sử dụng cách tính số lần cắt điện của đường dây theo phương pháp chia nhỏ đường dây. Ngoài ra, bài báo cũng xét đến mức độ ảnh hưởng của thông số thiết kế và thông số tự nhiên của đường dây đến số lần sự cố do sét gây ra trên các vị trí cột của đường dây. Từ kết quả tính toán, ta thấy rằng suất cắt/ số lần cắt điện do sét gây ra trên đường dây có xét đến tất cả các yếu tố trên sẽ cao hơn nhiều so với phương pháp tính trung bình và các vị trí cột khác nhau sẽ có số lần sự cố khác nhau. Do vậy, khi xét đến biện pháp giảm suất cắt đường dây cần phải tính số lần mất điện theo từng vị trí cột để biết vị trí cột nào có số lần sự cố lớn nhất và từ đó đề xuất giải pháp cải tạo vị trí cột đó cho phù hợp.

Từ khóa - Cao trình; số lần cắt điện do sét; mật độ sét; vị trí cột; chiều cao cột

1. Đặt vấn đề

Đường dây truyền tải thường có độ cao khá lớn khoảng vài chục mét so với đất và kéo dài từ vài kilômét đến hàng trăm kilômét. Do vậy, đường dây có thể đi qua các khu vực có điều kiện tự nhiên khác nhau như đồi núi, đồng bằng... Trong quá trình làm việc, sét có thể đánh lân cận đường dây hoặc đánh trực tiếp vào đường dây. Dù sét đánh lân cận hoặc đánh trực tiếp vào đường dây, quá điện áp đều xuất hiện trên cách điện đường dây. Nếu quá điện áp này vượt quá khả năng chịu đựng của cách điện đường dây, phóng điện tia lửa trên đường dây sẽ hình thành và sau đó có thể hình thành phóng điện hồ quang xoay chiều. Với đường dây thuộc lưới điện trung tính trực tiếp nối đất, việc xuất hiện hồ quang xoay chiều này được xem như sự cố ngắn mạch tại đó. Kết quả là máy cắt đầu đường dây sẽ cắt nhờ vào hệ thống bảo vệ rơ le và gây mất điện đường dây.

Nhìn chung, khi sét đánh vào đường dây, sét có thể đánh vòng qua dây chống sét vào dây dẫn, sét đánh vào khu vực đỉnh cột và sét đánh vào khoảng vượt. Để đánh giá hiệu quả của việc bảo vệ chống sét cho đường dây, người ta sẽ quan tâm đến tất cả các trường hợp sét đánh trên bằng cách tính tổng suất cắt hoặc tổng số lần cắt điện của đường dây do sét gây ra. Nhiều nghiên cứu về suất cắt đường dây tải điện đã được xuất bản [1-6]. Trong [4-6], tác giả đã đề xuất cách tính số lần sét đánh vòng qua dây chống sét vào dây dẫn theo mô hình điện hình học. Ở tài liệu [1], tác giả đề xuất cách tính suất cắt cho đường dây cho cả 3 trường hợp sét đánh vào dây. Để giảm suất cắt đường dây, người ta hướng đến việc giảm điện trở nối đất tại các cột có điện trở chưa đạt qui định, giảm góc bảo vệ hoặc treo chống sét van trên đường dây. Tuy nhiên, hiện nay chưa có tài liệu nào xác định cụ thể vị trí cột để áp dụng các biện pháp.

Một số nghiên cứu sử dụng phần mềm EMTP (Electromagnetic Transient Program) để đánh giá hiện tượng

Abstract - This research has studied a method to calculate the lightning tripping number of a transmission line by dividing this long line into many small units. In addition, the paper also considers the influence of design parameters and natural parameters of the line on the number of incidents caused by lightning on the tower positions of the line. From the calculation results, it can be seen that by considering all the above influence factors, the lightning tripping rate/lightning tripping number of the transmission line will be much higher than that using the average calculation method. Moreover, the number of incidents caused by lightning at different tower positions is so different. Therefore, when we need to reduce the lightning tripping rate or lightning incident number of a transmission line, it is necessary to calculate the incident number at each tower position in order to propose appropriate solutions.

Key words - Altitude; lightning incident number; lightning density; tower position; tower height

sét đánh trên đường dây. Trong [7-10], tác giả đã mô phỏng phân bố điện áp trên các chuỗi sứ cột điện khi sét đánh vào đỉnh cột và [9-10] đã xác định điện áp trên chuỗi cách điện các pha khi sét đánh vào đỉnh cột. Tuy nhiên, EMTP chỉ xét đến quá trình truyền sóng trên bản thân cột điện và đường dây, chưa xét đến điện áp cảm ứng trên dây dẫn, dây chống sét do khe sét gây ra. Vì vậy, điện áp đặt trên chuỗi sứ ở pha thấp nhất thường cao hơn so với dây pha trên cùng [9-10]. Ở nghiên cứu [9-10], tác giả còn đề xuất việc lắp đặt chống sét van và đánh giá việc lắp đặt chống sét van dựa trên kết quả mô phỏng từ phần mềm EMTP. Hiện nay, chưa có nghiên cứu nào xét đến ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên đến số lần cắt điện đường dây.

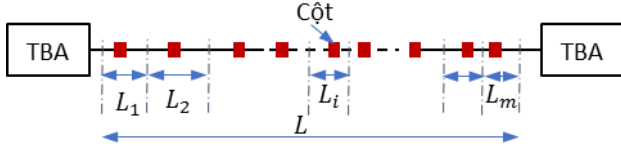
Nghiên cứu này, sử dụng phương pháp chia đường dây thành các đoạn nhỏ để tính số lần sự cố (cắt điện) do sét tại mỗi vị trí cột. Từ đó, đánh giá ảnh hưởng của thông số thiết kế và yếu tố tự nhiên đến số lần cắt điện đường dây do sét gây ra. Tác giả tính số lần cắt điện đường dây có xét đến ảnh hưởng thông số thiết kế và yếu tố tự nhiên. Nhờ vào kết quả tính toán, sẽ xác định vị trí cột cần phải thực hiện cải tạo nhằm giảm số lần cắt đường dây.

2. Số lần cắt điện đường dây do sét theo phương pháp chia nhỏ đường dây

Ở đây, chỉ xét đến đường dây có treo dây chống sét, sét đánh vào đường dây và tính số lần cắt điện đường dây do phóng điện trên chuỗi sứ, không xét đến phóng điện trong khoảng không khí giữa dây dẫn và dây chống sét.

Thực tế đường dây truyền tải thường có chiều dài lớn, đi qua nhiều địa hình khác nhau nên thông số tại các cột điện đường dây (chiều cao cột, khoảng vượt, kết cấu chuỗi sứ, vị trí cột, hệ thống nối đất...) khác nhau. Như vậy, để tính số lần cắt điện của đường dây do sét gây ra, ta có thể chia đường dây thành nhiều đoạn nhỏ và số lần cắt điện

đường dây do sét là tích phân số lần cắt điện đường dây do sét gây ra của tất cả các đoạn đường dây.



Hình 1. Chia nhỏ đường dây

Giả sử đường dây được chia làm thành m đoạn nhỏ, mỗi đoạn nhỏ sẽ bao gồm 1 cột và 2 nửa khoảng vượt 2 bên của cột, như Hình 1. Tương tự [1], số lần sự cố tại cột thứ i bất kỳ trên đường dây (sẽ bao gồm 3 trường hợp sét đánh) được tính

$$n_i = N_i(v_{v,i}v_{pd}^{v,i} + (1 - \frac{h_{c,i}}{L_{kv,i}})v_{pd}^{kv,i} + \frac{h_{c,i}}{L_{kv,i}}v_{pd}^{dc,i})\eta_i, (1)$$

trong đó:

$v_{pd}^{v,i}, v_{pd}^{kv,i}, v_{pd}^{dc,i}$: Xác suất phóng điện qua chuỗi cách điện khi sét đánh vòng, sét đánh vào khoảng vượt và sét đánh vào đỉnh cột ứng với cột thứ i ,

$L_{kv,i}$: Chiều dài khoảng vượt tại cột thứ i [m],

η_i : Xác suất phóng điện tia lửa trên chuỗi sứ tại cột thứ i , được tính như [1],

$v_{v,i}$: Xác suất sét đánh vòng tại đoạn đường dây i , xác suất này phụ thuộc vào góc bảo vệ của dây chống sét đối với dây dẫn α_i và độ cao cột $h_{c,i}$ như

$$\lg v_{v,i} = \alpha_i \frac{\sqrt{h_{c,i}}}{90} - 4, (2)$$

N_i : số lần sét đánh vào đường dây [lần/năm]. Chú ý, ở đây, $v_{pd}^{v,i}, v_{pd}^{kv,i}, v_{pd}^{dc,i}$ được tính như [1]. Theo [1] số lần sét đánh vào đường dây được tính

$$N_i = N_{s,i}(6h_{tb,i} + b_i)L_{kv,i} (3)$$

với

$h_{tb,i}, b_i$ và $L_{kv,i}$: tương ứng là độ treo cao trung bình của dây chống sét, khoảng cách 2 dây chống sét và chiều dài khoảng vượt tại đoạn thứ i [km],

$N_{s,i}$: là số lần sét đánh xuống đất tính trên 1km^2 trong năm [(lần/ km^2 /năm)]. Theo [11], $N_{s,i}$ được tính theo số ngày dông sét theo từng khu vực. Ở Việt Nam, chúng ta có thể tính theo [12, 13].

Như vậy, số lần cắt điện đường dây n_{dz} [lần/năm] có thể tính

$$n_{dz} = \int_0^m n_i dm = \sum_{i=1}^m n_i. (4)$$

3. Các yếu tố ảnh hưởng đến suất cắt đường dây

3.1. Thông số thiết kế đường dây

Các thông số thiết kế đường dây được xem xét trong nghiên cứu này bao gồm: chiều cao cột, chiều dài khoảng vượt, điện trở nối đất cột.

3.1.1. Chiều cao cột

Theo (3), rõ ràng độ cao cột so với mặt đất càng cao thì diện tích thu hút tia tiên đạo càng lớn vì vậy số lần cắt điện do sét tại vị trí cột đó càng cao. Ngoài ra, chiều cao cột còn ảnh hưởng đến tổng trở sóng của dây dẫn, hệ số ngẫu hợp giữa các dây, điện áp cảm ứng giữa khe sét và dây dẫn. Như vậy, trên cùng 1 đường dây nhưng các vị trí cột có độ cao

cột khác nhau thì số lần sự cố do sét sẽ khác nhau.

3.1.2. Chiều dài khoảng vượt

Theo (3), chiều dài khoảng vượt lớn sẽ dẫn đến số lần sét đánh vào khoảng vượt lớn. Tuy nhiên, khoảng vượt lớn sẽ ảnh hưởng đến số lần sét đánh vào khoảng vượt, độ võng của dây, thời gian sóng phản xạ từ cột lân cận trở về và từ đó sẽ ảnh hưởng đến xác suất phóng điện tia lửa. Như vậy, số lần cắt điện đường dây sẽ không phụ thuộc tuyến tính vào chiều dài khoảng vượt.

3.1.3. Hệ thống nối đất cột đường dây

Theo [1], điện trở tản của hệ thống nối đất sẽ ảnh hưởng rất lớn đến việc tản dòng điện sét vào đất. Điện trở càng lớn thì điện áp đặt lên xà cột càng lớn và từ đó sẽ ảnh hưởng đến số lần sự cố do sét gây ra. Đối với hệ thống nối đất, ngoài điện trở tản thì điện cảm của tia nối đất cũng ảnh hưởng đến suất cắt đường dây tương tự như điện trở. Tuy nhiên, do chiều dài của điện cực nối đất tối đa 50m và thường được bố trí 2 hoặc 4 tia nên điện cảm tương đương của điện cực nối đất không đáng kể so với điện cảm của cột điện nên điện cảm của hệ thống nối đất được bỏ qua.

3.2. Các thông số môi trường tự nhiên

Các thông số được xem xét trong nghiên cứu này gồm cao trình đặt cột H và mật độ sét N_s .

3.2.1. Cao trình đặt cột

Đối với đường dây truyền tải, thường đi qua các vị trí đồi núi cao nên một số cột nằm trên đỉnh núi cao, một số cột nằm ở vị trí đồng bằng. Ở các vị trí cao, khả năng chịu đựng của chuỗi sứ thấp hơn so với chuỗi sứ ở vị trí đồng bằng. Lý do, càng lên cao thì áp suất khí quyển càng thấp, mật độ không khí và độ ẩm càng bị thay đổi [14, 15, 16]. Theo [16] điện áp phóng điện của chuỗi sứ ở độ cao H (m) so với mặt nước biển được điều chỉnh theo điện áp phóng điện ở điều kiện chuẩn U_{pd} như sau [16]:

$$U'_{pd} = U_{pd} e^{\frac{H}{8150}}. (5)$$

Như vậy, với đường dây tải điện đi trên đỉnh núi cao và đồng bằng thì khả năng chịu đựng của chuỗi sứ ở các cột điện trên đỉnh núi cao sẽ dễ bị phóng điện hơn các cột điện ở đồng bằng.

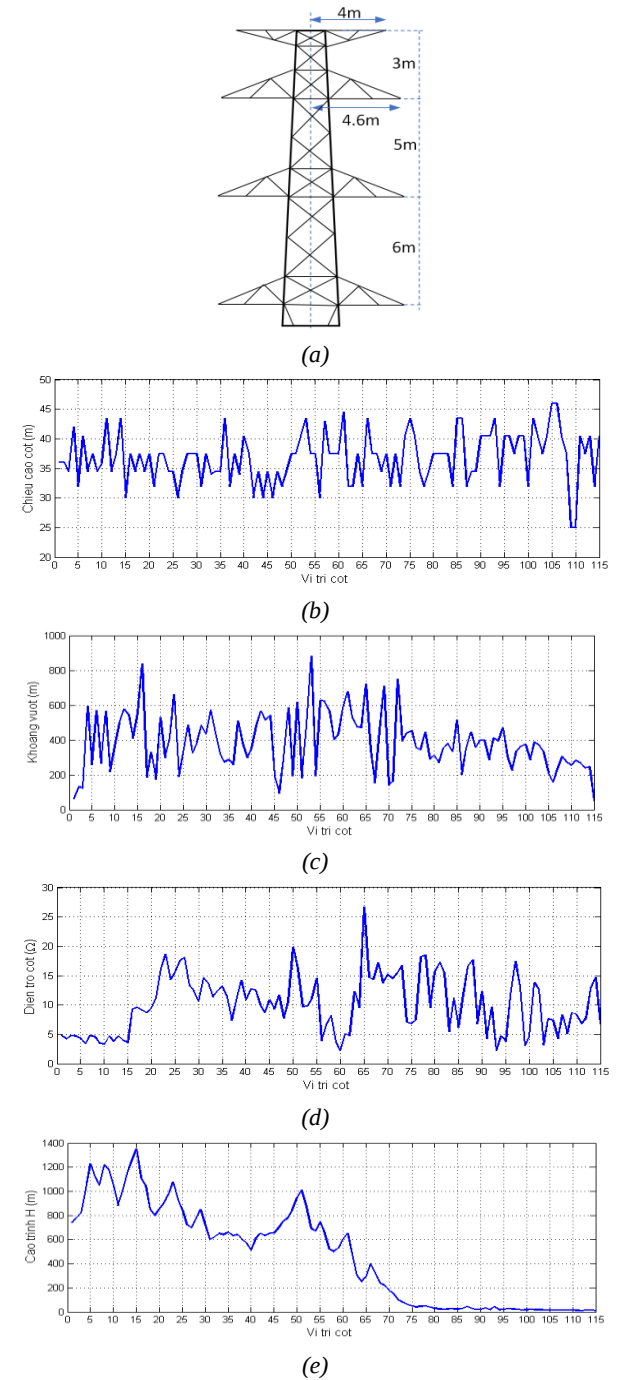
3.2.2. Cường độ hoạt động sét ở khu vực đường dây đi qua

Từ (1) và (3) ta thấy, số lần cắt điện do sét gây ra trên đường dây phụ thuộc tuyến tính vào số ngày dông sét trong năm dông sét trong năm. Tùy thuộc vào vị trí xây dựng đường dây, chiều dài đường dây mà đường dây sẽ chịu số lần sét đánh khác nhau, vì vậy số lần sự cố trên các đoạn đường dây trên cùng 1 đường dây sẽ khác nhau. Ví dụ, đường dây 220kV Sông Tranh 2 - Tam Kỳ sẽ đi qua 2 khu vực có hoạt động sét khác nhau [13] nên số lần sự cố trên đường dây do sét không đồng nhất.

4. Tính số lần cắt điện đường dây

Để tính số lần cắt điện của đường dây do sét gây ra theo phương pháp chia nhỏ đường dây có xét đến các yếu tố ảnh hưởng cũng như đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đến số lần cắt điện đường dây, ở đây tác giả sử dụng đường dây 2 mạch cấp điện áp 220kV, có 115 cột điện có các thông số như Hình 2 và Bảng 1. Chú ý, ở đây chiều dài khoảng vượt

tại cột thứ i là chiều dài khoảng vượt từ cột thứ i đến cột $i+1$. Đường dây nằm trong khu vực có cường độ dòng sét không đều, 1 phần nằm ở vùng có số lần sét 5,7 lần/km²/năm và phần còn lại là 8,2 lần/km²/năm.



Hình 2. Thông số đường dây: (a) kích thước các dây trên cột, (b) chiều cao cột, (c) khoảng vượt tại các cột, (d) điện trở của hệ thống nối đất tại cột, (e) cao trình H đặt cột so với mặt nước biển

Bảng 1. Một số thông số đường dây

Chiều dài chuỗi sứ			Dây chống sét			Dây dẫn		
2.38m			90mm ²			400mm ²		
Đặc tính chuỗi sứ								
t[μs]	1	2	3	4	5	6	7	8
U _{pd} [kV]	2464	2100	1852	1680	1560	1460	1380	1300

Thực tế độ võng của dây dẫn phụ thuộc vào nhiều yếu tố, ở đây tác giả sử dụng độ võng của dây dẫn f_{dd} và dây chống sét f_{dcs} chỉ phụ thuộc vào chiều dài khoảng vượt L_{kv} như (6) [17] với $k = 5,25 \times 10^{-5}$ cho dây dẫn và $k = 5,25 \times 10^{-5}$ với dây chống sét.

$$f = kL_{kv}^2$$

(6)

4.1. Tính theo truyền thống

Theo phương pháp tính thông thường [1], ta xem đường dây có cùng độ cao h_c , cùng khoảng vượt L_{kv} , cùng điện trở nối đất R_c , và độ võng dây dẫn $f_{dd}(m)$, độ võng dây chống sét f_{dcs} . Các thông số này được tính theo giá trị trung bình của tất cả các cột trên đường dây.

Từ số liệu đường dây, ta tính được các thông số trung bình như Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số trung bình của đường dây

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
h_c	36,79m	f_{dd}	7,8m
L_{kv}	385,4m	f_{dcs}	4,8m
R_c	10,13Ω	N_s	6,95 lần/km ² /năm

Kết quả tính được số lần mất điện trung bình tại mỗi cột 0,0124 lần/năm và tổng số lần mất điện do sét gây ra trên toàn đường dây 1,426 lần/năm.

4.2. Tính theo phương pháp chia nhỏ đường dây có xét đến ảnh hưởng độc lập của các yếu tố

Để xét ảnh hưởng của các yếu tố đến số lần cắt điện đường dây, ở đây tác giả tính theo phương pháp phân chia đoạn đường dây thành các đoạn nhỏ. Khi xét ảnh hưởng của 1 thông số nào đó thì các thông số còn lại được tính theo giá trị trung bình như Bảng 2. Thông số đang xem xét sẽ được lấy giá trị cụ thể từng vị trí cột như Hình 2. Kết quả như Hình 3.

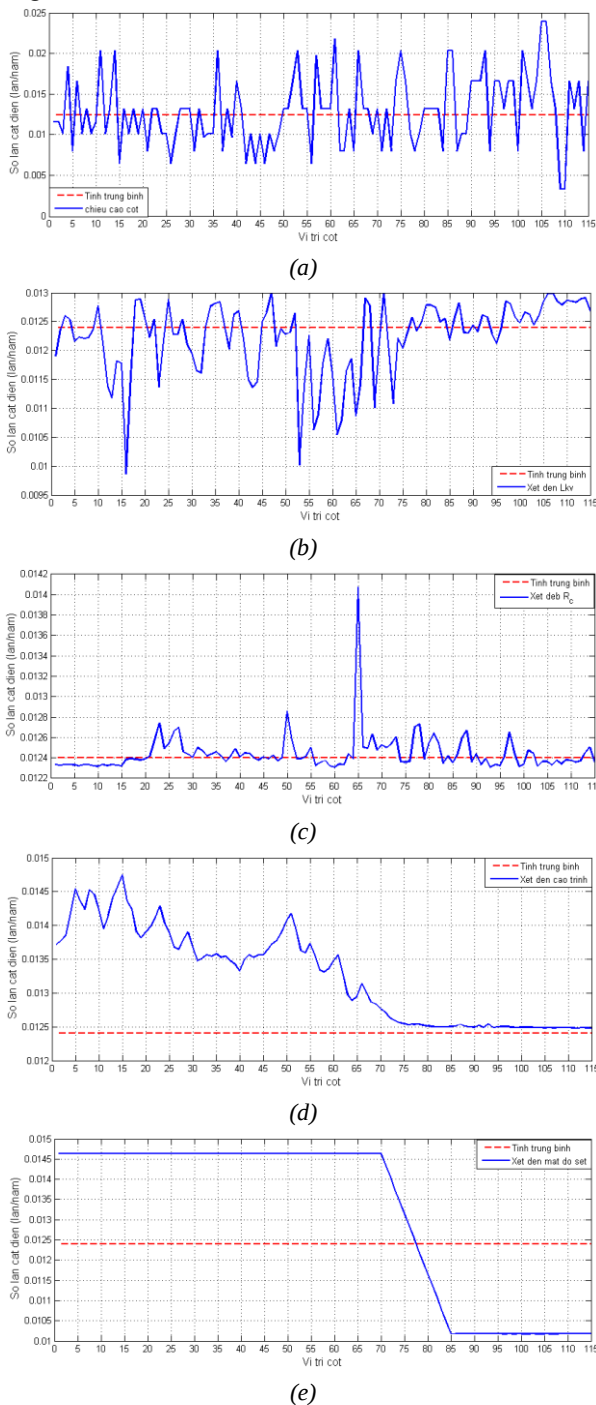
Theo Hình 3a ta thấy, chiều cao cột ảnh hưởng rất lớn đến số lần cắt điện đường dây. Hơn nữa, cột càng cao thì số lần sự cố tại cột đó càng lớn, ví dụ cột 105 và 106 có độ cao lớn nhất 46m nên số lần cắt điện tại đó lớn nhất, trong khi cột 108 và 109 chỉ cao 25m nên số lần cắt điện rất nhỏ.

Hình 3b cho thấy, chiều dài khoảng vượt ảnh hưởng gần như không đáng kể đến số lần cắt điện đường dây. Với khoảng vượt đường dây càng dài thì số lần cắt điện càng nhỏ như cột 16 và cột 54 vì khoảng vượt càng dài thì số lần sét đánh vào đường dây càng lớn. Tuy nhiên, chỉ có những cú sét đánh cách đỉnh cột trong vòng $0,5h_c$ thì được xem như sét đánh vào đỉnh cột. Như vậy, chủ yếu số lần sét đánh vào đường dây là sét đánh vào khoảng vượt. Trong khi đó, xác suất v_{pd}^{kv} bé hơn rất nhiều so với v_{pd}^{dc} và cả v_{pd}^{kv} , v_{pd}^{dc} và v_{pd}^v đều giảm theo chiều dài khoảng vượt nên số lần cắt điện tại đó sẽ giảm.

Tương tự như khoảng vượt đường dây, Hình 3c cho thấy, điện trở nối đất cột cũng không ảnh hưởng nhiều đến số lần sự cố. Tuy nhiên, cột có hệ thống nối đất càng kém thì số lần cắt điện càng tăng, ví dụ cột 65 có điện trở cao nhất (26Ω) nên số lần cắt điện tại cột 65 cũng cao nhất (0,0141 lần/năm).

Hình 3d và Hình 3e cho thấy, độ cao đặt cột càng lớn thì số lần cắt điện đường dây càng lớn và cột nằm ở khu

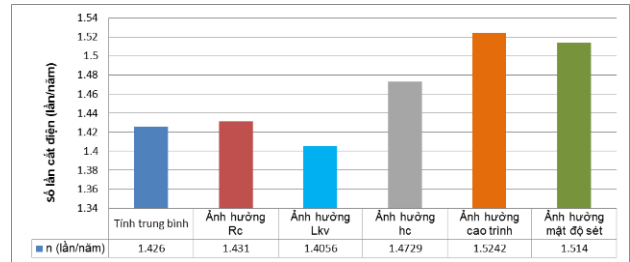
vực có số ngày sét trong năm càng lớn thì số lần sự cố càng lớn.



Hình 3. Số lần cắt điện khi sét đến ảnh hưởng các thông số:

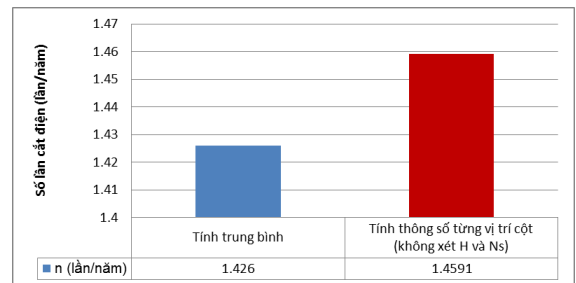
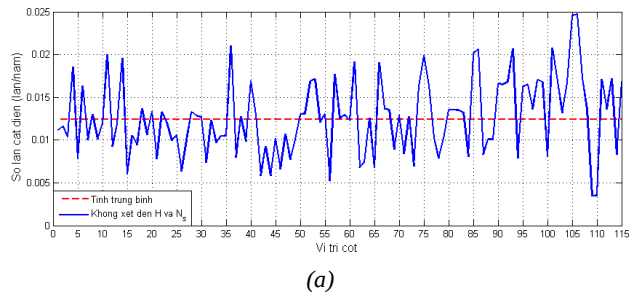
(a) chiều cao cột h_c , (b) chiều dài khoảng vượt L_{kv} , (c) điện trở nối đất tại cột R_c , (d) cao trình đặt cột H , (e) mật độ sét N_s

Hình 4 so sánh mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến số lần cắt điện toàn đường dây đường dây do sét (tính theo (4)). Hình 4 cho thấy, các yếu tố trên đều làm tăng số lần cắt điện so với cách tính trung bình ngoại trừ chiều dài khoảng vượt. Trong các yếu tố làm tăng số lần cắt điện, đôi với đường dây này, cao trình đặt cột ảnh hưởng lớn nhất vì phần lớn đường dây đi qua đồi núi cao.



Hình 4. Đồ thị so sánh số lần cắt điện khi xem xét độc lập các yếu tố

4.3. Tính theo phương pháp chia nhỏ đường dây có xét đến thông số thiết kế (không xét đến H và N_s)



(b)

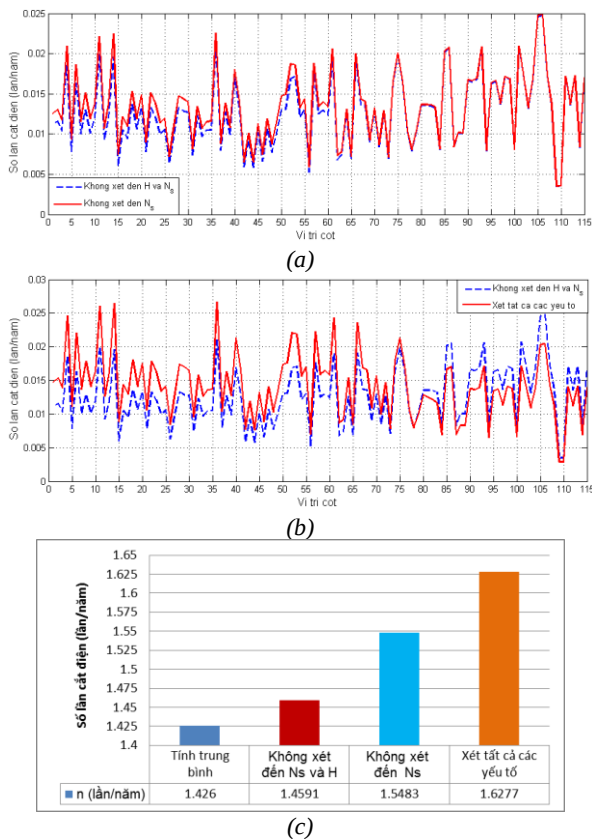
Hình 5. Số lần cắt điện đường dây chỉ xét ảnh hưởng thông số đường dây: (a) số lần cắt điện tại mỗi vị trí cột và (b) so sánh tổng số lần cắt điện

Ở mục này tác giả chỉ xét đến ảnh hưởng tất cả các thông số của bản thân tuyến đường dây (chiều cao cột, chiều dài khoảng vượt và điện trở nối đất cột). Chú ý ở đây, chưa xét đến ảnh hưởng của mật độ sét N_s và cao trình của cột H . Kết quả tính toán như Hình 5.

Hình 5a cho thấy, số lần cắt điện do sét gây ra tại các vị trí cột khác nhau sẽ khác nhau. Số lần cắt điện tại các cột phụ thuộc vào chiều cao cột, chiều dài khoảng vượt và điện trở tiếp địa. Tổng số lần cắt điện do sét gây ra khi xét đến các yếu tố thông số thiết kế đường dây 1,4591 (lần/năm) cao hơn so một chút với cách tính trung bình 1,426 (lần/năm), như Hình 5b. Như vậy, trong trường hợp không cần mức độ chính xác cao chúng ta có thể tính theo thông số trung bình như hướng dẫn ở [1]. Tuy nhiên, trong một số trường hợp cần biết vị trí nào dễ gây sự cố do sét nhất thì nên sử dụng phương pháp chia nhỏ đường dây.

4.4. Tính theo phương pháp chia nhỏ đường dây có xét đến cả thông số thiết kế và yếu tố tự nhiên

Ở mục này, tác giả xét đến cả thông số thiết kế và điều kiện tự nhiên của đường dây để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên đến số lần cắt điện. Kết quả như Hình 6.



Hình 6. Số lần sự cố khi xét đến các yếu tố tự nhiên:
(a) Xét đến cao trình H , (b) xét đến tất cả các yếu tố, và
(c) so sánh số lần cắt điện toàn đường dây

Hình 6a cho thấy, ảnh hưởng của cao trình đặt cột đến số lần cắt điện. Các cột có cao trình đặt cột lớn (ở đỉnh núi) có số lần cắt điện lớn hơn so với trường hợp không xét đến ảnh hưởng của độ cao đặt cột.

Hình 6b cho thấy, ảnh hưởng của tất cả các yếu tố gồm thông số thiết kế (h_c , L_{kv} , R_c) và thông số tự nhiên (H và N_s). Thông số tự nhiên của đường dây có ảnh hưởng rất lớn đến số lần sự cố tại mỗi vị trí cột, đặc biệt các cột ở vùng đồi núi có số lần cắt điện tăng cao vì mật độ sét ở đó cao và chuỗi sứ bị ảnh hưởng của mật độ không khí. Đáng chú ý, cột 11, 14 và 36 có số lần sự cố cao hơn rất nhiều so với các cột còn lại, vì vậy để giảm suất cắt/số lần cắt điện do sét gây ra trên đường dây này, chúng ta cần phải ưu tiên thực hiện tại các vị trí này.

Hình 6c cho chúng ta so sánh số lần cắt điện tổng của cả đường dây trong các trường hợp khác nhau. Rõ ràng, do yếu tố tự nhiên làm cho số lần cắt điện đường dây tăng cao rất nhiều so với trường hợp tính trung bình.

5. Kết luận

Bài báo đã sử dụng cách tính số lần cắt điện của đường dây theo phương pháp tính chia nhỏ đường dây. Mức độ ảnh hưởng của thông số thiết kế và thông số tự nhiên của

đường dây đến số lần cắt điện được đánh giá. Từ kết quả tính toán ta thấy, để tính suất cắt/số lần do sét gây ra cần phải xét đến tất cả các yếu tố trên. Đặc biệt, khi xét đến biện pháp giảm suất cắt đường dây cần phải tính suất cắt/số lần mất điện theo từng vị trí cột để xác định cột nào nên ưu tiên thực hiện giải pháp giảm suất cắt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thị Minh Chức, *Hướng dẫn thiết kế tốt nghiệp Kỹ thuật điện cao áp*, Trường ĐHBK Hà Nội, 2002.
- [2] Zhenya Liu, *Ultra-High Voltage AC/DC Grids*, Academic Press, Elsevier, UK, 2015.
- [3] Hao Zhou, et.al, *Ultra-high Voltage AC/DC Power Transmission*, Springer, 2018.
- [4] Jianghai Geng; Bo-yan Jia; Shu-guo Gao, "Calculation of Lightning Outage Rate of High Voltage Transmission Line", *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 2012.
- [5] M. H. Shwehdi; S. Raja Mohammad, "Computing of lightning impulse back flashover outages rates on high voltage transmission lines", *International Journal of Automation and Power Engineering*, Vol.3, Issue 1, pp.18-22, 2014.
- [6] Liang Zhou; Chengli Liu; Ying Wang; Jinghua Yang, "A hybrid approach to calculate the Shielding Failure-Caused Trip-out Rate", *The International Seminar on Applied Physics, Optoelectronics and Photonics (APOP 2016)*.
- [7] A.H.A. Bakar; D.N.A. Talib; H. Mokhlis; H. A. Illias, "Lightning back flashover double circuit tripping pattern of 132kV Malaysia", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol.45, Iss.1, pp.235-241, 2013.
- [8] F. Amanifard and N. Ramezani, "Back-flashover Investigation of HV Transmission Lines Using Transient Modeling of the Grounding Systems", *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*, Vol.12, Iss.3, pp.222-229, 2016.
- [9] Abelrahman Said Ghoniem, "Effective Elimination Factors to the Generated Lightning Flashover in High Voltage Transmission Network", *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, Volume 9, Number 3, pp.455-468, 2017.
- [10] T. Judendorfer; S. Pack; M. Muhr, "Line arrester application on a 110 kV High Alpine overhead line to reduce lightning-caused outages", *Journal of Energy*, vol. 60, p. 81-87, 2011.
- [11] Shiyu Tang; Gaolin Wu; Hua Yin, "Study of Ground Flash Density", *International Conference on Power System Technology*, 2006.
- [12] Tổng cục Bưu điện, TCN 68 – 174 Quy phạm chống sét và tiếp đất cho các công trình viễn thông, 1998.
- [13] Bản đồ mật độ sét trung bình năm của Việt Nam, Viện Vật lý Địa cầu, <http://thienphucons.vn:7787/mediaroot/media/userfiles/useruploads/141/files/Mat%20do%20set.pdf> (truy cập ngày 21/11/2018)
- [14] J.J LaForest, *Transmission line reference book*, Electric Power Research Institute, California, 1982.
- [15] Mohammad Hamed Samimi; Amir Hosein Mostajabi; Mehrdad Arabzadeh; Amir Abbas Shayegani Akmal; Hosein Mohseni, "Effect of Humidity on the Flashover Voltage of Insulators at Varying Humidity and Temperature Conditions", *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 2(4)4299-4303, 2012.
- [16] Dong Wu; Ming Li and Mats Kvarngren, "Uncertainties in the application of atmospheric and altitude corrections as recommended in iec standards", *the 16th International Symposium on High Voltage Engineering*, Cape Town, South Africa, 2009.
- [17] Tính toán cơ học đường dây tải điện trên không, <http://lopds13b.weebly.com/uploads/9/7/3/1/9731242/thietketcokhduongdayttvvvpvpdfv.pdf> (truy cập ngày 2/12/2018).