

Chương 1

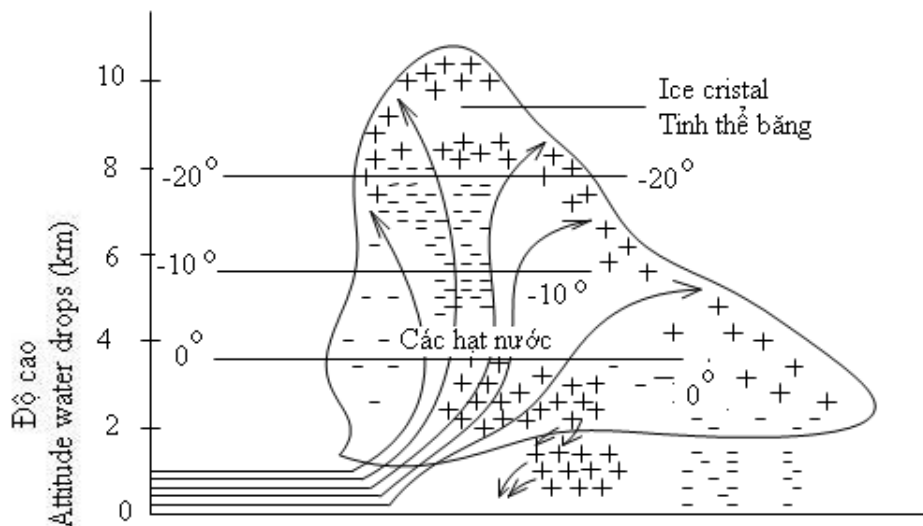
SÉT- NGUỒN GỐC CỦA QUÁ ĐIỆN ÁP KHÍ QUYỂN

1.1 CÁC GIAI ĐOẠN PHÁT TRIỂN CỦA PHÓNG ĐIỆN SÉT

Sét thực chất là một dạng phóng điện tia lửa trong không khí với khoảng cách rất lớn. Chiều dài trung bình của khe sét khoảng 3-5 km, phần lớn chiều dài đó phát triển trong các đám mây dông. Quá trình phóng điện của sét tương tự như quá trình phóng điện tia lửa trong điện trường rất không đồng nhất với khoảng cách phóng điện lớn. Chính sự tương tự đó đã cho phép mô phỏng sét trong phòng thí nghiệm để nghiên cứu những qui luật của nó và nghiên cứu những biện pháp bảo vệ chống sét.

Hiện nhiên sét khác với phóng điện trong không khí tiến hành trong phòng thí nghiệm không chỉ ở qui mô mà còn ở đặc điểm riêng biệt của nguồn điện áp của nó tức là những đám mây dông tích điện.

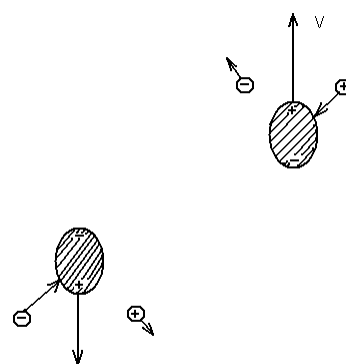
Thực tế sự hình thành các cơn dông luôn luôn gắn liền với sự xuất hiện của những luồng không khí nóng ẩm không lồ từ mặt đất bốc lên. Các luồng không khí này được tạo thành hoặc do sự đốt nóng mặt đất bởi ánh nắng mặt trời, đặc biệt ở các vùng cao (dông nhiệt) hoặc do sự gặp nhau của những luồng không khí nóng ẩm với không khí lạnh nặng (dông front), luồng không khí nóng ẩm bị đẩy lên trên. Sau khi đạt được một độ cao nhất (khoảng vài km trở lên), luồng k nóng ẩm này đi vào vùng nhiệt độ ẩm, bị lạnh đi, hơi nước ngưng tụ lại thành những giọt nước li ti hoặc thành các tinh thể băng. Chúng tạo thành các đám mây dông (hình 1.1)



Hình 1.1: Sự phân bố điện tích trong một đám mây dông

Từ lâu người ta đã khẳng định về nguồn tạo ra điện trường không lồ giữa các mây dông và mặt đất chính là những điện tích tích tụ trên các hạt nước li ti và các tinh thể băng của các đám mây dông đó. Nhưng do đâu có sự nhiễm điện của các hạt nước và tinh thể băng cũng như sự phân li các điện tích thì có nhiều giả thuyết khác nhau và chưa được hoàn toàn nhất trí (trong phạm vi cuốn sách này sẽ không đi sâu vào giả thuyết đó). Ví dụ, có giả thuyết cho rằng, dưới tác dụng của điện trường của quả đất (quả đất mang một điện tích âm khoảng $-5,4 \times 10^{+5}C$), các hạt nước bị phân cực, đầu dưới nhận điện tích dương và đầu trên nhận điện tích âm (H.1.2)

Các giọt nước lớn, do trọng lượng của nó rơi xuống gặp các ion tự do (gần mặt đất có khoảng 600 đôi ion trong một cm^3 không khí, càng lên cao mật độ ion càng cao) bay chậm hơn trong không khí, hấp thụ ion âm bằng đầu dương của nó ở phía trước và đẩy các ion dương tự do ra xa. Kết quả là giọt nước mang điện tích âm thừa.



Hình 1.2: Sự hấp thụ ion bởi các giọt nước đã bị phân cực

Các giọt nước bé đã phân cực, thì bị các luồng không khí đẩy lên phía trên hấp thụ các ion dương bằng đầu âm của mình, đẩy ion âm tự do ra xa do đó mang điện tích dương thừa. Như vậy theo giả thuyết này, phần dưới của các đám mây dông mang điện tích âm, phù hợp với thực tế là phần lớn các phóng điện sét xuống đất (80-90%) có cực tính âm. Nhưng giả thuyết này vẫn chưa giải thích được một thực tế, là hơn một nửa thể tích của đám mây không phải được tạo thành từ các giọt nước mà từ các tinh thể băng và bông tuyết mà hình dạng và cấu tạo của chúng làm cho chúng khó có thể bị phân cực bởi điện trường của quả đất.

Tóm lại, các giả thuyết cho đến nay đều chưa giải thích được một cách triệt để và nguồn điện tích của các đám mây dông và sự phân li chúng, khiến người ta nghĩ rằng trong thực tế có thể có nhiều nguyên nhân đồng thời và rất phức tạp.

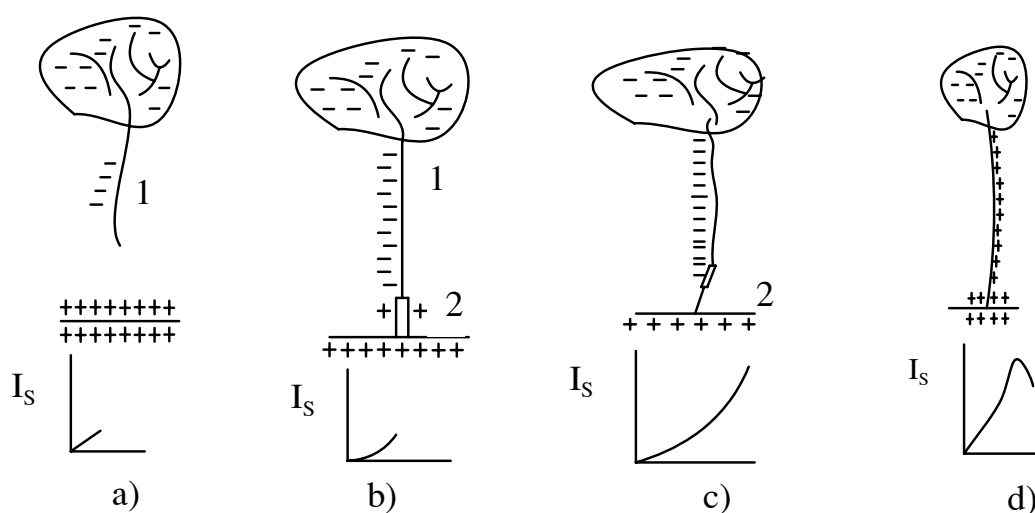
Nhưng có điều chắc chắn là trong suốt cơn dông, các điện tích dương và điện tích âm bị các luồng không khí mãnh liệt tách rời nhau, gắn liền với sự phân bố các tinh thể băng tuyết trên tầng đỉnh và các giọt nước mưa ở tầng đáy của đám mây dông. Sự tách rời điện tích này

tùy thuộc vào độ cao của đám mây, nằm trong khoảng từ 200-10.000m, với tâm của chúng cách nhau ước khoảng từ 300-2000 m. Lượng điện tích trong các đám mây tham gia vào các cơn sét đông vào khoảng từ 1-100 C và có thể cao hơn. Điện thế của các đám mây đông vào khoảng 10^7 - 10^8 V. Năng lượng toả ra bởi một cơn sét khoảng 250kWh.

Kết quả quan trắc cho thấy phần dưới của các đám mây đông chủ yếu chứa điện tích âm, do đó cảm ứng trên đất những điện tích dương tương ứng và tạo nên một tụ điện không khí khổng lồ. Cường độ điện trường trung bình nơi đồng nhất thường ít khi quá 1kV/cm, nhưng cá biệt nơi mật độ điện tích cao, hoặc nơi có vật dẫn điện tốt nhô lên cao trên mặt đất điện trường cục bộ có thể cao hơn nhiều và có thể đạt đến ngưỡng ion hoá không khí (ở mặt đất trị số này 25-30 kV/cm và càng lên cao càng giảm, ở độ cao một vài km giảm còn khoảng 10kV/cm) sẽ gây ion hoá không khí tạo thành dòng plasma, mở đầu cho quá trình phóng điện sét phát triển giữa mây đông và mặt đất.

Quá trình phóng điện sét này gồm có 3 giai đoạn chủ yếu:

1- Thoạt tiên xuất phát từ mây đông một dải sáng mờ kéo dài từng đợt gián đoạn về phía mặt đất với tốc độ trung bình khoảng 10^5 - 10^6 m/s. Đây là giai đoạn phóng điện tiên đạo từng đợt được gọi là tiên đạo bậc (stepped leader). Kênh tiên đạo là một dòng plasma mật độ điện tích không cao lắm, khoảng 10^{13} - 10^{14} ion/m³. Một phần điện tích âm của mây đông tràn vào kênh và phân bố tương đối đều dọc theo chiều của nó (H.1.3a).



Hình 1.3

Các giai đoạn phóng điện sét và biến thiên của dòng điện sét theo thời gian

- a) Giai đoạn phóng điện tiên đạo (1)
- b) Tia tiên đạo đến gần mặt đất, hình thành khu vực ion hoá mãnh liệt (2)
- c) Giai đoạn phóng điện ngược hay phóng điện chủ yếu (3)
- d) Phóng điện chủ yếu kết thúc, dòng sét đạt giá trị cực đại (4)

Thời gian phát triển của tia tiên đạo mỗi đợt kéo dài trung bình khoảng $1\mu\text{s}$, tương ứng tia tiên đạo kéo dài trung bình được khoảng vài chục mét đến bốn năm chục mét. Thời gian tạm ngừng phát triển giữa hai đợt liên tiếp khoảng $30\div 90\mu\text{s}$.

Điện tích âm từ mây tràn vào kênh tiên đạo bằng $Q = \sigma l$ với l là chiều dài kênh. Điện tích này thường chiếm khoảng 10% lượng điện tích chạy vào đất trong một lần phóng điện sét. Dưới tác dụng của điện trường tạo nên bởi điện tích âm của mây dông và điện tích âm trong kênh tiên đạo, sẽ có sự tập trung điện tích cảm ứng trái dấu (điện tích dương) trên vùng mặt đất phía dưới đám mây dông. Nếu vùng đất phía dưới có điện dẫn đồng nhất thì nơi điện tích tập trung sẽ nằm trực tiếp dưới kênh tiên đạo. Nếu vùng đất phía dưới có điện dẫn khác nhau thì điện tích cảm ứng sẽ tập trung chủ yếu ở vùng kề cận, nơi có điện dẫn cao như vùng quặng kim loại, vùng đất ẩm, ao hồ, sông ngòi, vùng nước ngầm, kết cấu kim loại các nhà cao tầng, cột điện, cây cao bị ướt trong mưa... và nơi đó thường là nơi đổ bộ của sét.

Cường độ điện trường ở đầu kênh tiên đạo trong phần lớn giai đoạn phát triển của nó (trong mây dông), được xác định bởi điện tích bản thân của kênh và của điện tích tích tụ ở đám mây. Đường đi của kênh trong giai đoạn này không phụ thuộc vào tình trạng của mặt đất và các vật thể ở mặt đất, phương có cường độ điện trường cao nhất phụ thuộc vào nhiều nhân tố ngẫu nhiên phức tạp. Chỉ khi kênh tiên đạo còn cách mặt đất một độ cao nào đó (độ cao định hướng), thì mới thấy rõ dần ảnh hưởng của sự tập trung điện tích ở mặt đất và ở các vật dẫn nhô khỏi mặt đất đối với hướng phát triển tiếp tục của kênh. Kênh sẽ phát triển theo hướng có cường độ điện trường lớn nhất. Như vậy vị trí đổ bộ của sét mang tính chọn lọc. Trong kỹ thuật người ta đã lợi dụng tính chọn lọc đó để bảo vệ chống sét đánh thẳng cho các công trình, bằng cách dùng các thanh hoặc dây thu sét bằng kim loại được nối đất tốt, đặt cao hơn công trình cần bảo vệ để hướng sét phóng vào đó, hạn chế khả năng sét đánh vào công trình.

Ở những vật dẫn có độ cao lớn như các nhà chọc trời, cột điện đường dây cao áp, cột anten các đài thu phát thanh, truyền hình, bưu điện... thì từ đỉnh của nó, nơi điện tích trái dấu

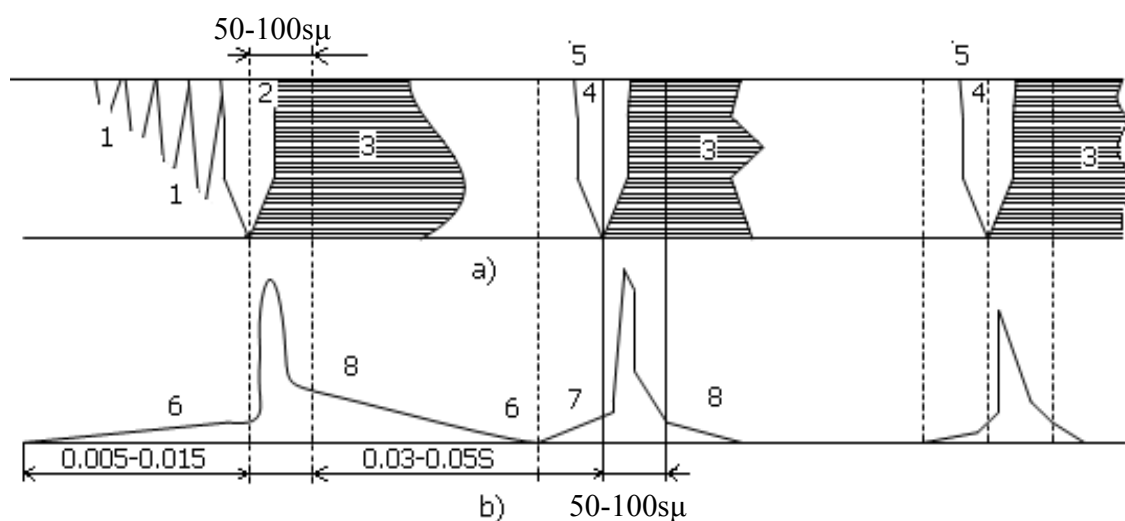
tập trung nhiều làm cho cường độ trường cục bộ tăng cao cũng sẽ đồng thời xuất hiện ion hoá không khí, tạo nên dòng điện tiên đạo phát triển hướng lên đám mây dông. Chiều dài của kênh tiên đạo từ dưới lên này tăng theo độ cao của vật dẫn, có thể đạt đến độ cao một vài trăm mét và tạo điều kiện dễ dàng cho sự định hướng của sét vào vật dẫn đó. Quá trình này thường được gọi là quá trình phóng điện đón sét. Nhưng đầu thu sét thế hệ mới xuất hiện vào những năm của thập kỷ 80 và 90 thế kỷ 20 chính là đã ứng dụng hiệu ứng này để tăng khả năng đón bắt kênh tiên đạo từ trên mây dông xuống, hạn chế xác suất sét đánh vào công trình được bảo vệ.

2- Khi kênh tiên đạo xuất phát từ mây dông tiếp cận mặt đất (thời gian vào khoảng 20ms) hoặc tiếp cận kênh tiên đạo ngược chiều, thì bắt đầu giai đoạn phóng điện ngược hay phóng điện chủ yếu, tương tự như các quá trình phóng điện ngược trong chất khí ở điện trường không đồng nhất (H.1.3.b). Trong khoảng cách khí ở còn lại giữa đầu kênh tiên đạo và mặt đất (hoặc giữa hai đầu kênh tiên đạo ngược chiều) cường độ điện trường tăng cao gây nên ion hoá mãnh liệt không khí, dẫn đến sự hình thành một dòng plasma mới, có mật độ điện tích cao hơn nhiều so với mật độ điện tích của kênh tiên đạo ($10^{16} \div 10^{19}$ ion/m³), điện dẫn của nó tăng lên hàng trăm, hàng ngàn lần, điện tích cảm ứng từ mặt đất tràn vào dòng ngược này trung hoà điện tích âm của kênh tiên đạo trước đây và thực tế đầu dòng mang điện thế của đất, làm cho cường độ điện trường ở khu vực tiếp giáp của hai dòng plasma ngược chiều nhau tăng lên gây ion hoá mãnh liệt không khí ở khu vực này và như vậy đầu dòng plasma điện dẫn cao tiếp tục phát triển ngược lên trên theo đường đã được dọn sẵn bởi kênh tiên đạo. Tốc độ của kênh phóng điện ngược vào khoảng $1,5 \times 10^7 \div 1,5 \times 10^8$ m/sét (bằng $0,05 \div 0,5$ tốc độ ánh sáng) tức là nhanh gấp trên trăm lần tốc độ phát triển của dòng tiên đạo (H.1.3c). Vì mật độ điện tích cao đốt nóng mãnh liệt nên kênh phóng điện chủ yếu sáng chói chang (đó chính là tia chớp). Nhiệt độ trong kênh phóng điện có thể đến vài ba chục ngàn °C, gấp vài ba lần nhiệt độ trên bề mặt mặt trời. Và sự dẫn nở đột ngột của không khí bao quanh kênh phóng điện chủ yếu tạo nên những đợt sóng âm mãnh liệt, gây nên những tiếng nổ chát chúa (đó là tiếng sấm). Đặc điểm quan trọng nhất của phóng điện chủ yếu là cường độ dòng lớn. nếu v là tốc độ của phóng điện chủ yếu và σ là mật độ dòng của điện tích thì dòng điện sét sẽ đạt giá trị cao nhất khi kênh phóng điện chủ yếu lên đến đám mây dông và bằng $I_s = \sigma \cdot v$ (H.1.3d). Đó chính là dòng ngắn mạch khoảng cách khí giữa mây-đất, có trị số từ vài kA đến trên vài trăm kA.

3- Giai đoạn kết thúc được đánh dấu khi kênh phóng điện chủ yếu lên tới đám mây, điện tích cảm ứng từ đất theo lên, tràn vào và trung hoà với điện tích âm của nó, một phần nhỏ của

số điện tích còn lại của mây sẽ theo kênh phóng điện chạy xuống đất và cũng tạo nên ở chỗ sét đánh một dòng điện có trị số giảm dần tương ứng phần đuôi sóng sét. Dự toả sáng mờ dần. Trong 50% các trường hợp, sự tháo điện tích xuống đất này tạo nên một dòng không đổi khoảng 100A, kéo dài có thể đến 0,1s. Do thời gian kéo dài như vậy nên hiệu ứng nhiệt độ do nó gây nên cũng không kém phần nguy hiểm cho các công trình bị sét đánh.

Kết quả quan trắc sét cho thấy rằng, một cơn sét thường gồm nhiều phần phóng điện kế tiếp nhau, trung bình là ba lần, nhiều nhất có thể đến vài ba chục lần. Thời gian giữa các lần phóng điện kế tiếp nhau trung bình khoảng $30 \div 50\text{ms}$, nhưng có thể kéo dài đến 0,1s nếu có dòng không đổi trong giai đoạn kết thúc. Các lần phóng điện sau có dòng tiên đạo phát triển liên tục (không phải từng đợt như lần đầu), không phân nhánh và theo đúng quỹ đạo của lần đầu nhưng với tốc độ cao hơn ($2 \cdot 10^6\text{m/s}$), thường gọi là tiên đạo hình kim (needle leader) cũng còn có tên gọi là tiên đạo hình mũi tên (dart leader). Mỗi lần phóng điện tạo lên một xung dòng sét. Các xung sét sau thường có biên độ bé hơn, nhưng độ dốc đầu sóng cao hơn nhiều so với xung đầu tiên. Một cơn sét có thể kéo dài đến 1,33s.



1- Giai đoạn tiên đạo; 2- giai đoạn phóng điện chủ yếu; 3- Giao đoạn sau phóng điện – sáng mờ; 4- Tia tiên đạo hình mũi tên hoặc hình kim; 5- Giai đoạn tiên đạo của các cú sét kế tiếp; 6- Dòng điện tiên đạo; 7- Dòng điện chủ yếu; 8- Dòng điện trong giai đoạn sáng mờ

Hình 1.4: Quá trình phát triển của phóng điện sét

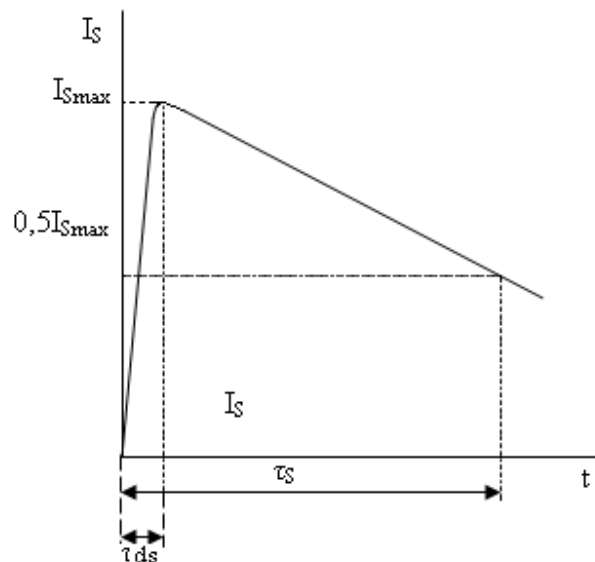
Sự phóng điện nhiều lần của sét được giải thích như sau: Đám mây dông có thể có nhiều trung tâm điện tích khác nhau, hình thành do các dòng không khí xoáy trong mây. Lần phóng

điện đầu tiên dĩ nhiên sẽ xảy ra giữa đất và trung tâm điện tích có cường độ điện trường cao nhất.

Trong giai đoạn phóng điện tiên đạo thì hiệu thế của trung tâm điện tích này với các trung tâm điện tích khác kế cận thực tế không thay đổi đáng kể và ít có ảnh hưởng qua lại giữa chúng. Nhưng khi kênh phóng điện chủ yếu đã lên đến mây thì trung tâm điện tích đầu tiên của đám mây thực tế mang điện thế của đất làm cho hiệu thế giữa trung tâm điện tích đã phóng với các trung tâm điện tích lân cận tăng lên và có thể dẫn đến phóng điện giữ chúng với nhau. Trong khi đó thì kênh phóng điện cũ vẫn còn một điện dẫn nhất định do sự khử ion chưa hoàn toàn, nên phóng điện tiên đạo lần sau theo đúng quỹ đạo đó, liên tục và với tốc độ cao hơn lần đầu. Phóng điện sét cũng có thể xảy ra giữa các đám mây mang điện tích khác nhau hoặc giữa các trung tâm điện tích của một đám mây lưỡng cực, tuy nhiên quá điện áp trong hệ thống điện, hoả hoạn hoặc hư hỏng các công trình trên mặt đất chỉ xảy ra khi có phóng điện sét về phía mặt đất. Vì vậy, ở đây chỉ xét đến sét giữa mây dông và mặt đất cùng tác hại của nó đối với hệ thống điện.

1.2 CÁC THAM SỐ CHỦ YẾU CỦA SÉT - CƯỜNG ĐỘ HOẠT ĐỘNG CỦA SÉT

Dòng điện sét như hình 1.5 có dạng một sóng xung. Trung bình trong khoảng vài ba micro giây, dòng điện tăng nhanh đến trị số cực đại tạo nên phần đầu sóng và sau đó giảm xuống chậm chậm trong khoảng $20 \div 100\mu\text{s}$, tạo nên phần đuôi sóng.



Hình 1.5: Dạng dòng điện sét

Sự lan truyền sóng điện từ tạo nên bởi dòng điện sét gây nên quá điện áp trong hệ thống điện, do đó cần phải biết những tham số chủ yếu của nó.

- Biên độ dòng điện sét với xác suất xuất hiện của nó.
- Độ dốc đầu sóng dòng điện sét hoặc thời gian đầu sóng τ_{ds} với xác suất xuất hiện của nó.
- Độ dài sóng dòng điện sét τ_s (tức thời gian cho đến khi dòng sét giảm bằng 1/2 biên độ của nó).
- Cực tính dòng điện sét.

Ngoài ra phải biết cường độ hoạt động trung bình của sét tức là số ngày có dông sét trung bình hoặc tổng số giờ có giông sét trung bình trong một năm ở mỗi khu vực lãnh thổ và mật độ trung bình của sét trong khu vực đó, tức là số lần sét đánh vào một đơn vị diện tích mặt đất (1km^2) trong một ngày sét. Ở nhiều nước phát triển đã xây dựng được bản đồ phân vùng hoạt động của sét.

1.2.1 Biên độ dòng điện sét và xác suất xuất hiện của nó

Dòng điện sét có trị số lớn nhất vào lúc kênh phóng điện chủ yếu lên đến trung tâm điện tích của đám mây dông. Nếu nơi (vật) bị sét đánh có nối đất tốt, điện trở nối đất không đáng kể, thì trị số lớn nhất của dòng điện sét, như đã trình bày ở trên, bằng dòng điện $= \sigma.v$. Nhưng nếu điện trở nối đất của vật bị sét đánh có một trị số R nào đó thì dòng điện sét qua vật đó sẽ giảm theo quan hệ

$$i_s = \sigma.v \cdot \frac{z_0}{z_0 + R}$$

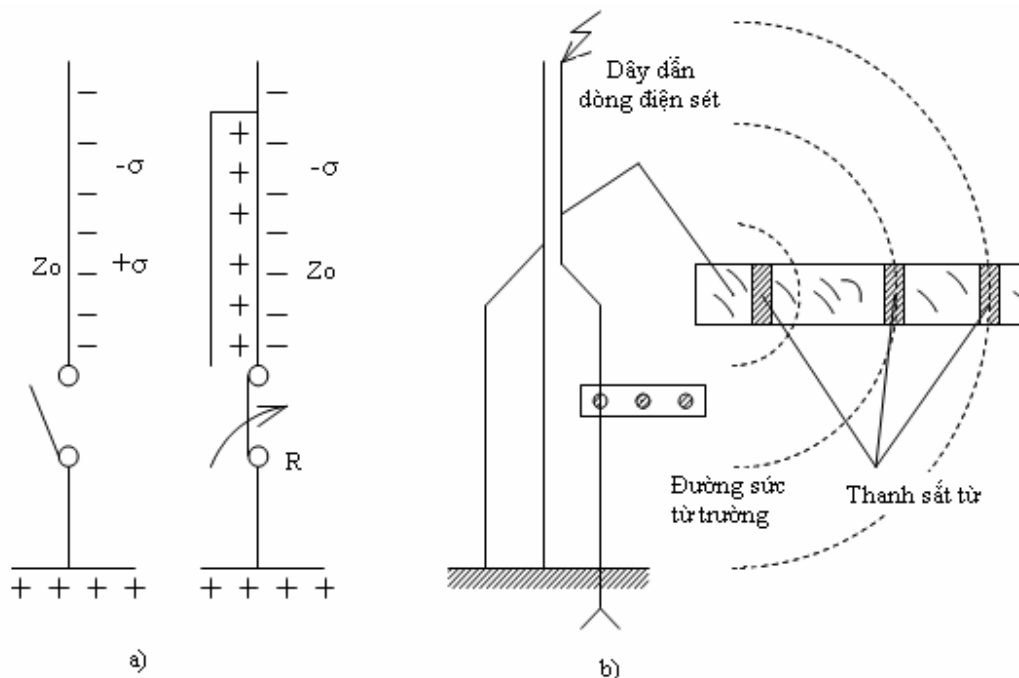
với z_0 là tổng trở sóng của khe sét, có trị số trong khoảng $200 \div 500\Omega$.

Như vậy, nếu điện trở nối đất R thay đổi từ $0 \div 30\Omega$ thì dòng điện qua vật bị sét đánh chỉ giảm khoảng 10%. Điện trở nối đất của cột và dây thu sét trong hệ thống điện thường ít khi quá $20 \div 30\Omega$, nên trong tính toán có thể lấy gần đúng trị số cực đại của dòng điện sét $i_s = \sigma.v$.

Để đo biên độ dòng điện sét hiện nay người ta dùng rộng rãi trong hệ thống điện thiết bị ghi từ. Đó là những thanh bằng bột sắt từ trộn với keo cách điện ép lại. Thanh được gắn vào cột thu sét hay cột điện, song song với đường sức của từ trường dòng điện sét chạy qua cột khi bị sét đánh.

Nhờ làm bằng vật liệu sắt từ nên thanh duy trì một độ từ dư lớn. Cuối mùa sét người ta thiết bị ghi từ, đo lượng từ dư và xác định được dòng điện sét lớn nhất đã chạy qua cột. Độ

chính xác của thiết bị từ này không cao nhưng nhược điểm này được bù lại bởi số lượng rất lớn thiết bị đặt trong hệ thống điện (đến hàng chục ngàn chiếc).



Hình 1.6 : Thiết bị xác định biên độ dòng điện sét.

Kết quả đo đạt trong nhiều năm ở nhiều nơi cho thấy biên độ dòng điện sét biến thiên trong phạm vi rất rộng, từ vài kA đến vài trăm kA, nhưng phần lớn thường dưới 50kVA và rất hiếm khi vượt quá 100kA.

Trong tính toán chống có thể dùng quy luật phân bố xác suất biên độ chống sét gần đúng sau, cho vùng đồng bằng:

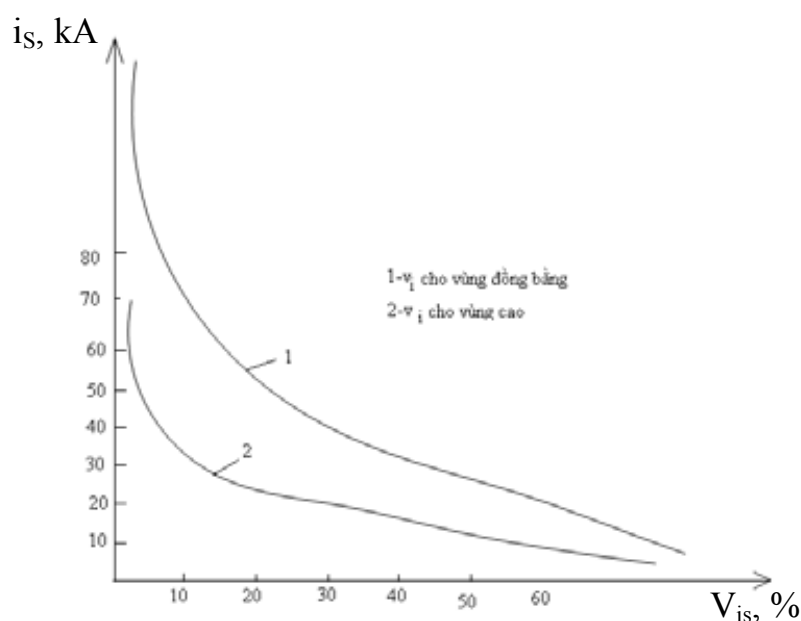
$$v_{i_s} = e^{-i_s/26} = 10^{-i_s/60} \text{ tức } \ln v_{i_s} = -\frac{i_s}{26} \text{ hay } \lg v_{i_s} = -\frac{i_s}{60}$$

Với v_{i_s} là xác suất xuất hiện dòng điện sét có biên độ bằng hoặc lớn hơn i_s

Ví dụ: xác suất phóng điện có biên độ dòng điện sét $i_s \geq 60kA$ bằng: $\lg v_{i_s} = -\frac{60}{60} = -1$;

$$v_{i_s} = 0,1 = 10\%$$

Có nghĩa là trong tổng số lần sét đánh chỉ có 10% số lần sét có biên độ dòng điện từ 60kA trở lên. Dòng điện sét có biên độ từ 100kA trở lên thường rất hiếm xảy ra, nên chỉ phải dùng đến khi thiết kế chống sét cho những trạm phân phối vô cùng quan trọng.



Hình 1.7: Xác suất phân bố dòng sét có biên độ bằng và lớn hơn i_s

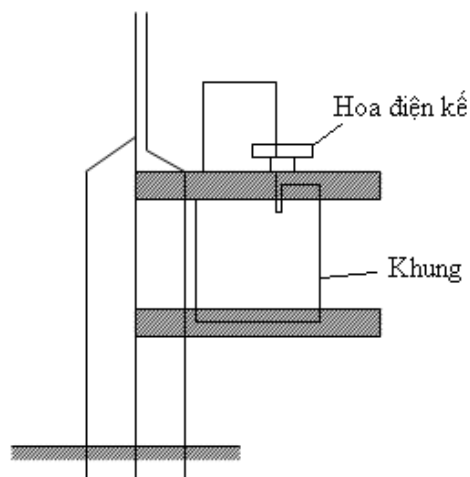
Ở những vùng đồi núi, biên độ dòng điện sét thường bé hơn so với những vùng đồng bằng khoảng vài lần, do khoảng cách từ đất đến các đám mây dông ngắn hơn nên phóng điện sét đã có thể xảy ra, ngay khi mật độ điện tích của các đám mây còn bé hơn. Nói một cách khác, ở đây xác suất xuất hiện dòng điện sét

Có biên độ lớn thấp hơn. $v_{i_s} = 10^{-\frac{i_s}{30}}$ hay $\lg v_{i_s} = -\frac{i_s}{30}$ (1.2)

1.2.2 Độ dốc đầu sóng dòng điện sét và xác suất xuất hiện của nó

Việc xác định bằng thực nghiệm độ dốc đầu sóng hoặc độ dài đầu sóng dòng điện sét khó khăn hơn nhiều, vì vậy lượng số liệu thực nghiệm về những thông số này tương đối ít.

Để đo độ dốc dòng điện sét, Người ta thường dùng một khung bằng dây dẫn treo cạnh cột thu sét. Các đầu dây của khung nối và một hoa điện kế để đo biên độ của điện áp (xem kỹ thuật điện cao áp, tập 1, chương 4 trang 133 – 134).



Hình 1.8: Thiết bị để xác định độ dốc đầu sóng dòng điện sét.

Khi sét đánh vào cột thu sét với độ dốc dòng điện sét $a = \frac{di_s}{dt}$ thì trong khung sẽ cảm ứng nên một sức điện động bằng $M \frac{di_s}{dt}$. Với M là hệ số hổ cảm giữa dây dẫn dòng điện sét của cột thu sét với khung.

Hoa điện kế ghi được biên độ điện áp giữa các đầu ra của khung: $u = M \left(\frac{di_s}{dt} \right)_{\max}$

Biết được u có thể có thể xác định được độ dốc lớn nhất của sóng dòng điện sét đã chạy qua cột:

$$a_{\max} = \left(\frac{di_s}{dt} \right)_{\max}, \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Độ dốc đầu sóng dòng điện sét cũng thay đổi trong một phạm vi rộng và cũng được cho dưới dạng đường cong xác suất. Thường dùng đường cong thực nghiệm sau.

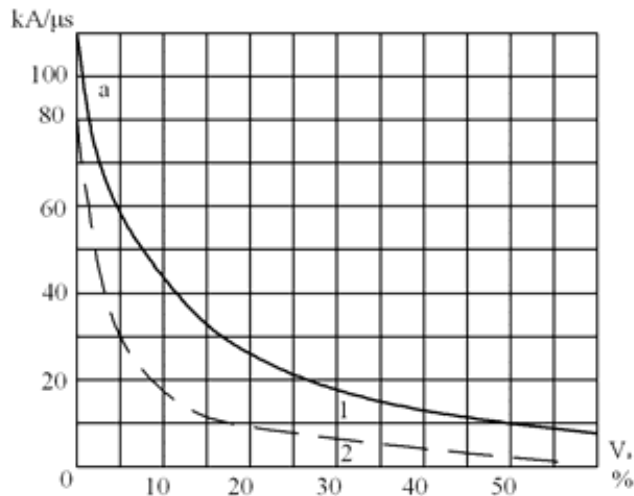
$$\text{Cho vùng đồng bằng: } v_a = e^{-a/15,7} = 10^{-a/36} \text{ hay } \ln v_a = -\frac{a}{15,7}; \lg v_a = -\frac{a}{36}$$

trong đó v_a là xác suất xuất hiện phóng điện sét có độ dốc đầu sóng dòng điện bằng và lớn hơn a

Ở những vùng núi cao, xác suất xuất hiện dòng điện sét có cùng độ dốc đầu sóng thường thấp hơn và có thể xác định theo:

$$v_a = 10^{-a/18} = e^{-a/7,82} \quad (1.4)$$

Kết quả đo đạc cho thấy phần lớn sóng dòng điện sét có thời gian đầu sóng từ $\tau_{ds} = 1 \div 10 \mu\text{s}$ thường gặp là từ $1 \div 4 \mu\text{s}$ và độ dài sóng trong khoảng $\tau_s = 20 \div 100 \mu\text{s}$. Trong tính toán thiết kế thường lấy thời gian đầu sóng $\tau_{ds} = 1,2 \mu\text{s}$ và độ dài sóng trung bình là $50 \mu\text{s}$ tương ứng với dạng sóng chuẩn (sóng 1,2/50).



Hình 1.9: Đường cong xác suất độ dốc đầu sóng dòng sét

Về quan hệ giữa độ dốc đầu sóng và biên độ dòng điện sét, cho đến nay với những số liệu đo được, người ta vẫn chưa tìm thấy có một quan hệ toán học rõ ràng, chặt chẽ. Có khuynh hướng tuy không rõ ràng, là độ dốc đầu sóng tăng khi biên độ dòng điện sét tăng. Trong tính toán khi đồng thời phải xét ảnh hưởng của cả độ dốc đầu sóng và biên độ, người ta coi chúng như là những đại lượng độc lập và dùng xác suất phối hợp:

- Đối với vùng đồng bằng:

$$\lg v(i_s, a) = - \left(\frac{i_s}{60} + \frac{a}{36} \right) \quad (1.5)$$

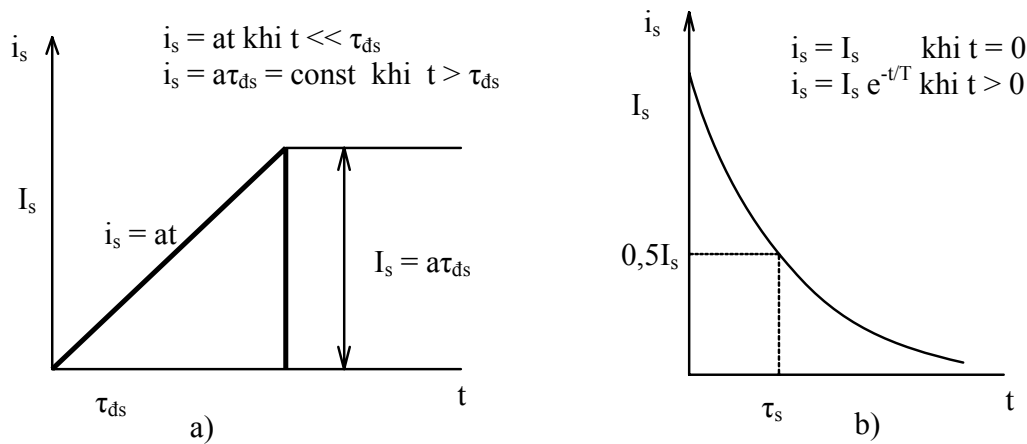
$$\text{hay} \quad \lg v(i_s, a) = - \left(\frac{i_s}{26} + \frac{a}{15,7} \right)$$

- Đối với vùng đồng núi cao:

$$\lg v(i_s, a) = - \left(\frac{i_s}{30} + \frac{a}{18} \right) \quad (1.6)$$

* Điện tích tản vào đất trong thời gian phóng điện sét nhiều lần thay đổi trong phạm vi từ 0,1C÷100C và có thể lớn hơn, trị số trung bình vào khoảng 20C. Chính lượng điện tích tản vào đất trong thời gian phóng điện sét này đóng một vai trò đáng kể trong sự duy trì điện tích âm của quả đất.

* Về dạng tính toán dòng điện sét, tùy từng trường hợp cụ thể có thể dùng các dạng đơn giản hoá như sau:



Hình 1.10: Các dạng sóng tính toán dòng điện sét

a) Dạng sóng hình thang $i_s = at$ (H.1.10a) dùng khi quá trình cần xét chịu ảnh hưởng chủ yếu của phần đầu sóng, còn sự giảm dòng điện sau trị số cực đại theo qui luật này hay qui luật kia không có ảnh hưởng đến quá trình. Ví dụ như khi xét quá trình sóng trong cuộn dây máy biến áp.

b) Dạng hàm mũ $i_s = I_s e^{-t/T}$ (H.1.10b) dùng khi tính toán các quá trình phát triển chậm, như khi tính hiệu ứng nhiệt của dòng điện sét, trong đó sự tăng dòng điện ở đầu sóng theo qui luật này hay qui luật kia thực tế không có ảnh hưởng nhiều đến kết quả.

T là hằng số thời gian của sự giảm dòng điện: $T = \frac{\tau_s}{0,7}$ với τ_s là thời gian toàn sóng (tức là thời gian tính đến khi dòng điện giảm còn bằng một nửa biên độ)

1.2.3 Cường độ hoạt động của sét-mật độ sét

Cường độ hoạt động của sét được biểu thị bằng số ngày trung bình có dòng điện sét hàng năm hoặc tổng số giờ trung bình có dông sét hàng năm.

Cường độ hoạt động của sét rất khác nhau ở các vùng khí hậu khác nhau. Khuynh hướng chung là cường độ hoạt động của sét tăng dần từ các miền địa cực đến miền nhiệt đới xích đạo, nơi có độ ẩm không khí và nhiệt độ cao hơn, tạo điều kiện dễ dàng cho sự hình thành mây dông.

Theo số liệu thống kê của nhiều nước, số ngày sét hàng năm ở các vùng nam, bắc cực vào khoảng 2÷3, vùng ôn đới khoảng 30÷50, vùng nhiệt đới khoảng 75÷100 và vùng xích đạo khoảng 100÷150.

Tuy nhiên khuynh hướng trên cùng không phải là tuyệt đối. Thực tế ngay trong cùng một miền khí hậu, cường độ hoạt động của sét cũng có thể khác nhau nhiều, do các điều kiện khí tượng thủy văn địa chất của từng khu vực tiểu khí hậu thay đổi phức tạp.

Trên toàn bộ bề mặt quả đất trong mỗi giây xảy ra khoảng 100 lần phóng điện sét, tức mỗi ngày có khoảng 8÷9 triệu lần sét đánh xuống mặt đất.

Mật độ của sét là số lần sét đánh trung bình trên một đơn vị diện tích mặt đất (1km^2) trong một ngày sét hoặc trong một giờ sét. Số liệu này cũng thay đổi theo vùng lãnh thổ.

1.2.4 Cực tính của sét

Số liệu quan trắc sét ở nhiều nước trong nhiều năm cho thấy, sóng dòng điện sét mang cực tính âm xuất hiện thường xuyên hơn và chiếm khoảng 80÷90% toàn bộ số lần phóng điện sét.

Chương 2

QUÁ TRÌNH SÓNG TRÊN ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

2.1 SỰ TRUYỀN SÓNG ĐIỆN TỬ TRÊN ĐƯỜNG DÂY KHÔNG TỒN HAO

Nguồn gây nên quá điện áp khí quyển trong hệ thống điện là phóng điện sét giữa mây dông và mặt đất.

Cũng như bất cứ một kích động điện từ nào vào hệ thống điện (các quá trình đóng cắt bình thường các trường hợp ngắn mạch, sự cố...) phóng điện sét gây nên sóng điện từ, toả ra xung quanh với tốc độ rất lớn, trong không khí tốc độ đó tương đương với tốc độ ánh sáng. Sóng điện từ xuất phát từ nơi sét đánh truyền dọc theo đường dây tải điện, gây nên quá điện áp tác dụng cách điện đường dây.

Trường hợp sét đánh trực tiếp vào dây của đường dây, thì trị số của quá điện áp tùy thuộc biên độ dòng sét có thể đến hàng triệu, thậm chí hàng chục triệu volt, vượt quá nhiều lần mức cách điện xung của điện trường dây ở bất cứ cấp điện áp nào.

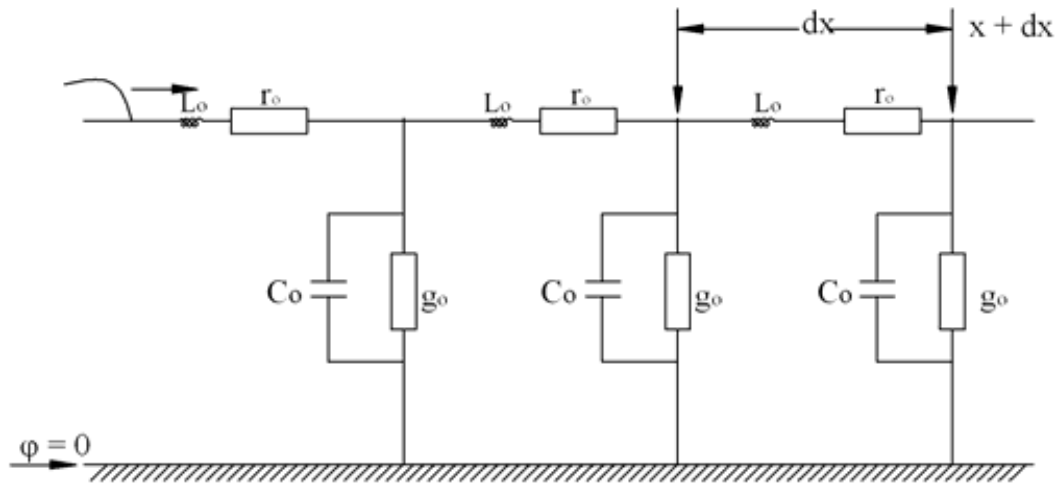
Trường hợp sét đánh gần đường dây, gây nên quá điện áp cảm ứng, có biên độ tương đối bé hơn, cao nhất khoảng vài trăm ngàn volt, nên thực tế chỉ nguy hiểm đối với cách điện đường dây của các cấp điện áp từ 35kV trở xuống.

Sóng quá điện áp xuất hiện trên đường dây truyền đến trạm biến áp sẽ tác dụng lên cách điện của các thiết bị trong trạm. Để bảo đảm sự làm việc liên tục của đường dây và sự an toàn đối với các thiết bị của trạm, do đó cần phải có những biện pháp chống sét có hiệu quả và thích hợp cho đường dây tải điện và trạm phân phối.

Hiện tượng quá điện áp và các biện pháp ngăn ngừa quá điện áp đều có cơ sở trên quá trình truyền sóng trên đường dây và phụ thuộc vào các sơ đồ đấu dây. Vì vậy, trong chương này trước hết cần nghiên cứu quá trình truyền sóng đó.

Quá trình truyền sóng điện từ trên đường dây điện áp cao bao giờ cũng kèm theo tổn hao trên điện trở tác dụng (r_0) của mạch truyền sóng (dây dẫn và đất), tổn hao dòng điện rò trên cách điện đường dây và tổn hao vàng quang (g_0) (H.2.0). Tuy nhiên để đơn giản quá trình tính toán, trong thực tế thường bỏ qua nhưng tổn hao này, chấp nhận những lời giải gần đúng

ngiêng về phía an toàn. Như vậy, quá trình truyền sóng chỉ còn chịu sự chi phối của điện dung C_o đối với đất và điện cảm L_o (theo đơn vị chiều dài) của đường dây.



Hình 2.0: Sơ đồ thay thế thông số rải mô tả quá trình truyền sóng trên đường dây tải điện

Hệ phương trình vi phân biểu diễn quá trình truyền sóng trên đường dây không tổn hao có dạng như sau:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial u}{\partial x} &= L_o \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} &= C_o \frac{\partial u}{\partial t} \end{aligned} \right\} (2.1)$$

$$\text{Hay } \left. \begin{aligned} -\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &= L_o C_o \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \\ -\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} &= L_o C_o \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \end{aligned} \right\} (2.2)$$

Với (2.2) mỗi phương trình chỉ còn chứa một biến số u hoặc i .

Nghiệm tổng quát của chúng dưới dạng sóng chạy như sau:

$$u = u^+ + u^- = f^+(x - vt) + f^-(x + vt) \quad (2.3)$$

$$i = i^+ + i^- = \frac{1}{Z} [f^+(x - vt) + f^-(x + vt)] \quad (2.4)$$

với: $Z = \sqrt{L_o / C_o}$ - tổng trở sóng của đường dây không tổn hao (Ω)

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_o C_o}} = \frac{c}{\sqrt{\mu \epsilon}} \text{ - tốc độ truyền sóng (m/s)}$$

c- tốc độ ánh sáng, bằng 3×10^8 m/s hay $300 \text{ m} / \mu\text{s}$

ϵ , μ - hệ số điện môi và hệ số từ thẩm của môi trường quanh dây dẫn.

Đối với đường dây cáp, lõi cáp được bọc chủ yếu bằng giấy tẩm dầu có $\epsilon = 1$, $\mu \approx 4$, do đó $v \approx \frac{c}{2} = 150 \text{ m} / \mu\text{s}$.

Đối với đường dây trên không, môi trường quanh dây dẫn là không khí có $\epsilon = 1$, $\mu = 1$ do đó $v = c = 300 \text{ m} / \mu\text{s}$.

Áp và dòng gồm hai thành phần xếp chồng lên nhau:

- Sóng $u^+ = f^+(x - vt)$ truyền theo chiều dương của trục x được gọi là sóng thuận

- Sóng $u^- = f^-(x + vt)$ truyền theo chiều ngược lại nên được gọi là sóng ngược.

Biểu thức (2.3) và (2.4) cho biết hàm tọa độ của sóng áp và dòng tại một thời điểm t đã cho ($t \geq \frac{x}{v}$); dạng sóng chạy.

Cũng có thể mô tả các sóng trên như là những hàm thời gian tại một điểm x đã cho của đường dây, tức là dạng sóng đứng. Sóng thuận trong trường hợp này có dạng $f^+(t - \frac{x}{v})$ và sóng ngược $f^-(t + \frac{x}{v})$, trong đó t là thời gian tính từ lúc bắt đầu quá trình quá độ tại thời điểm $t = 0$.

Giữa sóng áp và dòng, thuận cũng như ngược có quan hệ với nhau theo $i^+ = \frac{u^+}{Z}$ và $i^- = \frac{u^-}{Z}$

Cần lưu ý là sóng áp và sóng dòng ngược luôn luôn trái dấu với nhau.

Trong quá trình truyền sóng mỗi đường dây không tổn hao có thể đặc trưng bởi hai thông số:

- Hoạch điện cảm L_0 và điện dung C_0 theo đơn vị chiều dài đường dây.
- Hoạch tổng trở sóng Z và tốc độ truyền sóng v.

Đối với đường dây trên không không tổn hao, mỗi pha có một dây dẫn thì:

$$L_o = 2 \ln \frac{2\bar{h}_{dd}}{r_{dd}} \cdot 10^{-7}, \text{ H/m} \quad (2.5)$$

$$C_o = \frac{1}{c^2 \cdot L_o} = \frac{1}{2 \times 9 \times 10^9 \ln \frac{2\bar{h}_{dd}}{r_{dd}}}, \text{ F/m} \quad (2.6)$$

$$\text{Từ đó } Z = \sqrt{\frac{L_o}{C}} = 60 \ln \frac{2\bar{h}_{dd}}{r_{dd}} \quad \Omega \quad (2.7)$$

\bar{h}_{dd} - độ treo cao trung bình của dây dẫn so với mặt đất, m

r_{dd} - bán kính dây dẫn, m.

Tổng trở sóng Z phụ thuộc vào độ treo cao và bán kính dây dẫn của đường dây, nhưng mức phụ thuộc không nhiều vì dưới dạng hàm logarit (cần lưu ý là Z không phụ thuộc vào chiều dài của đường dây), thay đổi trong khoảng từ $250 \div 550 \Omega$ đối với đường dây có pha không phân chia, từ $250 \div 400 \Omega$ đối với đường dây có pha phân chia.

Tổng trở sóng của đường dây cáp, do C_o lớn và L_o bé nên nằm trong khoảng từ $5 \div 40 \Omega$ tùy theo tiết diện lõi, điện áp định mức và cấu tạo của cáp (U_{cao} , công suất lớn $\rightarrow Z$ bé do L_o giảm, C_o tăng).

Đối với đường dây không tổn hao, tốc độ truyền sóng v hầu như không thay đổi đối với một môi trường truyền sóng nhất định, tức là bằng tốc độ với đường dây trên không và bằng nửa tốc độ ánh sáng đối với đường dây cáp.

Các thông số đặc trưng cho đường dây không tổn hao có quan hệ nhau theo:

$$\begin{cases} L_o v = Z \\ C_o v = \frac{1}{Z} \end{cases} \text{ hay } \begin{cases} Z = \sqrt{L_o / C_o} \\ v = \frac{1}{\sqrt{L_o C_o}} \end{cases} \quad (2.8)$$

Vì v đã biết đối với một loại đường dây nhất định nên xác định Z chỉ cần một phép đo duy nhất, hoặc điện dung C_o hoặc điện cảm L_o của đường dây. Vì vậy thường dùng hai thông số Z và v để đặt trưng cho đường dây không tổn hao.

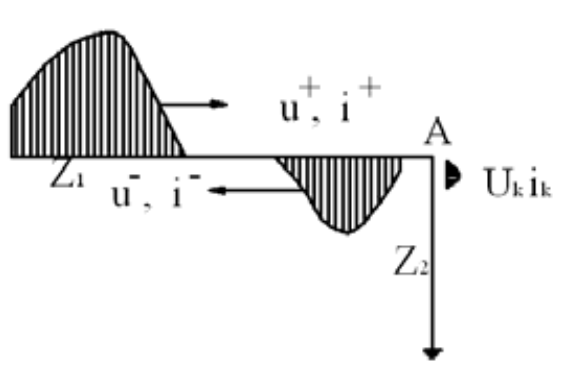
Trường hợp đường dây dài vô tận sẽ không có sóng ngược, tức sóng từ cuối đường dây trở về, như vậy áp và dòng tại một điểm trên đường dây được xác định duy nhất bởi thành phần sóng thuận, tức là theo qui luật của sóng tác dụng đầu đường dây:

$$u(x,t) = f^+(x-vt)$$

$$i(x,t) = \frac{1}{z} f^+(x+vt)$$

2.2 HIỆN TƯỢNG PHẢN XẠ VÀ KHÚC XẠ CỦA SÓNG: QUI TẮC PETERSEN

Giả thiết các sóng thuận: u^+ , i^+ truyền theo một đường dây có tổng trở sóng Z_1 đến điểm A thì chuyển sang một môi trường khác có tổng trở sóng Z_2 (H.2.1).



Hình 2.1: Sơ đồ truyền sóng

Biết rằng tổng trở sóng bằng tỷ số của sóng áp và dòng $Z = u/i$ mà $Z_2 \neq Z_1$ như vậy sóng áp và dòng truyền sang môi trường Z_2 đã thay đổi, có nghĩa là tại điểm nút A có hiện tượng phản xạ và khúc xạ của sóng.

Sự thay đổi của sóng áp và dòng khi có sự thay đổi môi trường truyền sóng phản ánh sự phân bố lại năng lượng điện và từ trường của sóng trong các phần tử điện cảm và điện dung của mạch $W = W_E + W_M = \frac{1}{2} C_o U^2 + \frac{1}{2} L_o I^2$. Nếu do sự chuyển đổi môi trường truyền sóng, áp tăng dòng giảm (Trường hợp $Z_2 > Z_1$) thì có nghĩa là một phần năng lượng từ trường đã chuyển thành năng lượng điện trường.

Trong trường hợp này, đối với điểm nút A, sóng thuận được gọi là sóng tới, ký hiệu là u_t, i_t . Sóng ngược được gọi là sóng phản xạ, ký hiệu u_p, i_p . Còn sóng truyền sang môi trường Z_2 được gọi là khúc xạ, ký hiệu u_k, i_k .

Với cách ký hiệu này, có thể viết lại nghiệm của phương trình truyền sóng trên đường dây không tổn hao ((2.3) và (2.4)) dưới dạng sau:

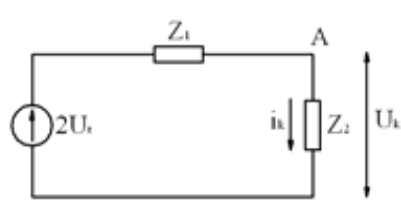
$$u_k = u_t + u_p \quad (2.9)$$

$$i_k = \frac{1}{z_1}(u_t - u_p) = i_t + i_p \quad (2.10)$$

Từ (2.9) và (2.10) suy ra quan hệ giữa sóng áp và dòng khúc xạ tại A với sóng tới như sau:

$$U_k + i_k z_1 = 2u_t$$

Biểu thức này tương đương với sơ đồ thay thế gồm nguồn điện áp bằng 2 lần sóng tới $2u_t$ cung cấp cho hai tổng trở sóng z_1, z_2 mắc nối tiếp nhau (H.2.2). Đó chính là sơ đồ thay thế theo qui tắc Petersen, dùng để xác định sóng áp và dòng khúc xạ khi môi trường truyền sóng thay đổi.



Hình 2 2.: Sơ đồ thay thế theo quy tắc Petersen

Trong phương trình (2.11) nếu thay thế $i_k = \frac{u_k}{z_2}$ thì có thể suy ra quan hệ giữa sóng áp khúc xạ và sóng áp tới như sau:

$$u_k \left(1 + \frac{z_1}{z_2}\right) = 2u_t \text{ hay } u_k = \frac{2}{1 + \frac{z_1}{z_2}} u_t = \frac{2z_2}{z_2 + z_1} u_t$$

Khi đã tính được sóng khúc xạ thì theo (2.9) suy ra được quan hệ giữa sóng áp phản xạ và sóng áp tới theo:

$$u_p = u_k - u_t = \left(\frac{2z_2}{z_2 + z_1} - 1\right)u_t = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} u_t$$

$$\text{Nhu vậy: } \frac{u_k}{u_t} = \frac{2z_2}{z_2 + z_1} = a_u \quad (2.12)$$

$$\frac{u_p}{u_t} = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} = \beta_u \quad (2.13)$$

Hệ số tỉ lệ $a_u = \frac{u_k}{u_t}$ được gọi là hệ số khúc xạ của sóng áp từ Z_1 sang Z_2 ;

$\beta_u = \frac{u_p}{u_t}$ được gọi là hệ số phản xạ của sóng áp từ điểm nút A trở về môi trường z_1 .

Cũng với phương pháp tương tự, nếu thay $u_k = i_k z_2$ và $u_t = i_t z_1$ vào biểu thức (2.11) sẽ suy ra được qua hệ giữa sóng dòng tới và dòng khúc xạ như sau:

$$i_k(z_2 + z_1) = 2i_t z_1 \Rightarrow i_k = \frac{2z_1}{z_1 + z_2} i_t$$

Biết được i_k , theo biểu thức (2.10) suy ra quan hệ giữa dòng phản xạ và dòng tới.

$$i_p = i_k - i_t = \left(\frac{2z_1}{z_1 + z_2} - 1 \right) i_t = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} i_t$$

Các hệ số tỷ lệ:

$$\alpha_i = \frac{i_k}{i_t} = \frac{2z_1}{z_1 + z_2} \text{ và } \beta_i = \frac{i_p}{i_t} = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \quad (2.14)$$

được gọi là hệ số khúc xạ của sóng dòng tự Z_1 sang Z_2 và hệ số phản xạ cầu sóng dòng từ nút A trở về Z_1 . Có thể nhận thấy dễ dàng quan hệ giữa α và β

$$\left. \begin{aligned} \alpha_u &= 1 + \beta_u \\ \alpha_i &= 1 + \beta_i \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Và α trong mọi trường hợp luôn dương, còn β có thể dương hoặc âm tùy theo tương quan giữa z_1 và z_2 .

Để biết phạm vi biến thiên của α và β , xét các trường hợp giới hạn:

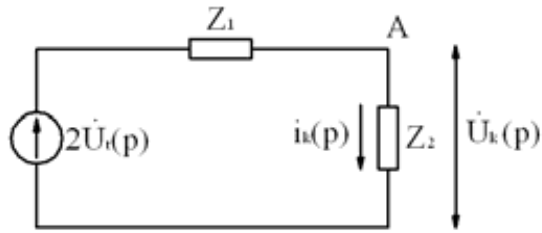
- Khi $Z_2 = 0$ thì $\alpha_u = 0$, $\beta_u = -1$ tức là áp tại điểm nút bằng không do sóng áp phản xạ âm toàn phần và $\alpha_i = 2$, $\beta_i = 1$. tức là dòng tại điểm nút tăng gấp đôi do sóng dòng phản xạ dương toàn phần.

- Khi $Z_2 = \infty$ tức là đường dây có tổng trở sóng z_1 bị hở mạch thì $\alpha_u = 2$, $\beta_u = 1$ tức là áp tại điểm nút tăng gấp đôi do sóng áp phản xạ dương toàn phần, còn $\alpha_i = 0$, $\beta_i = -1$. Dòng tại điểm nút bằng 0 do sóng dòng phản xạ âm toàn phần.

- Khi $Z_1 = Z_2$ thì $\alpha_u = 1$, $\beta_u = 0 \rightarrow \alpha_i = 1$, $\beta_i = 0$ sóng truyền qua điểm nút liên tục và không có quá trình phản xạ.

Tóm lại các hệ số khúc xạ và phản xạ biến thiên trong phạm vi như sau: $0 \leq \alpha \leq 2$; $-1 \leq \beta \leq 1$.

Trong trường hợp tổng quát, z_2 có dạng số phức, thì có thể viết qui tắc Petersen dưới dạng toán tử Laplace tương ứng với sơ đồ thay thế (H.2.3).



Hình 2.3: Sơ đồ thay thế theo quy tắc Petersen dưới dạng toán tử Laplace

$$\dot{u}_k(p) + i_k(p)z_1 = 2\dot{u}_t(p) \quad (2.16)$$

Tính được $\dot{u}_k(p) = \frac{2z_2(p)}{z_2(p) + z_1} \dot{u}_t(p) = \alpha_u(p) \dot{u}_t(p) \quad (2.17)$

$$\dot{u}_p(p) = \frac{z_2(p) - z_1}{z_2(p) + z_1} \dot{u}_t(p) = \beta_u(p) \dot{u}_t(p) \quad (2.18)$$

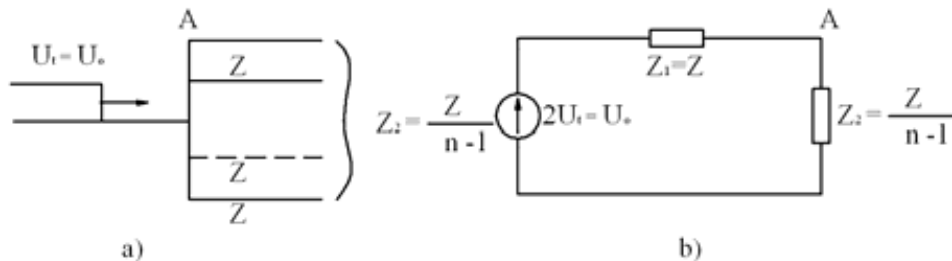
Từ nghiệm dưới dạng toán tử biến đổi dạng gốc theo các qui tắc toán học đã biết

$$\dot{u}(p) \div u(t)$$

Một số ví dụ ứng dụng qui tắc Petersen.

2.2.1 Sóng truyền đến trạm nối với nhiều đường dây.

Giả thiết có n đường dây giống nhau đấu vào thanh góp của trạm và sóng truyền vào trạm theo một trong các đường dây đó. (H.2.4a)



Hình 2.4: Sóng truyền theo một trong n đường dây dây vào trạm

Từ sơ đồ thay thế (H.2.4b) có thể suy ra một cách dễ dàng điện áp trên thanh góp của trạm.

$$u_A = u_k = \frac{2\left(\frac{z}{n-1}\right)}{\left(z + \frac{z}{n-1}\right)} u_t = \frac{2}{n} u_t, \quad (2.19)$$

- Sóng đến một trạm cắt ($n = 1$), quá điện áp trên thanh góp có biên độ gấp đôi sóng quá điện áp truyền trên đường dây: $u_k = 2u_t$. Đây là điều kiện làm việc nặng nề nhất đối với cách điện của các thiết bị đấu vào thanh góp của trạm.

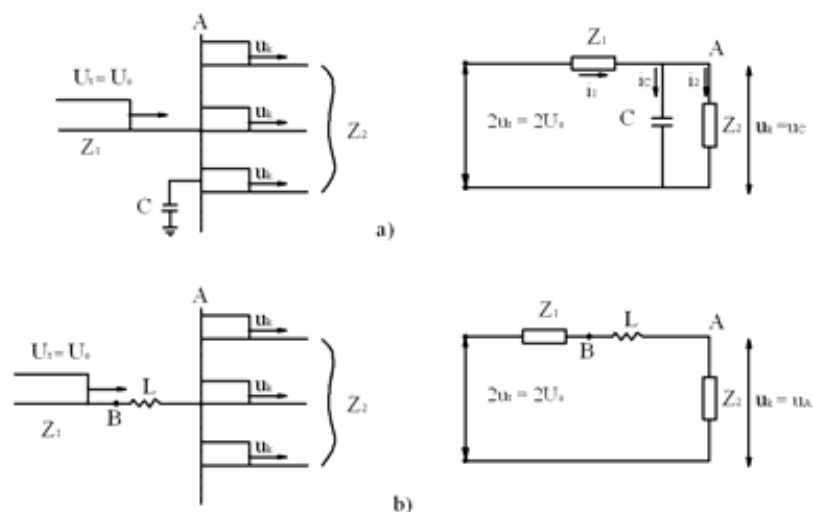
- Sóng đến một trạm chuyển tiếp ($n = 2$), quá điện áp trên thanh góp có biên độ bằng trên đường dây $u_k = u_t$. Có nghĩa là sóng sẽ đi ngang qua trạm không có thay đổi gì về biên độ. Cách điện của thiết bị trong trạm chịu mức quá điện áp tương đương quá điện áp trên đường dây.

- Số đường dây đấu vào thanh góp của trạm càng nhiều ($n \geq$) thì quá điện áp trên thanh góp của trạm càng giảm. Điều kiện làm việc của cách điện của trạm càng nhẹ nhàng hơn.

Đó là những điều cần lưu ý trong việc bảo vệ chống sét truyền vào trạm

2. Trường hợp giữa hai môi trường truyền sóng có mắc song song một điện dung hoặc nối tiếp một điện cảm.

Đó là những trường hợp thường gặp khi thanh góp của trạm có mắc song song một điện dung C (H.2.5a) hoặc đường dây có sóng truyền được đấu vào thanh góp của trạm qua một cuộn điện cảm L (H.2.5b).



Hình 2.5

Giả thiết sóng truyền theo đường dây Z_1 có dạng vuông góc, độ dài sóng vô hạn: $u_t = u_o = \text{const}$

Cần xác định điện áp tác dụng lên thanh góp của trạm.

Trên các sơ đồ thay thế theo qui tắc Petersen, điện áp trên thanh góp của trạm chính là điện áp trên tổng trở sóng tương đương Z_2 của tổng trở sóng của (n-1) đường dây còn lại.

Vì C và L những phần tử phức nên ở đây có thể dùng phương pháp toán tử Laplace để tính điện áp khúc xạ và phản xạ.

1.- Điện áp khúc xạ

- Đối với sơ đồ có điện dung song song (h.2.5a) phương trình cân bằng điện áp có dạng:

$$2u_t = \left(C \frac{du_c}{dt} + \frac{u_c}{z_2} \right) z_1 + u_c$$

$$2u_t = 2u_o = Cz_1 \frac{du_c}{dt} + \frac{z_1}{z_2} u_c + u_c$$

biến đổi ra dạng toán tử Laplace:

$$2 \frac{u_o}{p} = C.z_1.p.u_c(p) + \frac{z_1}{z_2} u_c(p) + u_c(p)$$

$$\text{Suy ra: } u_c(p) = u_o \frac{2z_2}{z_1 + z_2} \cdot \frac{\frac{z_1 + z_2}{C.z_1 z_2}}{p(p + \frac{z_1 + z_2}{C.z_1 z_2})}$$

Biến về dạng gốc:

$$\text{Biết qui tắc biến đổi ngược về dạng gốc của } \left[\frac{a}{p(p+a)} = 1 - e^{-at} \right]$$

sẽ tính được điện áp tác dụng trên điện dung C hay cũng chính là điện áp trên thanh góp:

$$u_k(t) = u_c(t) = \alpha$$

Phương trình mạch có dạng sau:

$$\frac{2U_0}{p} = I(Z_1 + Z_A) \quad Z_A = \frac{Z_2}{pC(Z_2 + \frac{1}{pC})} \quad I = \frac{U_A(p)}{Z_A} u_o(1 - e^{-t/T_c}) \quad (2.20)$$

Trong đó: $\alpha = \frac{2z_2}{z_1 + z_2}$: (2.21) hệ số khúc xạ của sóng áp trực tiếp từ z_1 sang z_2 khi

không chú ý đến ảnh hưởng của điện dung C.

$T_c = \frac{Cz_1z_2}{z_1 + z_2}$: hằng số thời gian truyền sóng qua điện dung C (2.22)

- Đối với sơ đồ có điện cảm nối tiếp (H2.2.5b) phương trình cân bằng điện áp có dạng:

$$- \quad 2u_t = 2u_o = iz_1 + L \frac{di}{dt} + iz_2$$

Biến đổi ra dạng toán tử Laplace:

$$\frac{2u_o}{p} = i(p)(z_1 + pL + z_2)$$

$$\text{Suy ra: } i(p) = 2 \frac{u_o}{p} \cdot \frac{1}{z_1 + z_2 + pL}$$

Điện áp tại điểm A (tại thanh góp) bằng:

$$u_A(p) = u_k(p) = i(p) \cdot z_2 = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} \cdot \frac{\frac{z_1 + z_2}{L}}{p(p + \frac{z_1 + z_2}{L})}$$

Biến đổi ngược về dạng gốc, sẽ có điện áp tác dụng trên thanh góp:

$$U_k(t) = \alpha U_o (1 - e^{-t/T_L}) \quad (2.22)$$

Với

$$\alpha = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} - \text{hệ số khúc xạ của sóng áp trực tiếp từ } z_1 \text{ sang } z_2 \text{ khi không chú ý đến ảnh}$$

hưởng của điện cảm L

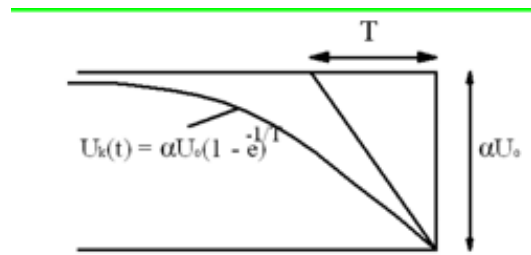
T_L - hằng số thời gian truyền sóng qua điện cảm L:

$$T_L = \frac{L}{z_1 + z_2} \quad (2.23)$$

Từ (2.20) và (2.22) thấy rằng trong cả hai trường hợp, điện áp trên thanh góp (khúc xạ) đều có dạng giống nhau, chỉ khác nhau ở hằng số thời gian T. Nếu chưa kể đến ảnh hưởng của điện dung C và điện cảm L, điện áp khúc xạ qua thanh góp vẫn giữ dạng sóng vuông góc và biên độ bằng:

$$u_k = u_o \frac{2z_2}{z_1 + z_2} = u_o \alpha$$

Điện dung C và điện cảm L có tác dụng làm giảm độ dốc đầu sóng khúc xạ tương ứng với các hằng số thời gian T_C và T_L (H.2.6), nhưng trường hợp sóng tới dài vô hạn thì chúng không có ảnh hưởng đến biên độ của sóng khúc xạ.



Hình 2.6

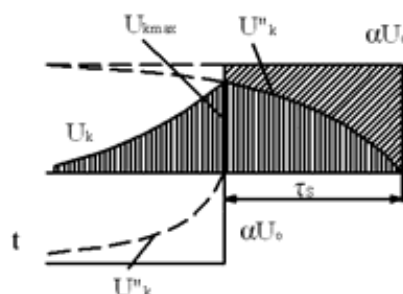
Đối với trạm đầu vào đường dây trên không thì nên dùng tụ đầu vào thanh góp, còn trạm đầu vào đường dây cáp thì nên dùng điện cảm vì hiệu quả giảm độ dốc đầu sóng tốt hơn.

Ví dụ: a) Điện dung của thanh góp và của các thiết bị đầu vào thanh góp của trạm thường có trị số trong khoảng $(1 \div 5)10^{-3} \mu\text{F}$. Khi đó, đối với một trạm cắt đầu với đường dây trên không ($Z=500\Omega$) thì hằng số thời gian: $T_C = (1 \div 5)10^{-3} \times 500 = (0,5 \div 2,5)\mu\text{s}$, trở sóng bé nên T_C bé hơn hàng chục đến hàng trăm lần. Nếu đầu vào thanh góp một tụ có $C = 0,5 \div 1 \mu\text{F}$ thì hằng số thời gian T_C trường hợp trạm cắt đầu với đường dây trên không sẽ tăng lên đến $T_C = 250 \div 500 \mu\text{F}$ còn trường hợp đường dây cáp T_C chỉ tăng đến khoảng $10 \div 20 \mu\text{s}$.

b) Điện cảm của các cuộn kháng điện đầu giữa đường dây và thanh góp trạm có trị số thường vào khoảng $(2 \div 5)\text{mH}$. Như vậy đối với một trạm chuyển tiếp ($n = 2$) đầu với các đường dây trên không ($Z_1 = Z_2 = 500 \Omega$) thì hằng số thời gian $T_L = \frac{(2 \div 5) \times 500}{1000} = 2 \div 5 \mu\text{s}$

Nếu trạm đầu với các đường dây cáp thì T_L có thể tăng lên gấp trăm lần, $T_L = 100 \div 500 \mu\text{s}$.

Còn đối với trạm cắt, tức $Z_2 = \infty$ thì $T_L = 0$, cuộn điện cảm không có tác dụng giảm độ dốc đầu sóng khúc xạ nữa.



Hình 2.7: Tác dụng giảm biên độ sóng khúc xạ đối với sóng có độ dài sóng τ_s

Điện dung và điện cảm có tác dụng giảm đáng kể biên độ sóng khúc xạ chỉ độ dài sóng tới τ_s bé hơn nhiều so với hằng số thời gian T. Trong trường hợp này sóng tới độ dài sóng τ_s có thể coi như xếp chồng của hai sóng độ dài vô hạn cùng biên độ nhưng khác dấu và lệch nhau một thời gian τ_s (H.2.7). Và như vậy điện áp khúc xạ là tổng của hai thành phần u_k' của sóng dương và u_k'' của sóng âm có độ dài sóng vô hạn:

$$u_k = u_k' + u_k''$$

Biên độ của u_k xuất hiện ở thời điểm $t = \tau_s$ bằng:

$$u_{k \max} = \alpha U_o (1 - e^{-\tau_s/T}) \quad \text{vì } \tau_s \ll T \text{ tức } \frac{\tau_s}{T} \ll 1 \text{ nên có thể tính gần đúng: } e^{-\tau_s/T} \approx 1 - \frac{\tau_s}{T}$$

$$\text{Do đó: } u_{k \max} = \alpha U_o \frac{\tau_s}{T}$$

Như vậy, trong thực tế điện dung và điện cảm đầu vào thanh góp của trạm có thể giảm rất nhiều biên độ và độ dốc của các sóng cắt truyền vào trạm.

2. Điện áp phản xạ

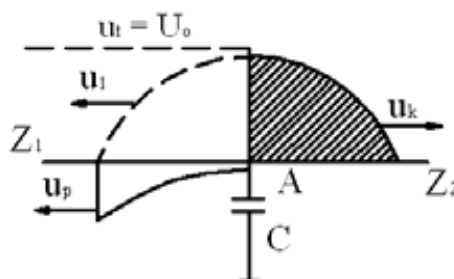
Trên đây đã nói đến tác dụng giống nhau của điện cảm và điện dung đối với sóng khúc xạ. Nhưng trong hai trường hợp, sóng phản xạ khác nhau nhiều.

- Trường hợp sơ đồ có điện dung song song:

$$u_p = u_k - u_t = \alpha U_o (1 - e^{-t/T_c}) - U_o = U_o (\alpha - 1 - \alpha e^{-t/T_c}) \quad (2.25)$$

Ở thời điểm ban đầu $t = 0 \rightarrow u_p(0) = -U_o = -u_t$ sóng phản xạ âm toàn phần.

Như vậy là ở thời điểm ban đầu, điện dung có tác dụng tương đương ngắn mạch đường dây (H.2.8).



Hình 2.8: Sóng phản xạ tại thanh góp có đầu với điện dung song song

Khi $t \rightarrow \infty$, u_p đạt đến trị số ổn định bằng:

$$u_p(\infty) = U_o(\alpha - 1) = U_o\beta = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}U_o$$

Trên đường dây sóng tới (z_1), khi đã có sóng phản xạ trở về thì điện áp bằng:

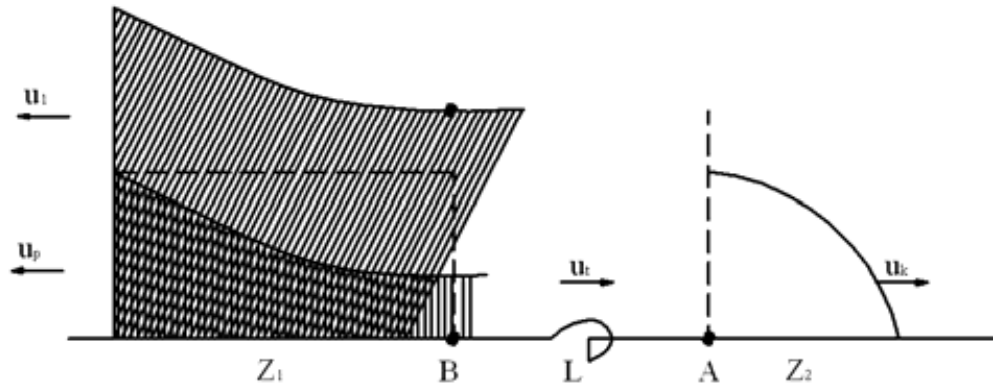
$$u_1(t) = u_t(t) + u_p(t) = U_o + U_o(\alpha - 1 - \alpha e^{-t/T_c})$$

$$u_1(t) = U_o(1 - \alpha e^{-t/T_c}) \quad (2.26)$$

Có dạng giống như sóng khúc xạ. Như vậy, điện dung có tác dụng giảm độ dốc đầu sóng cả về hai phía cả trạm lẫn đường dây (H.2.8).

- Trường hợp sơ đồ có điện cảm nối tiếp, điện áp khúc xạ ở điểm B (trước cuộn cảm) bằng.

$$u_B(p) = \frac{2u(p)}{z_1 + z_2 + pL}(z_2 + pL) = \frac{2(z_2 + pL)}{p(z_1 + z_2 + pL)}U_o$$



Hình 2.9: sóng phản xạ từ cuộn cảm L trở về đường dây z_1

Biến đổi về dạng gốc:

$$u_B(t) = U_o[\alpha + (2 - \alpha)e^{-t/T_L}] \quad (2.27)$$

Do đó sóng phản xạ bằng:

$$u_p(t) = u_B(t) - u_t(t) = U_o[\alpha - 1 + (2 - \alpha)e^{-t/T_L}] \quad (2.28)$$

Khi $t = 0 \Rightarrow u_p(0) = u_o = u_t$ tức là sóng áp phản xạ dương toàn phần từ cuộn cảm, tương đương như từ cuối đường dây bị hở mạch.

$$\text{Khi } t \rightarrow \infty; u_p(\infty) = U_o \beta = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} U_o$$

Trên đường dây z_1 khi đã có sóng phản xạ trở về thì điện áp bằng tổng của sóng tới và sóng phản xạ:

$$u_1(t) = u_t(t) + u_p(t) = U_o + U_o [\alpha - 1 + (2 - \alpha)e^{-t/T_L}] = U_o [\alpha + (2 - \alpha)e^{-t/T_L}] \quad (2.29)$$

$$\text{Khi } t = 0 \Rightarrow u_1 = 2U_o = u_{1\max}; t \rightarrow \infty \Rightarrow u_1 = \alpha U_o$$

Ở thời điểm ban đầu, do sóng áp phản xạ dương toàn phần nên điện áp trên đường dây z_1 tăng lên gấp đôi. Tính chất này cũng được ứng dụng để làm tăng độ nhạy của thiết bị chống sét (Chương 7)

2.2.3 Sóng tác dụng lên mạch dao động

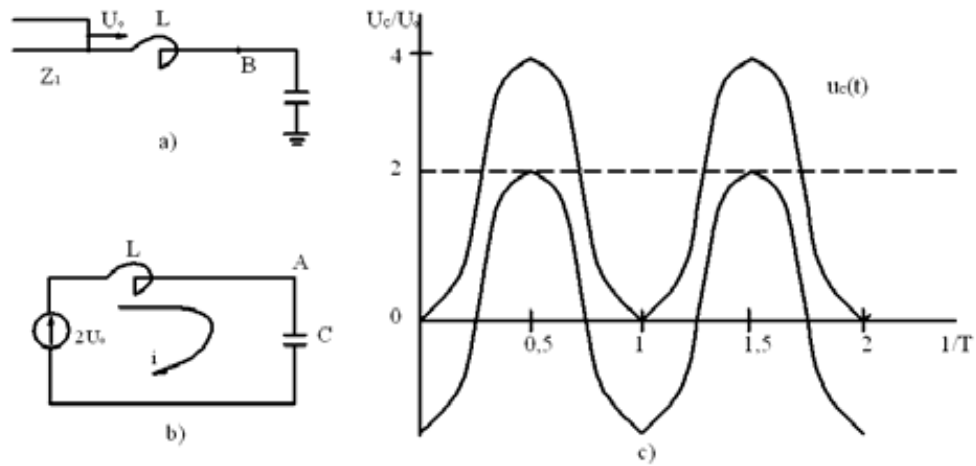
Trường hợp sóng u_t tác dụng lên một mạch dao động tạo thành bởi điện cảm L và điện dung C (H.2.10a) thì theo sơ đồ thay thế (H.2.10b) phương trình cân bằng điện áp có dạng.

$$2u_t = L \frac{di}{dt} + u_c = LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + u_c$$

Với sóng tới có dạng $u_t = U_o = \text{const}$ thì phương trình trên có thể viết dưới dạng toán tử Laplace

$$\frac{2U_o}{p} = LCp^2 \dot{u}_c(p) + \dot{u}_c(p)$$

$$\text{Suy ra : } \dot{u}_c(p) = 2U_o \frac{1/LC}{p(p^2 + 1/LC)} = 2U_o \frac{\omega^2}{p(p^2 + \omega^2)}$$



Hình 2.10: Sóng $u_t = U_0 = \text{const}$ tác dụng lên một mạch dao động

Biên đổi về dạng gốc:

$$u_c(t) = 2U_0(1 - \cos\omega t), \quad \omega = 1/\sqrt{LC} \quad (2.30)$$

Như vậy, điện áp trên điện dung C gồm hai thành phần xếp chồng lên nhau:

Thành phần không chu kỳ $2U_0$ không đổi;

Thành phần $(-2U_0\cos\omega t)$ biến thiên theo chu kỳ:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC}$$

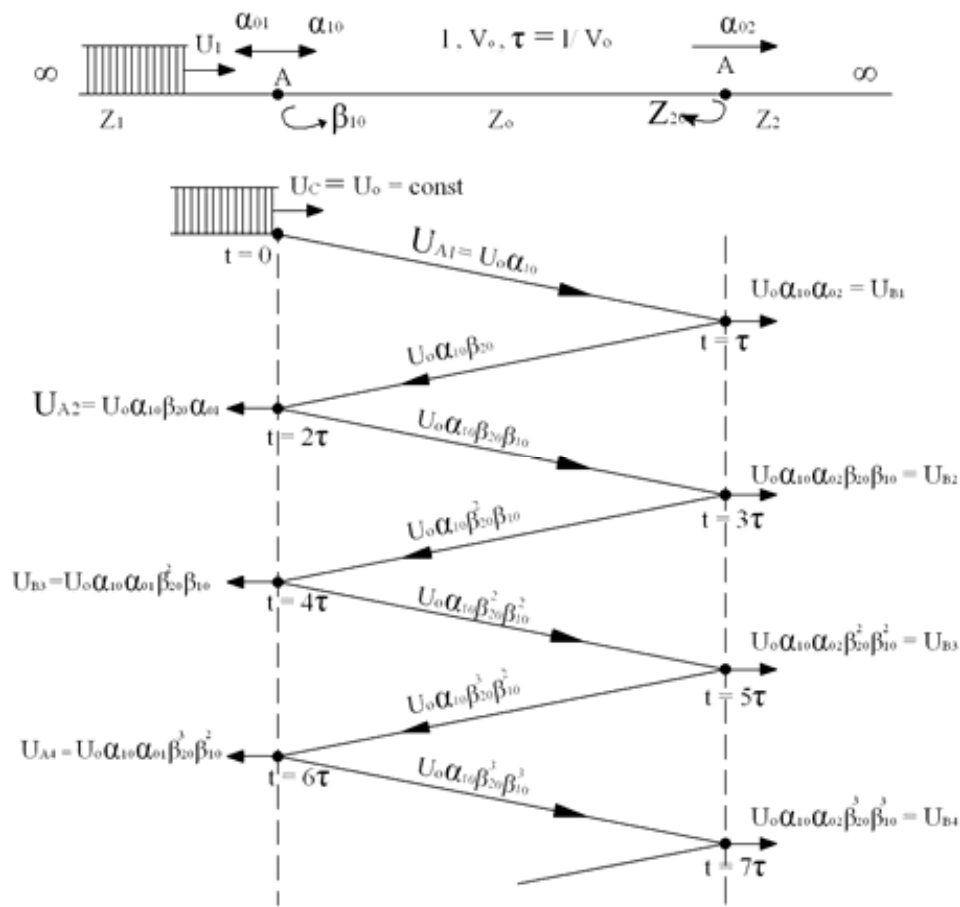
$$\text{Khi } t = \frac{T}{2} \text{ thì } u_c = u_{c\text{max}} = 4U_0$$

Độ dốc của sóng tác dụng lên điện dung đạt trị số cực đại tại $t = \frac{T}{4}$ và bằng

$(\frac{dU_o}{dt})_{\text{max}} = 2U_0 \frac{1}{LC}$. Như vậy, độ dốc của sóng tăng khi giảm trị số L hoặc (và) C của mạch dao động.

2.3 SỰ PHẢN XẠ NHIỀU LẦN CỦA SÓNG

Giữa hai đường dây có tổng trở sóng Z_1 và Z_2 được mắc nối tiếp với nhau qua một đoạn đường dây ngắn có chiều dài l, có tổng trở sóng Z_0 . Sóng truyền qua các môi trường sẽ có sự phản xạ nhiều lần tại các điểm nút A và B. Ta cần tính toán điện áp tại A và B theo thời gian.



Hình 2.11: Sự phản xạ nhiều lần của sóng

Giả thiết đường dây z_1 và z_2 có chiều dài bán vô hạn, tức là không có sóng phản xạ từ đầu đường dây z_1 và từ cuối đường dây z_2 trở về. Quá trình truyền sóng được minh họa trong hình 2.11. Trong đó các hệ số khúc xạ và phản xạ được xác định như sau:

Hệ số khúc xạ:

$$z_1 \rightarrow z_0 : \alpha_{10} = \frac{2z_0}{z_1 + z_0}$$

$$z_0 \rightarrow z_2 : \alpha_{02} = \frac{2z_2}{z_0 + z_2}$$

$$z_0 \rightarrow z_1 : \alpha_{01} = \frac{2z_1}{z_0 + z_1}$$

$$\text{Hệ số phản xạ từ B về } Z_0: \beta_{20} = \frac{z_2 - z_0}{z_2 + z_0} = \alpha_{02} - 1$$

Hệ số phản xạ từ A về Z₀: $\beta_{10} = \frac{z_1 - z_0}{z_1 + z_0} = \alpha_{01} - 1$

Nếu v₀ là tốc độ truyền sóng trong môi trường z₀ thì thời gian để sóng đi từ A đến B bằng $\tau = l/v_0$

Chọn t = 0 khi sóng tới A lần đầu tiên. Điện áp ở điểm A khi sóng có dạng bất kỳ. Khi

$$0 < t < 2\tau \Rightarrow u_A = u_{A1} = \alpha_{10}u(t)$$

$$2\tau \leq t < 4\tau \Rightarrow u_A = u_{A1} + u_{A2} = \alpha_{10}u(t) + \alpha_{10}\beta_{20}\alpha_{01}u(t-2\tau)$$

$$4\tau \leq t < 6\tau \Rightarrow u_A = u_{A1} + u_{A2} + u_{A3} \text{ với } u_{A3} = \alpha_{10}\alpha_{01}\beta_{20}^2\alpha_{01}u(t-4\tau)$$

Có thể nhận thấy dễ dàng là u_{A3} chỉ khác u_{A2} một hệ số bằng $\beta_{10}\beta_{20}$ và thời gian chậm sau bằng 2τ.

Từ đó suy ra điện áp ở điểm A một cách tổng quát

$$u_A = \alpha_{10} \left\{ u(t) + \beta_{20}\alpha_{01} \left[u(t-2\tau) + \beta_{10}\beta_{20}u(t-4\tau) + \beta_{10}^2\beta_{20}^2u(t-6\tau) + \beta_{10}^3\beta_{20}^3u(t-8\tau) + \dots + \beta_{10}^k\beta_{20}^k u[t-2(k+1)\tau + \dots] \right] \right\} \quad (2.31)$$

Và tương tự điện áp tại điểm B bằng:

$$u_B = \alpha_{10}\alpha_{02} \left\{ u(t-\tau) + \beta_{10}\beta_{20} \left[u(t-3\tau) + \beta_{10}^2\beta_{20}^2u(t-5\tau) + \dots + \beta_{10}^k\beta_{20}^k u[t-(2k+1)\tau + \dots] \right] \right\} \quad (2.32)$$

Trường hợp sóng tác dụng có dạng sóng vuông, độ dài sóng vô tận, tức u(t) = U₀ = const thì điện áp tại A và B sẽ bằng:

$$u_A = U_0\alpha_{10} \left\{ 1 + \alpha_{01}\beta_{20} \left[1 + \beta_{10}\beta_{20} + (\beta_{10}\beta_{20})^2 + \dots + (\beta_{10}\beta_{20})^k + \dots \right] \right\} \quad (2.33)$$

$$u_B = U_0\alpha_{10}\alpha_{02} \left\{ 1 + \beta_{10}\beta_{20} + (\beta_{10}\beta_{20})^2 + \dots + (\beta_{10}\beta_{20})^k + \dots \right\} \quad (2.34)$$

Biểu thức trong dấu ngoặc vuông [...] là một cấp số nhân hội tụ vì công bội $\beta_{10}\beta_{20} < 1$.

Nếu số lần phản xạ tăng lên vô cùng thì tổng của chúng đạt trị số giới hạn bằng:

$$n \rightarrow \infty \sum_1^n = 1 + \beta_{10}\beta_{20} + (\beta_{10}\beta_{20})^2 + \dots + (\beta_{10}\beta_{20})^n = \frac{1}{1 - \beta_{10}\beta_{20}}$$

Kết quả là:

$$u_A = U_0\alpha_{10} + U_0\alpha_{10}\alpha_{01}\beta_{20} \frac{1}{1 - \beta_{10}\beta_{20}}$$

$$u_B = U_0\alpha_{10}\alpha_{02} \frac{1}{1 - \beta_{10}\beta_{20}}$$

Nhưng: $1 + \frac{\beta_{20}\alpha_{01}}{1 - \beta_{10}\beta_{20}} = \frac{1 - \beta_{10}\beta_{20} + \beta_{20}\alpha_{01}}{1 - \beta_{10}\beta_{20}} = \frac{1 + \beta_{20}(\alpha_{01} - \beta_{10})}{1 - \beta_{10}\beta_{20}} = \frac{1 + \beta_{20}}{1 - \beta_{10}\beta_{20}} = \frac{\alpha_{02}}{1 - \beta_{10}\beta_{20}}$

Do đó khi số lần phản xạ tăng lên vô cùng tức là khi $t \rightarrow \infty$, thì điện áp ở điểm A và B sẽ bằng nhau và bằng:

$$u_A = u_B = \frac{\alpha_{10}\alpha_{02}}{1 - \beta_{10}\beta_{20}} U_o$$

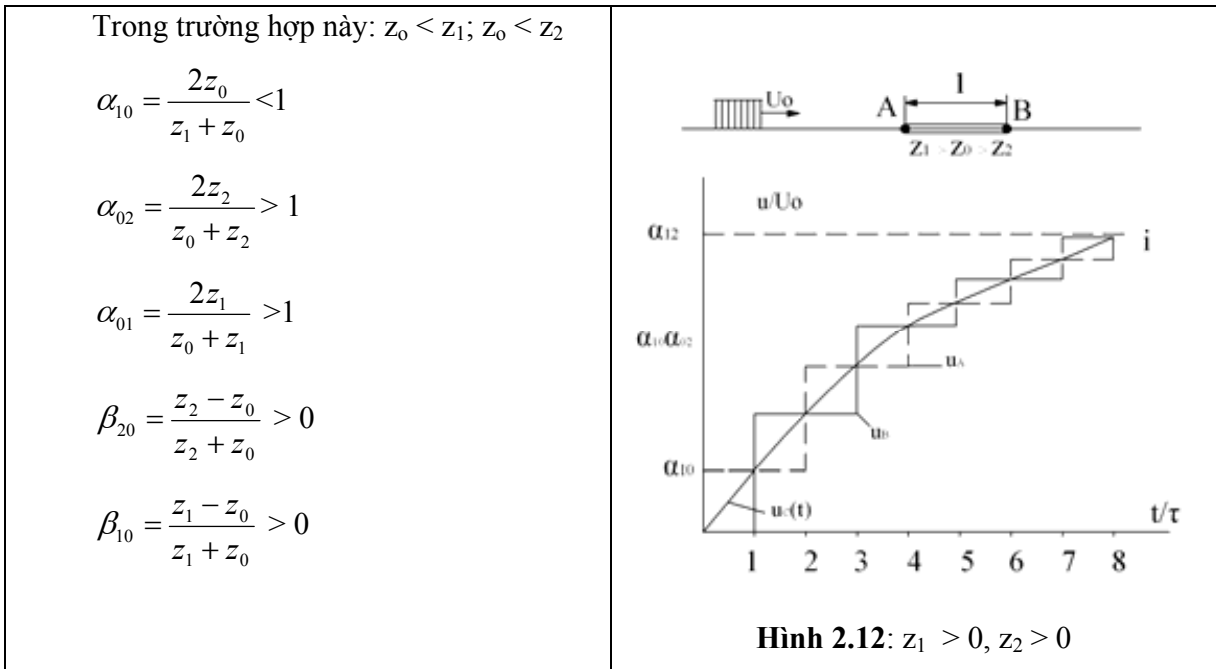
Mà: $\frac{\alpha_{10}\alpha_{02}}{1 - \beta_{10}\beta_{20}} = \frac{2z_o}{z_1 + z_2} \cdot \frac{2z_2}{z_o + z_2} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{z_1 - z_o}{z_1 + z_o}\right)\left(\frac{z_2 - z_o}{z_2 + z_o}\right)} = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} = \alpha_{12}$

α_{12} là hệ số khúc xạ từ z_1 sang z_2 khi không có z_o .

Cuối cùng ta có: $u_A = u_B = \alpha_{12} u_o$ (2.35)

Như vậy, khi quá trình tiến tới ổn định ($t \rightarrow \infty$) thì ảnh hưởng của phần tử z_o sẽ mất, điện áp ở hai điểm nút A và B sẽ tiến đến cùng một trị số giới hạn như khi sóng khúc xạ trực tiếp từ z_1 qua z_2 . Tuy nhiên, quá trình biến thiên của điện áp A và B trong thời gian quá độ, tuy tương quan giữa tổng trở sóng của các phần tử, có những đặc điểm riêng của nó. Ta sẽ lần lượt xét các trường hợp sau đây.

2.3.1 Đoạn dây giữa có tổng trở sóng z_o nhỏ hơn tổng trở sóng z_1 và z_2 (H.2.12)



Do đó $\beta_{10} \cdot \beta_{20} > 0$ và $\alpha_{01} \cdot \beta_{20} > 0$

Các số hạng trong chuỗi số u_A và u_B đều dương. Như vậy quá trình tiến tới ổn định của chúng là quá trình tăng dần điện áp theo từng cấp, mỗi cấp cách nhau khoảng thời gian $2\tau = 2l/v_o$ (H.2.12).

Khi z_o rất bé so với z_1 và z_2 thì quá trình truyền sóng tương tự như khi giữa z_1 và z_2 có mắc một điện dung song song, có thể thay thế đoạn z_o bằng một điện dung tương đương và điện áp u_A và u_B sẽ bằng điện áp khúc xạ qua điện dung tương đương C_{td} .

$$C_{td} = C_o l = \frac{l}{z_o \cdot v_o} = \frac{\tau}{z_o}; C_o = \frac{1}{z_o \cdot v_o}$$

$$u_A = u_B = \alpha_{12} U_o (1 - e^{-t/\tau_c})$$

$$\text{với: } \tau_c = \frac{C_{td} \cdot z_1 \cdot z_2}{z_1 + z_2} = \tau \frac{z_2/z_o}{1 + z_2/z_1}$$

Trường hợp này có thể gặp trong thực tế, khi sóng truyền từ đường dây trên không qua đoạn cáp vào trạm. Đoạn cáp có tác dụng như một điện dung, làm giảm độ dốc đầu sóng, tăng an toàn cho cách điện dọc của máy biến áp và thiết bị điện trong trạm.

2.3.2 Đoạn dây giữa có tổng trở sóng z_o lớn hơn tổng trở sóng z_1 và z_2 của các đường dây hai bên (H.2.13)

Trong trường hợp này:

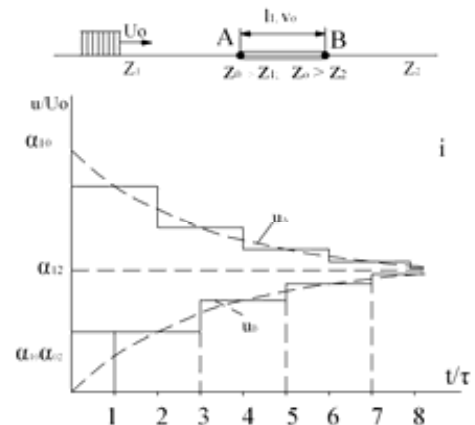
$$z_o > z_1; z_o > z_2$$

$$\alpha_{10} > 1 \quad \beta_{10} < 0$$

$$\alpha_{01} < 1 \quad \beta_{20} < 0$$

$$\alpha_{02} < 1 \quad \beta_{10} \cdot \beta_{20} > 0$$

Vì $\beta_{10} \cdot \beta_{20} > 0$ nên u_B cũng có dạng tăng từng cấp giống như trường hợp trên để cuối cùng tiến đến trị số giới hạn bằng $\alpha_{12} \cdot U_o$



Hình 2.13

Nhưng biến thiên của u_A có khác: Chỉ có số hạng đầu tiên $U_o \alpha_{10}$ dương, còn tất cả các số hạng sau đều âm (vì các số hạng trong chuỗi số nhân với $\beta_{20} \cdot \alpha_{01}$ là một số âm). Khi sóng tới

(U_0) đến điểm A, điện áp tăng vọt lên đến $U_0 \alpha_{10}$ sau đó giảm dần theo từng cấp cho đến khi đạt đến trị số giới hạn bằng $\alpha_{12} \cdot U_0$.

Dạng điện áp này tương tự như giữa z_1 và z_2 có mắc nối tiếp một điện cảm. Khi $z_0 \gg z_1$ và z_2 thì có thể thay thế đoạn z_0 bằng một điện cảm tương và điện áp tại các nút bằng:

$$u_B = \alpha_{12} U_0 (1 - e^{-t/T_L})$$

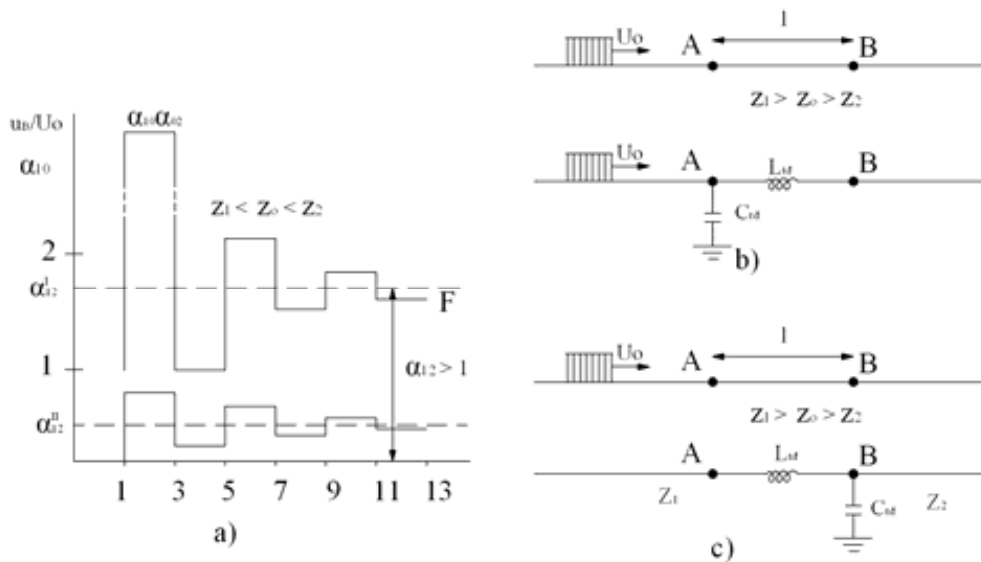
$$u_A = \alpha_{12} U_0 \left(1 + \frac{z_1}{z_2} e^{-t/T_L}\right)$$

$$\text{với } T_L = \frac{L_{td}}{z_1 + z_2} = \frac{L_0 l}{z_1 + z_2} = \frac{\tau z_0}{z_1 + z_2} = \tau \frac{z_0 / z_1}{1 + z_2 / z_1}$$

2.3.3 $z_1 < z_0 < z_2$ và $z_1 > z_0 > z_2$

Các hệ số phản xạ β_{10} và β_{20} khác dấu nhau. Trong công thức u_A và u_B các số hạng của chuỗi số luôn đổi dấu. Biến thiên của u_A và u_B theo thời gian có dạng những dao động tắt dần quanh trị số giới hạn $\alpha_{12} \cdot U_0$, do đó có thể xem như sóng truyền trong một mạch dao động.

Hình 2.14 dưới đây cho dạng điện áp tại điểm B trong hai trường hợp: $z_2 > z_1 \rightarrow \alpha_{12} > 1$ và $z_2 < z_1 \rightarrow \alpha_{12} < 1$.



Hình 2.14

Chú ý

$$\alpha_{12} = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} \rightarrow \begin{cases} z_2 > z_1 \rightarrow \alpha_{12}' > 1 \\ z_2 < z_1 \rightarrow \alpha_{12}'' < 1 \end{cases}$$

Qua hình 2.14a, sơ bộ có thể thấy trường hợp $z_1 < z_0 < z_2$ điện áp tại điểm B có thể đạt đến những giá trị số gấp trên lần sóng tới. Đó là trường hợp cần tránh (trị số điện áp đến điểm B lần đầu bằng $u_{B1} = u_0 \alpha_{10} \alpha_{02}$).

$$\text{Vì } \alpha_{10} = \frac{2z_0}{z_2 + z_0} > 1; \alpha_{02} = \frac{2z_2}{z_2 + z_0} > 1 \rightarrow u_{B \max} = u_{B1} > u_0$$

Khi $z_1 > z_0 > z_2$ thì đối với môi trường z_2, z_0 có tác dụng như một điện cảm, còn đối với z_1, z_0 có tác dụng như một điện dung. Trường hợp này tương ứng với sơ đồ thay thế (H.2.14b).

Trường hợp $z_1 < z_0 < z_2$ tương ứng với sơ đồ thay thế hình 2.14c.

Trong các sơ đồ thay thế này:

$$L_{td} = L_0 l; \quad C_{td} = \frac{C_0 l}{2}$$

$$z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C}}; \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{L_{td} \cdot C_{td}} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_{td} \cdot z_2} - \frac{z_1}{L_{td}} \right)^2}$$

Ví dụ, người ta đã tính được điện áp trên điện dung C_{td} của sơ đồ hình 2.14c khi có sóng vuông góc dài vô tận tác dụng bằng :

$$u_B = u_{C_{td}} = U_0 \frac{2z_2}{z_1 + |z_2|} \left[1 - \frac{e^{-\delta}}{\cos \varphi} \cos(\omega t - \varphi) \right]$$

tức là gồm một dao động tắt dần xếp chồng lên trị số ổn định $U_0 \alpha_{12}$ với:

$$\text{Hệ số tắt dần: } \delta = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_{td} Z_2} + \frac{z_1}{L_{td}} \right)$$

$$\text{Góc lệch pha: } \operatorname{tg} \varphi = \frac{\delta}{\omega}$$

$$\text{Tần số dao động: } \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{4l/v_0} = \frac{v_0 \pi}{2l}$$

Trị số điện áp lớn nhất tác động lên z_2 xảy ra sau một nửa chu kỳ của dao động, tức là khi $\omega t = \pi$

$$\text{Nhu vậy: } u_{C \max} = U_0 \frac{2z_2}{z_1 + z_2} (1 + e^{\delta \pi / \omega})$$

$$\text{Hay } \frac{u_{C\max}}{U_0} = \frac{2}{1 + \frac{z_1}{z_2}} (1 - e^{-\frac{\delta\pi}{\sigma}}) = \frac{2}{1 + \frac{z_1}{z_2}} (1 + e^{-\pi\sqrt{z_1/z_2}})$$

với $z_1 = z_2$ thì ($u_{C\max} = U_0$) quá điện áp không cao lắm.

$z_1 > z_2$ thì quá điện áp thậm chí chỉ còn nhỏ hơn nữa ($u_{C\max} < U_0$)

Nhưng với $z_1 < z_2$ tức khi sóng đi từ môi trường có tổng trở sóng bé đang môi trường có tổng trở sóng lớn, thì quá điện áp có trị số đáng kể. Ví dụ, $z_1 = 50\Omega$ là tổng sóng của đường dây cáp, còn $z_2 = 5.000\Omega$ là tổng trở sóng của cuộn dây máy biến áp:

$$\frac{u_{C\max}}{U_0} = \frac{2}{1 + \frac{50}{5000}} (1 + e^{-\pi\sqrt{50/5000}}) = 3,46$$

Tóm lại, nếu các tổng trở sóng mắc nối tiếp nhau z_1, z_0, z_2 hoặc lớn dần hoặc bé dần thì có thể gây nên dao động riêng tắt dần gồm một chuỗi những đợt sóng vuông góc truyền vào lưới. Nhưng dao động cao tần này có thể gây cộng hưởng trong một mạch cục bộ nào đó nếu như tần số của chúng phù hợp với tần số của nguồn. Quá điện áp cộng hưởng có thể làm hư hỏng cách điện của các cuộn dây MBA và máy điện. Do đó cần phải tránh những dạng sơ đồ kiểu đó.

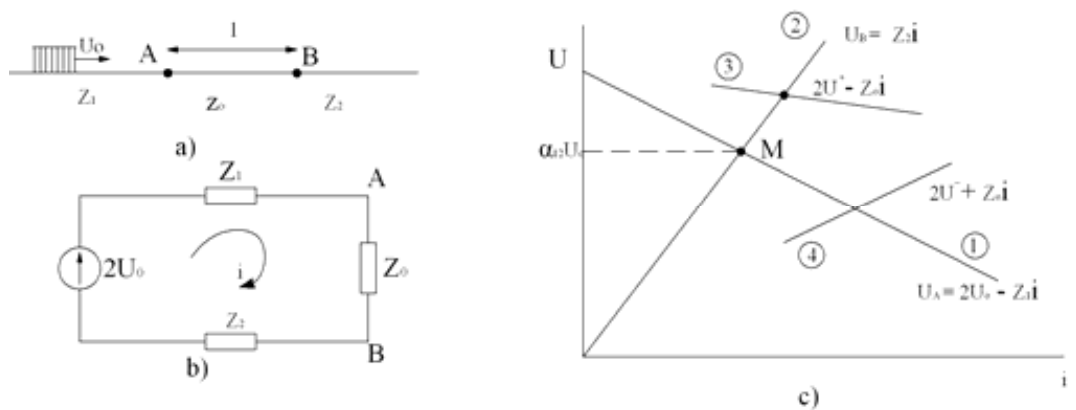
2.4 VÀI PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH TRUYỀN SÓNG BẰNG ĐỒ THỊ

2.4.1 Phương pháp các đường đặt tính

Để giải bài toán truyền sóng qua nhiều môi trường với các dạng sóng đơn giản (sóng vuông góc, xiên góc, sóng hàm mũ), còn có thể dùng phương pháp đồ thị - phương pháp các đường đặt tính sau đây.

Sóng truyền từ đường dây Z_1 sang đường dây Z_0 chiều dài l (H.2.15a). Sơ đồ thay thế theo quy tắc Petersen cho ở hình 2.15b; các trị số của áp ở A (theo thời gian) phải nằm trên đường thẳng $U_A = 2U_0 - Z_1i$ (đường 1.

Còn trị số u_B nằm trên đường $U_B = Z_2i$ (đường 2, H.2.15c).



Hình 2.15

Ngoài ra áp và dòng tại bất cứ điểm nào trên đoạn Z_0 , kể cả tại hai điểm A và B, đều có thể biểu diễn dưới dạng tổng của các sóng thuận (xuất phát từ A) và sóng ngược (xuất phát từ B):

$$B): u = u^+ + u^-; \quad i = \frac{u^+}{Z_0} - \frac{u^-}{Z_0} \text{ hay } Z_0 i = u^+ - u^-$$

Suy ra: $U_B = 2u^+ - Z_0 i$ (đường 3)

$U_A = 2u^- + Z_0 i$ (đường 4)

đường 3: xuất phát từ A đến B gọi là đặc tính thuận

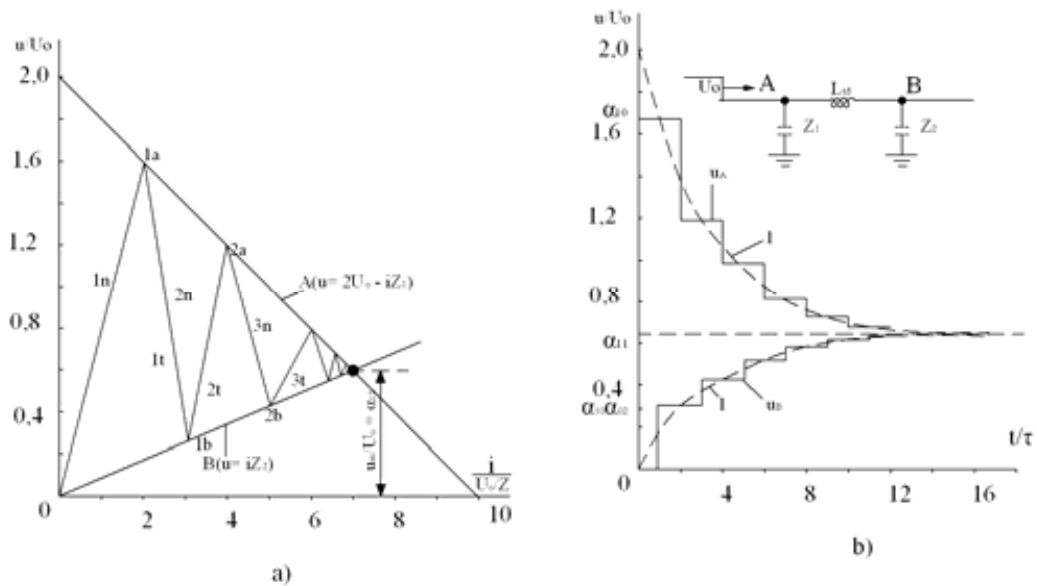
đường 4: xuất phát từ B đến A gọi là đặc tính ngược

Trị số của u_A cho bởi giao điểm của đường 1 và đường đặc tính ngược 4, còn u_B giao điểm của đường 2 và đường đặc tính thuận 3 như trình bày trong hình 2.15c.

Cách tiến hành.

Vẽ hai hệ trục tạo độ $u(i)$ và $u(t)$ bên cạnh nhau. Trên hệ trục $u(i)$ hình 2.16a vẽ các đường đặc tính u_A và u_B . Giao điểm M của chúng cho trị số giới hạn của u_A và u_B khi số lần phản xạ n tăng vô cùng (tức là khi $t \rightarrow \infty$):

$$u_M = u_A(t \Rightarrow \infty) = u_B(t \Rightarrow \infty) = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} U_0 = \alpha_{12} U_0$$



Hình 2.16: Trường hợp $z_0 > z_1; z_0 > z_2$

Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến điểm A đầu tiên. Trong khoảng thời gian $0 \leq t \leq 2\tau$

(với $\tau = l/v_0$) chưa có sóng phản xạ từ B về, tức $u^- = 0$, nên đặc tính ngược lúc này bằng $u_A = z_0 i$ qua gốc tọa độ.

Giao điểm A_1 của nó với đường $u_A = 2U_0 - z_1 i$ cho điện áp u_{A1} tại nút A trong khoảng thời gian này.

Thật vậy, từ:
$$\left. \begin{aligned} u_{A1} &= 2U_0 - z_1 i \\ u_{A1} &= z_0 i \end{aligned} \right\} \text{ suy ra } u_{A1} = \frac{2z_0}{Z_0 + Z_1} U_0 = \alpha_{10} U_0$$

Sóng u_{A1} truyền đến B theo đặc tính thuận

$$u_B = 2u_{A1} - z_0 i = 2\alpha_{10} U_0 - z_0 i$$

Giao điểm của nó với đường $u_B = z_0 i$ tại điểm B_1 cho điện áp u_{B1} tại điểm B ở thời điểm $t = \tau$ Trị số của nó được xác định bởi:

$$\left. \begin{aligned} u_{B1} &= 2\alpha_{10} U_0 - z_0 i \\ u_{B1} &= z_2 i \end{aligned} \right\} \text{ suy ra } u_{B1} = \frac{2z_2}{Z_2 + Z_0} \alpha_{10} U_0 = \alpha_{10} \alpha_{02} U_0$$

Sóng u_{B1} phản xạ về A theo đặc tính ngược, lúc này bằng

$$u_A = 2u_{B1} + z_0 i = 2\alpha_{10} \alpha_{02} U_0 + z_0 i$$

Giao điểm A_2 của nó với đường $u_A = 2U_0 - z_1 i$ cho trị số điện áp u_{A2} tại A lúc $t = 2\tau$, được xác định theo:

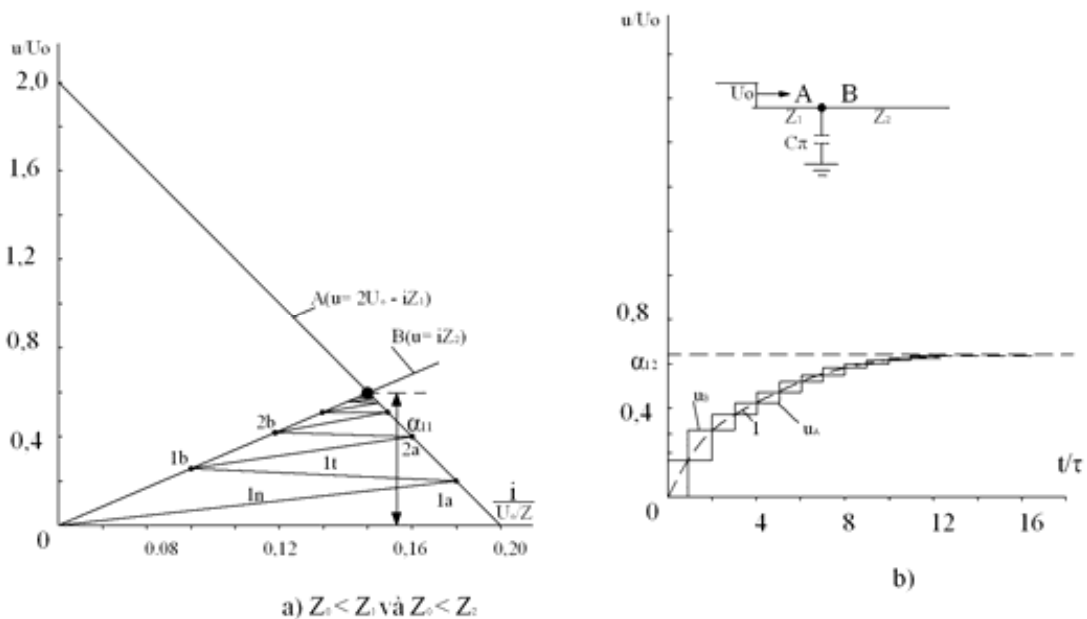
$$\left. \begin{aligned} u_{A2} &= 2\alpha_{10}\alpha_{02}U_o - z_o i \\ u_{A2} &= 2U_o - z_o i \end{aligned} \right\} \text{ suy ra } u_{A2} = \alpha_{10}\alpha_{01}\beta_{20}U_o$$

Có thể chứng minh tiếp tục tương tự.

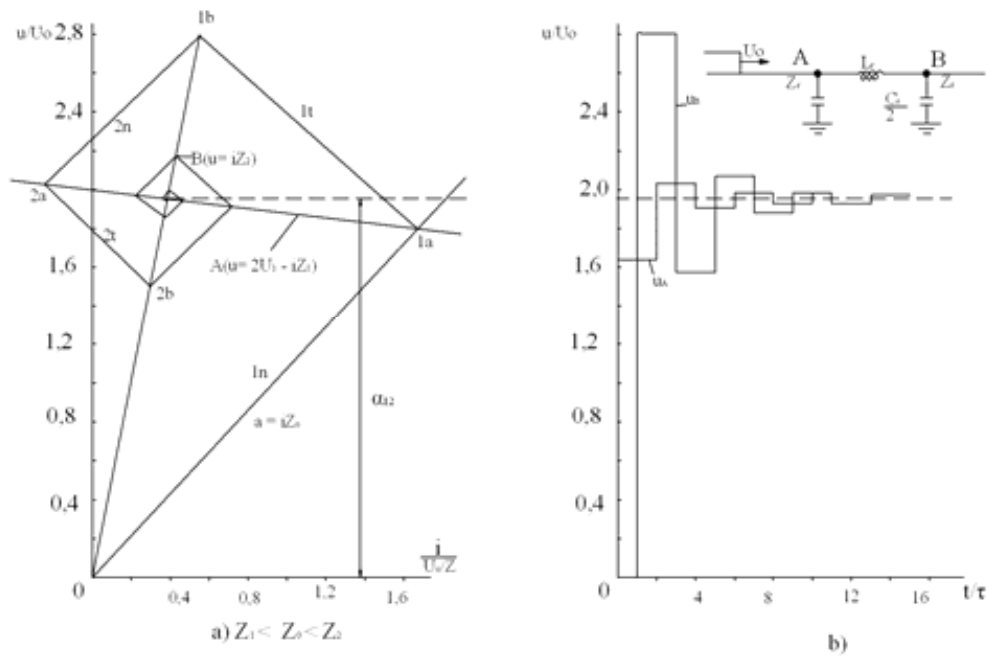
Thực tế trong cách vẽ có thể tiến hành đơn giản hơn:

Từ điểm B₁ vẽ đường thẳng có độ dốc z₀, nó cắt đường u_A = 2U₀ - z₁i tại A₂. Bây giờ qua điểm A₂ vẽ đặc tính thuận mới với độ dốc -z₀, giao điểm B₂ của nó với đường u_B = z₂i cho điện áp tại nút B tại thời điểm t = 3τ. Cứ tiếp tục quá trình vẽ các đặc tính thuận và nghịch tương tự, cho đến khi các điểm A_n, B_n tiệm cận với giao điểm M, trị số của nó cho giá trị tới hạn của u_A và u_B, khi số lần phản xạ tăng lên vô cùng.

Hình 2.16b cho quan hệ u_A và u_B theo thời gian. Bằng phương pháp này có thể xác định u_A và u_B theo t trong mỗi tương quan khác nhau giữa z₁, z₀ và z₂ (H.2.17) tương tự như trong phương pháp giải tích đã xét ở mục 2.3.



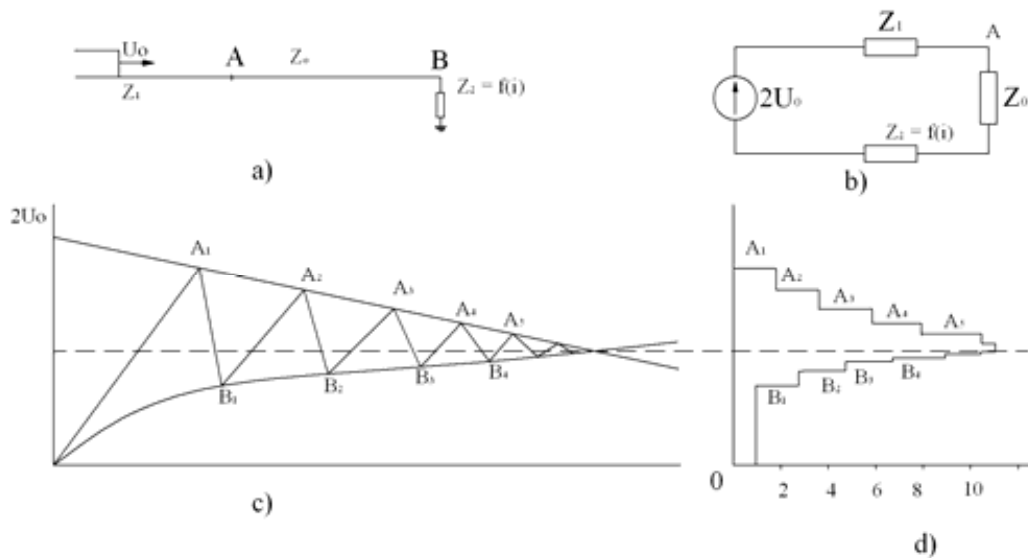
Hình 2.17 – 1



Hình 2.17- 2

Hình 2.17: Biến thiên của u_A và u_B theo thời gian khi tương quan giữa Z_1 , Z_0 và Z_2 khác nhau

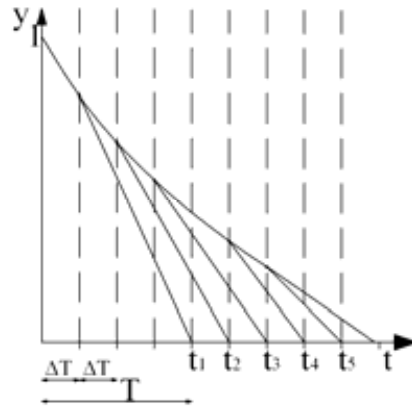
. Nếu Z_2 là một điện trở không đường thẳng (tức trị số R phụ thuộc vào i) và đã biết đặc tính von-ampe (tức điện áp $=f(i)$) của nó, thì phương pháp giải bằng đồ thị cũng hoàn toàn tương tự (H.2.18).



Hình 2.18: Biến thiên của u_A và u_B theo thời gian khi Z_2 là một phần tử phi tuyến

1- Xác định bưng đồ thị hàm: $y = e^{-t/T}$

Phương pháp đồ thị dựa trên cơ sở là: hình chiếu trên trục t của đường tiếp tuyến tại mỗi điểm của đường cong $y(t)$ có chiều dài bằng T . Chia trục t thành những khoảng thời gian ΔT (nên chọn ΔT là một ước số của Thời gian) ΔT càng nhỏ càng chính xác.



Trước tiên từ điểm $y = 1$, vẽ đường thẳng nối với điểm $t_1 = T$. Giao điểm của đường thẳng đó với đường thẳng thời gian = ΔT cho điểm y_1 , tung độ của nó là $y_1 = y(\Delta T)$. Nối y_1 với điểm $t_2 = \Delta t + t$, cắt đường thời gian = $2\Delta T$ tại y_2 có tung độ $y_2 = y(2\Delta T)$ và cứ tiếp tục như thế.

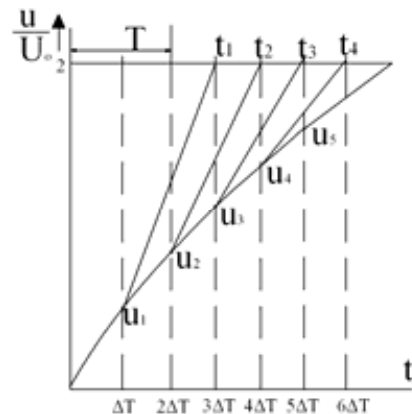
2- Xác định điện áp tác dụng lên một điện dung C ở cuối đường dây khi có sóng $u_1 = U_0 = \text{const}$ tác dụng

Như đã biết $U_c = 2U_0(1 - e^{-t/T})$. Phương pháp đồ thị để xác định U_c được tiến hành tương tự như trên.

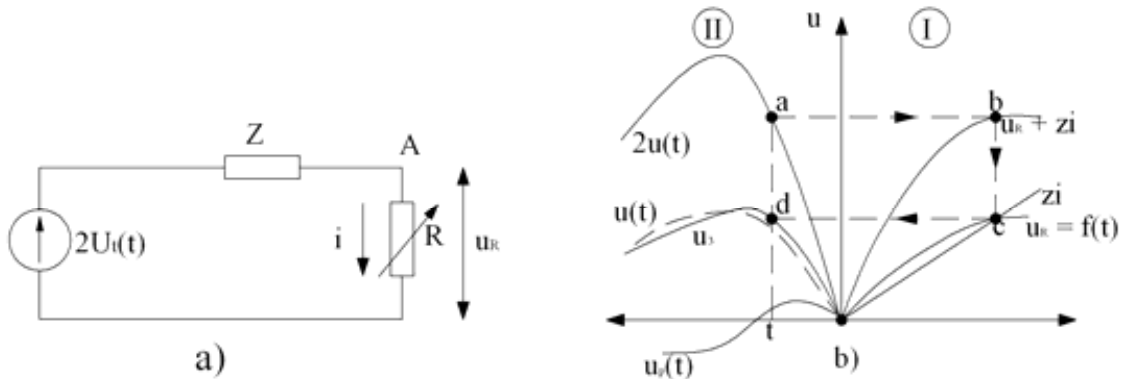
Cách vẽ: Chọn trục theo u/U_0 và trục hoành theo t .

Trên đường thẳng song song với trục thời gian qua điểm có tung độ với trục thời gian qua điểm có tung độ bằng 2 xác định điểm $t_1 = T$.

Từ gốc tọa độ vẽ đường nối lên với điểm t_1 , đường thẳng này cắt đường $t = \Delta T$ ở u_1 ; $u_1 = u_c(\Delta T)$, từ u_1 vẽ đường thẳng nối liền với điểm $t_2 = T + \Delta T$ đường thẳng đó sẽ cắt đường $t = 2\Delta T$ ở u_2 , tung độ của $u_2 = u(2\Delta T)$ và cứ tiếp tục như vậy.



3- Xác định điện áp tác dụng lên một điện trở không đường thẳng ở cuối đường dây khi sóng tác dụng có dạng bất kỳ (H.2.19)



Hình 2.19

Giả thiết sóng tới $u_t(t)$, có dạng bất kỳ truyền theo đường dây có tổng trở sóng z tác dụng lên một điện trở không đường thẳng R có đường đặc tính V-A: $u_R = f(i)$ đã biết. Theo qui tắc Petrsen có sơ đồ thay thế như hình 2.19a và điện áp $u_R(t)$ được xác định bởi quan hệ $2u_t(t) = u_R + zi(t)$ (2.32)

Bằng phương pháp đồ thị có thể xác định $u_R(t)$ như sau:

Trên góc thứ I vẽ hệ trục tọa độ u, i . Trên đó vẽ đường đặc tính V-A của điện trở không đường thẳng, $u_R = f(i)$ và đường biểu diễn điện áp giáng trên tổng trở sóng z của đường dây zi . Cộng tung độ của hai đường đặc tính đó với nhau sẽ có đường cong $u_R + zi$ biểu diễn vế phải của phương trình (2.32).

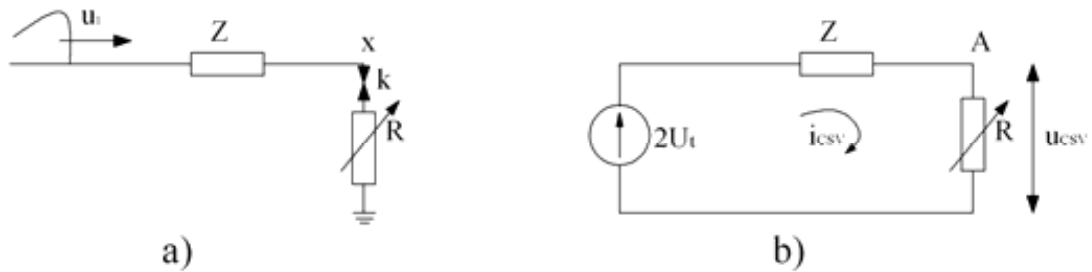
Trên góc thứ II vẽ trục tọa độ u, t . Trên đó vẽ dạng sóng tới $u_t(t)$ và $2u_t(t)$. Tại một thời điểm t nào đó sẽ xác định được điểm a trên đường $2u_t(t)$, từ a kẻ đường thẳng song song trục hoành sẽ xác định được điểm b trên đường cong $u_R + zi$. Từ b vẽ đường thẳng song song với trục u , có sẽ cắt đặc tính V-A của điện trở không đường thẳng $u_R = f(i)$ tại c . Từ c vẽ đường thẳng song song với trục hoành và xác định được điểm d ứng với thời gian t .

Tung độ của điểm d chính là điện áp trên điện trở R tại thời điểm t . Thay đổi thời điểm t sẽ lần lượt xác định được những điểm d tương ứng của đường cong $u_t(t)$. Sóng phản xạ từ điện trở không đường thẳng trở về đường dây được xác định theo quan hệ:

$$u_p(t) = u_R(t) - u_t(t) ; (u_p = u_k - u_t)$$

2.4.2 Sóng dạng bất kỳ tác dụng lên chống sét van đặt ở cuối đường dây (H.2.20)

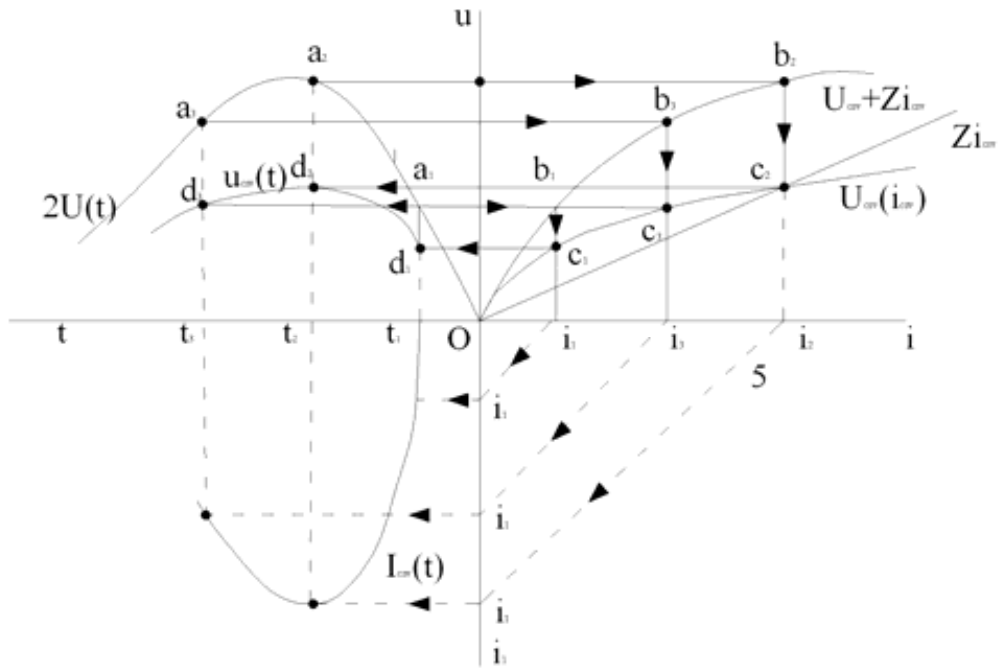
Chống sét van gồm khe hở phóng điện K có đặc tính von-giây đã biết $u_{\text{CSV}}(t)$ nối tiếp với một điện trở không đường thẳng R có đặc tính von-ampe đã chọn: $u_{\text{CSV}} = f(i_{\text{CSV}})$



Hình 2.20

Trước khi khe hở K phóng điện thì $i_x = i_{\text{CSV}} = 0$ và $u_x = 2u_t = u_{\text{CSV}}$ (cuối đường dây hở mạch)

Khi khe hở K phóng điện, thời điểm phóng điện t_p được xác định bởi giao điểm của đường cong $u_x = 2u_t$ với đặc tính von-giây của khe hở K. Lúc này điện trở không đường thẳng R được ghép nối tiếp vào mạch; điện áp tác dụng lên chống sét van được xác định theo qui tắc Petersen $2u_t = u_{\text{CSV}} + z i_{\text{CSV}}$ (H.2.21). u_{CSV} bây giờ thực chất là điện áp tác dụng lên điện trở không đường thẳng R của chống sét van, thường được gọi là u_{dir} của chống sét van. Cách xác định $u_{\text{CSV}}(t)$ tương tự như trường hợp đã xét trên. Hình 2.21 cũng trình bày xác định dòng CSV theo t : $i_{\text{CSV}}(t)$.



Hình 2.21: Cách xác định bằng đồ thị $u_{c_{sv}}(t)$ và $i_{c_{sv}}(t)$.

2.4.3 Phương pháp tiếp tuyến

Thực chất của phương pháp này là cách giải bằng đồ thị phương trình vi phân của hàm $y(t)$ có dạng:

$$\frac{dy}{dt} + ay = f(t) \quad (2.33)$$

Ví dụ: Giả thiết có một sóng điện áp $u(t)$ dạng bất kỳ cho trước truyền theo đường dây có tổng trở sóng z tác dụng lên một điện dung C ở cuối đường dây (H.2.22a). Cần xác định $u_c(t)$.



Hình 2.22: Sóng U_t dạng bất kỳ tác dụng lên điện dung C đặt ở cuối đường dây.

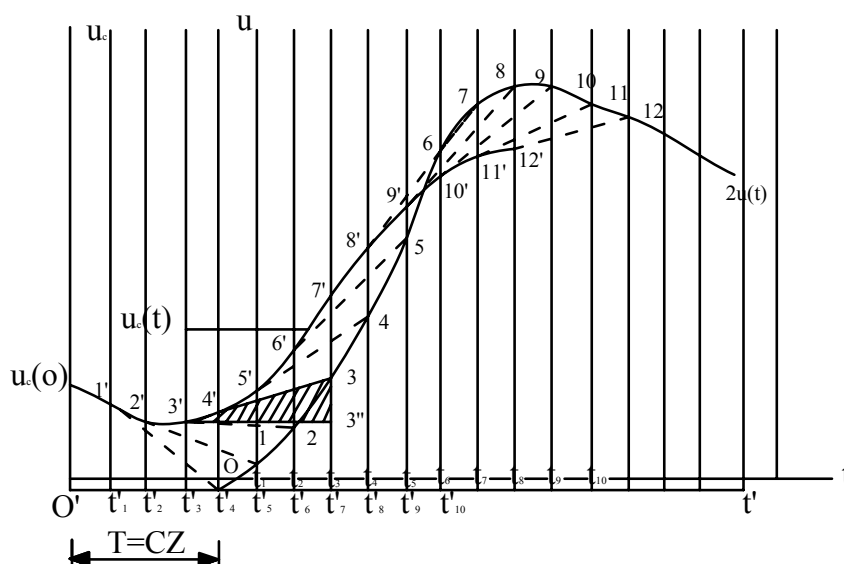
Vì sóng có dạng bất kỳ nên dùng phương pháp giải tích sẽ rất phức tạp, còn dùng phương pháp đồ thị sẽ đơn giản hơn nhiều.

Sơ đồ thay thế theo qui tắc Petersen cho ở hình 2.22 b. Theo đó lập được phương trình cân bằng điện áp sau:

$$2u(t) = Zi + u_c = ZC \frac{du_c}{dt} + u_c \text{ với } i = \frac{du_c}{dt}$$

Thay CZ = Thời gian, hằng số thời gian nạp điện cho điện dung C và biến phương trình về dạng chuẩn sẽ có:

$$\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{T}u_c = \frac{1}{T}2u(t) \quad (2.34)$$



Hình 2.23: Xác định điện áp trên điện dung C bằng phương pháp tiếp tuyến

Cách xác định u_c bằng đồ thị tiến hành như sau (H.2.23)

+ Trên hệ tọa độ vuông góc (u , thời gian) gốc O vẽ đường cong $2u_c(t)$ (đã biết dạng $u(t)$, tại mỗi thời điểm t nhân tung độ với 2).

+ Vẽ hệ tọa độ vuông góc (u_c, t') có gốc O' lùi sau gốc O của hệ tọa độ (u, t) một thời đoạn $T = Cz$.

+ Chia trục thời gian t và t' thành những khoảng Δt bằng nhau (Δt nên là ước số của T , chia càng nhỏ thì hình vẽ càng chính xác), trên trục $O't$ ký hiệu bằng $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$. Còn trên trục t' ký hiệu bằng $t'_1, t'_2, t'_3, \dots, t'_n$.

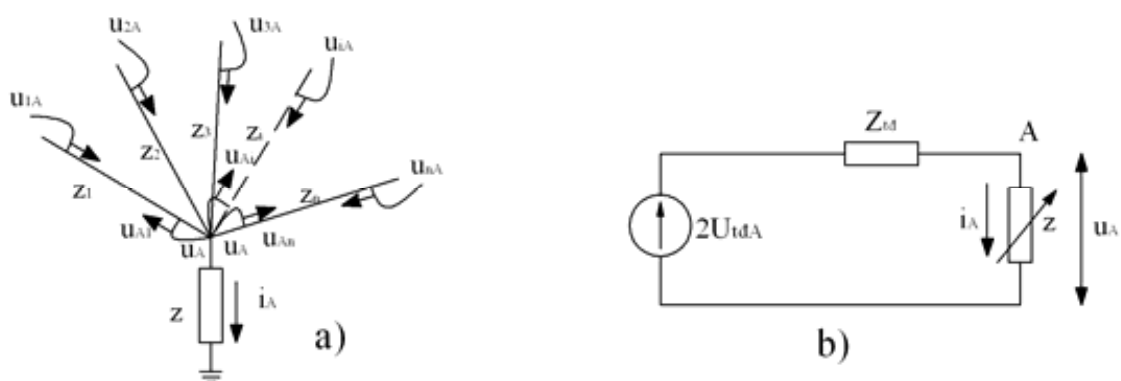
- + Các đường thẳng $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ cắt đường cong $2u(t)$ tại những điểm $1, 2, 3, \dots, n$.
- + Đặt trên trục u_c một trị số bằng trị số điện áp ban đầu trên điện dung $u_c(0)$ (trường hợp tổng quát).
- + Nối điểm $u_c(0)$ với gốc O của hệ tọa độ (u, t) nơi đường cong $2u(t)$ có trị số ban đầu ($t = 0$). Đoạn này cắt đường t_1 ở điểm $1'$.
- + Từ điểm $1'$ kẻ đoạn thẳng nối liền với điểm 1. Đoạn $\overline{1'1}$ cắt đường t_2 ở điểm $2'$.
- + Nối $2'$ với 2, đoạn $\overline{2'2}$ cắt đường t_3 tại $3'$.
- + Quá trình tiếp theo cứ lặp lại tương tự như vậy. Cuối cùng có được đường gãy khúc qua các điểm $u_c(0), 1', 2', \dots, n'$, đó chính là đường cong $u_c(t)$ cần tìm.
- + Để chứng minh điều đó, ta xét tam giác vuông $\Delta 3'33''$: điểm 3 có tung độ bằng $2u(t)$, điểm $3'$ giả thiết là nghiệm của bài toán có tung độ là $u_c(t)$, chiều dài cạnh $\overline{3'3''} = T$. Như vậy

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\overline{33''}}{\overline{3'3''}} = \frac{2u(t) - u_c(t)}{T}$$

Mặt khác từ phương trình chuẩn (2.34) cũng có $\frac{du_c}{dt} = \frac{2u(t) - u_c(t)}{T}$.

Tóm lại $\operatorname{tg}\beta = \frac{du_c}{dt}$, điều này chứng tỏ đường gãy khúc $2', 2', 2'$, chính là lời giải của bài toán.

2.5 QUI TẮC VỀ SÓNG ĐẲNG TRỊ



Hình 2.24: Quy tắc sóng đẳng trị

Trong thực tế thường gặp nhiều trường hợp song truyền đồng thời trên nhiều đường dây đến một điểm nút. Vấn đề được đặt ra là cần xác định trị số quá điện áp xuất hiện tại điểm nút. Hình 2.24a trình bày một trường hợp tổng quát:

- Có n đường dây, tổng trở sóng lần lượt là $z_1, z_2, \dots, z_i, z_n$ (giữa các đường dây không có tổng trở sóng tương hỗ, tức $z_{ik} = 0$) đầu vào điểm nút A.

- Tại A có nối với tổng trở tập trung Z , có thể là đường thẳng hoặc không đường thẳng, có các đặc tính von-giây hoặc von-ampe đã biết.

- Sóng truyền theo đường dây z_i đến nút A được ký hiệu bằng u_{iA} (dòng điện = 1, 2...n) và sóng phản xạ từ A trở về z_i được ký hiệu bằng u_{Ai} .

- Cần xác định điện áp tại điểm nút $u_A(t)$ và các sóng phản xạ từ A trở về lại các đường dây u_{Ai} .

Điều kiện bờ tại nút A cho các quan hệ sau:

$$u_A = u_{1A} + u_{A1} = u_{2A} + u_{A2} = \dots u_{iA} + u_{Ai} \quad (2.35)$$

$$i_A = \sum_{i=1}^n (i_{iA} + i_{Ai}) \quad (2.36)$$

Biết rằng: $i_{iA} = \frac{u_{iA}}{z_i}$; $i_{Ai} = -\frac{u_{Ai}}{z_i}$ và từ (2.35) suy ra: $u_{Ai} = u_A - u_{iA}$

Thay các giá trị này vào biểu thức (2.36):

$$i_A = \sum_{i=1}^n \left(\frac{u_{iA}}{z_i} - \frac{u_A - u_{iA}}{z_i} \right) = 2 \sum_{i=1}^n \frac{u_{iA}}{z_i} - u_A \sum_{i=1}^n \frac{1}{z_i} \quad (2.37)$$

Chia cả 2 vế của (2.37) cho $\sum_{i=1}^n \frac{1}{z_i}$ và sắp xếp lại thứ tự các số hạng ta có:

$$2 \sum_{i=1}^n u_{iA} \frac{1}{z_i} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{z_i} \right)^{-1} = u_A + i_A \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{z_i} \right)^{-1}$$

Mà $\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{z_i} \right)^{-1} = z_1 // z_2 // \dots // z_n = z_{td}$

$$\text{Và đặt } \sum_{i=1}^n u_{iA} \frac{1}{z_i} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{z_i} \right)^{-1} = \sum_{i=1}^n u_{iA} \frac{z_{td}}{z_i} = u_{tdA}$$

Thì biểu thức được viết lại dưới dạng

$$u_A + i_A Z_{td} = 2u_{tdA} \quad (2.38)$$

Với z_{td} - tổng trở sóng đẳng trị của tất cả n đường dây đầu song song

u_{tdA} - sóng đẳng trị của tất cả sóng tới $u_{1A}, u_{2A} \dots u_{nA}$ đến nút A theo đường dây có tổng trở sóng đẳng trị z_{td} .

Cần lưu ý khi tính u_{tdA} tại một thời điểm t nào đó thì chỉ kể đến những sóng u_{iA} nào đã đến A tại thời điểm đó. Các sóng khác chưa đến A đều coi như bằng không.

Biểu thức (2.38) được gọi là qui tắc sóng đẳng trị, tương ứng với sơ đồ thay thế hình 2.24b.

Như vậy qui tắc sóng đẳng trị cho phép chuyển một bài toán phức tạp: sóng truyền đồng thời theo nhiều đường dây khác nhau đến điểm A, thành một bài toán đơn giản hơn nhiều- một sóng đẳng trị u_{tdA} truyền theo đường dây đẳng trị có tổng trở sóng z_{td} đến điểm nút A.

Theo sơ đồ thay thế (H.2.24b) có thể tính điện áp tại điểm nút A theo.

$$u_A = \frac{2z}{z_{td} + z} u_{tdA} = \alpha_{tdA} \cdot U_{tdA}$$

Trong đó $\alpha_{tdA} = \frac{2z}{z_{td} + z}$ gọi là hệ số khúc xạ đẳng trị tại nút A, và dòng qua tổng trở Z

bằng: $i_A = \frac{u_A}{z}$

Sóng phản xạ từ điểm nút A về đường dây z_i suy ra từ điều kiện bờ (2.35) : $u_{Ai} = u_A - u_{iA}$

2.6 QUÁ TRÌNH TRUYỀN SÓNG TRONG HỆ THỐNG NHIỀU DÂY DẪN

2.6.1 Trường hợp tổng quát.

Trên đây chúng ta chỉ mới khảo sát qui luật truyền sóng trên đường dây một dây dẫn, ở đó sóng dòng thuận truyền theo dây dẫn, còn sóng ngược theo đường đất. Trong thực tế, đường dây tải điện là một hệ nhiều dây dẫn gồm cả các dây pha và dây chống sét và quá trình truyền sóng điện từ trong hệ nhiều dây phức tạp hơn nhiều, do có quan hệ tương tác của trường điện từ giữa các dây song song với nhau đó.

Trong nhiều trường hợp, có thể thay thế hệ nhiều dây bởi một dây đẳng trị, nhưng cần phải tính đến các đặc điểm của sự truyền sóng trong hệ nhiều dây.

Để đơn giản hoá sự nghiên cứu quá trình truyền sóng trong hệ nhiều dây dẫn, trước tiên cũng bỏ qua tổn hao năng lượng trong dây dẫn, trong đất và tổn hao vàng quang xung. Với giả thiết này, sóng trên tất cả các dây dẫn truyền với cùng một tốc độ (bằng tốc độ ánh sáng đối

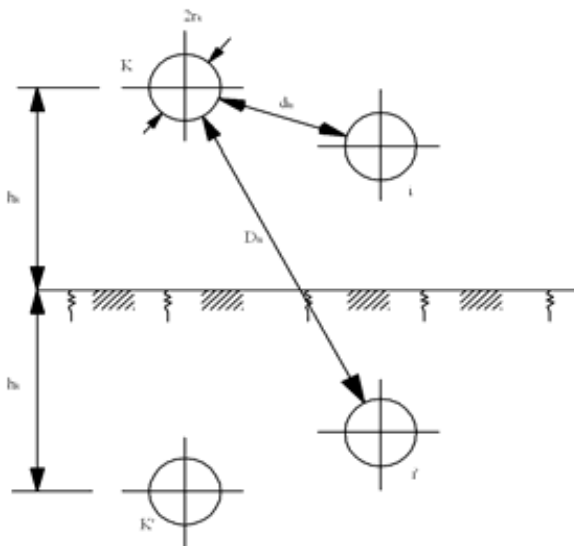
với đường dây trên không), không bị biến dạng và có dạng sóng phẳng, có nghĩa là không có thành phần vectơ điện trường E và từ trường H theo chiều trục đường dây. Do đó để phân tích quá trình truyền sóng trong hệ nhiều (n) dây dẫn, có thể xuất phát từ hệ phương trình Maxwell quen thuộc cho hệ dây dẫn có điện tích tĩnh.

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12}q_2 + \dots + \alpha_{1n}q_n \\ u_2 &= \alpha_{21}q_1 + \alpha_{22}q_2 + \dots + \alpha_{2n}q_n \\ &\vdots \\ u_n &= \alpha_{n1}q_1 + \alpha_{n2}q_2 + \dots + \alpha_{nm}q_n \end{aligned} \right\} \quad (2.39)$$

Trong đó: u_1, \dots, u_n - điện thế đối với đất với đất của các dây dẫn

q_1, \dots, q_n - điện tích trên đơn vị chiều dài của các dây dẫn.

α_{ik} - hệ số thế, được xác định theo các kích thước hình học của đường dây (H.2.25)



Hình 2.25

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{kk} &= \frac{1}{2\epsilon\epsilon_0\pi} \ln \frac{2\bar{h}_k}{r_k} (m/F) \\ \alpha_{ik} &= \frac{1}{2\epsilon\epsilon_0\pi} \ln \frac{2D_{ki}}{d_{ki}} (m/F) \end{aligned} \right\} \quad (2.40)$$

Với r_k - bán kính dây dẫn thứ k,
m

\bar{h}_k - độ treo cao trung bình của
dây dẫn k, m

d_{ki} - khoảng cách giữa các dây
dẫn k và i, m

D_{ki} - khoảng cách giữa các dây
dẫn k và ảnh soi qua mặt của dây dẫn
i, m.

Vì $d_{ki} = d_{ik}$ và $D_{ki} = D_{ik}$ nên $\alpha_{ki} = \alpha_{ik}$

điện trường tạo nên bởi điện tích tĩnh là điện trường tĩnh.

Để chuyển điện trường tĩnh sang điện trường ở trạng thái sóng phẳng, tương tự gắn cho nó một tốc độ chuyển dịch v không đổi dọc đường dây. Bằng cách nhân và chia các số hạng của vế phải của hệ phương trình Maxwell (2.39) với vận tốc chuyển dịch v của sóng, đồng thời thay thế $q_k \cdot v = i_k$ là sóng dòng truyền theo k , thay $\alpha_{ki}/v = z_{ki}$ vì tỷ số này có chức năng của tổng trở, ta nhận được hệ phương trình truyền sóng cho hệ n dây dẫn.

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= z_{11}i_1 + z_{12}i_2 + \dots + z_{1n}i_n \\ u_2 &= z_{21}i_1 + z_{22}i_2 + \dots + z_{2n}i_n \\ &\vdots \\ u_n &= z_{n1}i_1 + z_{n2}i_2 + \dots + z_{nn}i_n \end{aligned} \right\} \quad (2.41)$$

$Z_{kk} = \alpha_{kk}/v$ - tổng trở sóng bản thân của dây dẫn k , nó biểu hiện quan hệ giữa sóng áp và dòng trong dây dẫn k

$Z_{ki} = \alpha_{ki}/v$ - tổng trở sóng tương hỗ giữa các dây dẫn k và dòng điện, nó biểu hiện quan hệ giữa dòng trong dây dòng điện với sóng áp mà nó cảm ứng trên dây dẫn k .

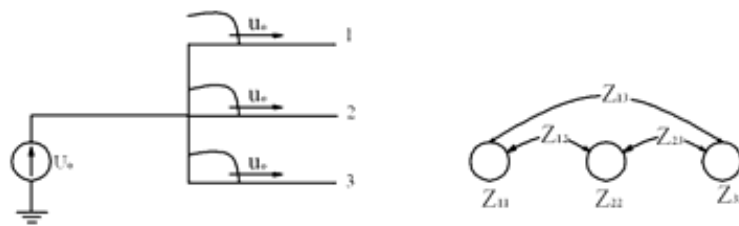
Đối với đường dây trên không $v=c=3 \times 10^8$ m/s thì:

$$\left. \begin{aligned} z_{kk} &= 60 \ln \frac{2\bar{h}_k}{r_k} = 138 \lg \frac{2\bar{h}_k}{r_k} \\ z_{ki} &= 60 \ln \frac{2D_{ik}}{d_{ik}} = 138 \lg \frac{2D_{ik}}{d_{ik}} \end{aligned} \right\} \quad (2.42)$$

Có thể nhận thấy dễ dàng là $z_{kk} > z_{ki}$ và $r_k \ll d_{ik}$. Đối với đường dây trên không tổng trở sóng tương hỗ thường nằm trong giới hạn từ $100 \div 200 \Omega$

Hệ phương trình (2.41) gồm n phương trình với $2n$ ẩn số, số phương trình còn lại sẽ được xác định từ các điều kiện bờ trong các trường hợp cụ thể. Sau đây là một vài ví dụ minh họa.

2.6.2 Các dây dẫn cùng được nối vào một nguồn phát sóng



Hình 2.26: Ba dây dẫn cùng được nối vào nguồn sóng

Đây là một ví dụ thực tế có thể xảy ra khi sét đánh gần đường dây, gây nên sóng cảm ứng trên tất cả dây dẫn trên đường dây.

Trong trường hợp này điện áp trên dây dẫn có thể coi một cách gần đúng đều bằng nhau và bằng U_0 . Giả sử đường dây có ba dây dẫn có cùng bán kính và treo trên cùng một độ cao (như ở đường dây có cột hình π) thì:

$$\begin{cases} z_{11} = z_{22} = z_{33} \\ z_{12} = z_{23} > z_{13} \end{cases}$$

Trong trường hợp này điều kiện bờ là $u_1 = u_2 = u_3 = U_0$

Do đó từ hệ ba phương trình truyền sóng:

$$\begin{cases} u_1 = z_{11}i_1 + z_{12}i_2 + z_{13}i_3 = U_0 \\ u_2 = z_{21}i_1 + z_{22}i_2 + z_{23}i_3 = U_0 \\ u_3 = z_{31}i_1 + z_{32}i_2 + z_{33}i_3 = U_0 \end{cases}$$

$$\text{Suy ra } i_1 = i_3 = U_0 \frac{z_{11} - z_{12}}{z_{11}^2 + z_{11}z_{13} - 2z_{12}^2}; i_2 = U_0 \frac{z_{11} + z_{13} - 2z_{12}}{z_{11}^2 + z_{11}z_{13} - 2z_{12}^2} < i_1$$

Có thể nhận thấy là ở trạng thái sóng, khi có nhiều dây dẫn đi song song thì dòng điện trong mỗi dây nhỏ hơn khi sóng truyền trong một dây dẫn duy nhất, ví dụ.

$$i_1 = U_0 \frac{z_{11} - z_{12}}{z_{11}^2 + z_{11}z_{13} - 2z_{12}^2} < \frac{U_0}{z_{11}}$$

2.6.3 Một dây dẫn nối với nguồn sóng, một dây nối với đất.

Ví dụ khi sét đánh vòng qua dây chống sét 1 vào dây dẫn 2.

Điều kiện bờ trong trường hợp này là $u_1 = 0; u_2 = U_0$.

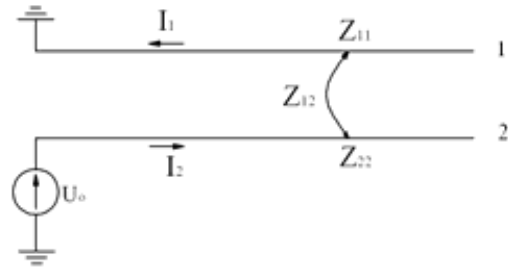
Hệ phương trình truyền sóng trong trường hợp này có dạng (h.2.27):

$$u_1 = 0 = z_{11}i_1 + z_{12}i_2$$

$$u_2 = U_o = z_{12}i_1 + z_{22}i_2$$

Suy ra : $i_1 = -i_2 \frac{z_{12}}{z_{11}}$

$$\text{Và : } i_2 = \frac{U_o}{z_{22} - \frac{z_{12}^2}{z_{11}}} > \frac{U_o}{z_{22}}$$



Hình 2.27: Sét đánh vào DD (2) của đường dây có một DCS (1)

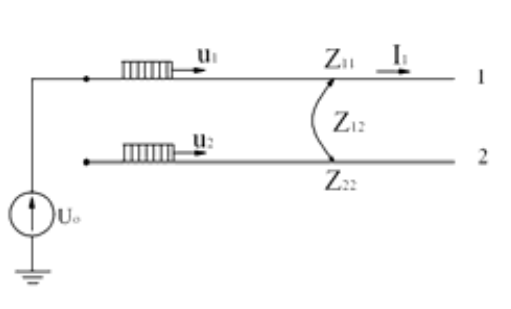
Như vậy sóng dòng điện chạy trong dây dẫn 2, khi có dây chống sét 1, lớn hơn khi không có DCS.

Có thể giải thích điều này như sau:

Khi có dây 1 nối đất, dòng điện i_1 ngược chiều với i_2 do đó từ trường của dòng i_1 trong dây 1 làm giảm từ trường của dòng điện trong dây 2, mặt khác dây 1 nối đất đặt gần dây 2 có tác dụng làm tăng điện dung C_2 của dây 2 đối với đất, kết quả là tổng trở sóng đẳng trị của dây 2 giảm ($Z_2 = \sqrt{L_2 / C_2}$)

2.6.4 Một dây dẫn nối với nguồn sóng, một dây đặt cách điện với đất.

Ví dụ sét đánh vào dây chống sét 1 dùng bảo vệ cho dây dẫn 2(H.2.28). Điều kiện bờ trường hợp này là $u_1 = U_o$ và $i_2 = 0$.



Hình 2.28: Sét đánh vào DCS (1) và sự kết nối với DD pha (2)

Vì dây 2 cách điện đối với đất nên $i_2 = 0$, do đó hệ phương trình truyền sóng có dạng

$$u_1 = U_o = z_{11}i_1$$

$$u_2 = z_{21}i_1$$

$$\text{suy ra } u_2 = \frac{z_{21}}{z_{11}} u_1 = k_{21} u_1$$

hệ số $k_{21} = \frac{z_{21}}{z_{11}} = \frac{u_2}{u_1} = k$ gọi là hệ số ngẫu hợp tĩnh hay hệ số ngẫu hợp hình học (

electrostatic or geometri coupling factor) giữa dây 2 đối với dây 1, nó biểu hiện quan hệ giữa sóng điện áp chạy trong dây 1 với điện áp cảm ứng tĩnh điện chạy trong dây 2.

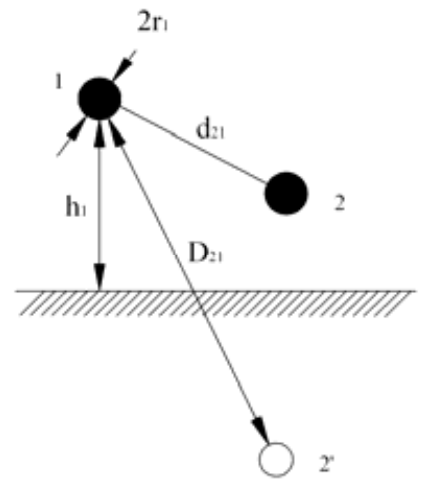
$$k = k_{2-1} = \ln \frac{D_{21}}{d_{21}} / \ln \frac{2\bar{h}_1}{r_1} < 1$$

Đối với đường dây trên không, hệ số ngẫu hợp có trị số khoảng $k = 0,2 \div 0,3$.

Do trên dây dẫn 2 có điện áp cảm ứng u_2 ngược dấu với u_1 nên điện áp tác dụng lên cách điện của nó bằng:

$$U_{12} = u_1 - u_2 = u_1(1 - k_{2-1})$$

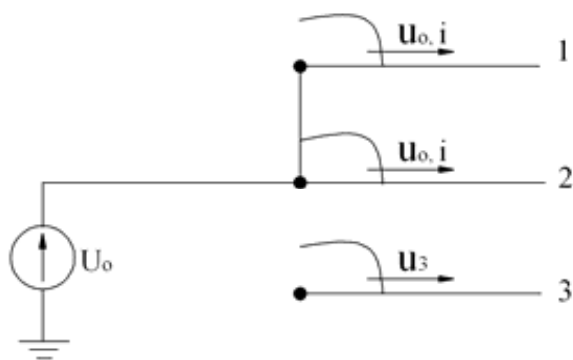
Biểu thức này cho thấy hệ số ngẫu hợp lớn thì điện áp tác dụng lên cách điện bé, điều kiện làm 1 việc của cách điện nhẹ nhàng hơn.



Hệ số ngẫu hợp giữa hai giữa hai dây dẫn càng lớn khi khoảng cách d_{21} giữa hai dây càng bé và độ treo cao của dây càng lớn (mà h_1 lớn thì D_{21} lớn).

2.6.5 Sóng truyền theo hai dây, dây thứ ba đặt cách điện

Ví dụ: đường dây có hai dây chống sét 1 và 2 để bảo vệ cho dây 3. Sét đánh vào đỉnh cột.



Hình 2.29: Sét đánh vào đỉnh cột của đường dây có hai DCS (1) và (2) và sự kết nối với Đờ thị pha (3)

Trong trường hợp này các điều kiện bờ là:

$$u_1 = u_2 = U_0$$

$$i_3 = 0, i_1 = i_2 \text{ (do } \bar{h}_1 = \bar{h}_2, r_1 = r_2 \rightarrow z_{11} = z_{22} \text{)}$$

Do đó hệ phương trình truyền sóng có dạng:

$$u_1 = u_2 = U_0 \quad i_1 z_{11} + i_2 z_{12} = i_1 (z_{11} + z_{12})$$

$$u_3 = i_1 z_{31} + i_2 z_{32} = i_1 (z_{31} + z_{32})$$

Từ đó suy ra :

$$u_3 = U_0 \frac{z_{31} + z_{32}}{z_{11} + z_{12}} = k_{3-1,2} U_0 = k' U_0 \quad (2.44)$$

hệ số $k' = k_{3-1,2}$ gọi là hệ số ngẫu hợp tĩnh giữa dây 3 với các dây 1 và 2. Có thể nhận thấy rằng $k_{3-1,2} > k_{1-2}$ (do $z_{11} > z_{22}$ nên trong công thức của $k_{3-1,2}$ mẫu số tăng chậm hơn tử số). Điều đó có nghĩa là sóng điện áp cảm ứng trong dây dẫn 3 gây nên bởi sóng sét trên hai dây chống sét lớn trường hợp chỉ có một dây chống sét. Như vậy cách điện (chuỗi sứ) của dây 3 chịu tác dụng của một hiệu thế nhỏ hơn so với trường hợp chỉ có một dây chống sét. Nói một cách khác, cách điện của đường dây có hai dây chống sét chịu tác dụng của quá điện áp bé hơn so với trường hợp chỉ có một dây chống sét $u_{\text{ch sứ}} = u_{13} = u_1 - u_3 = u_1 (1 - k')$.

2.7 SỰ BIẾN DẠNG CỦA SÓNG.

Sóng điện từ truyền trên đường dây tải điện thực tế luôn luôn bị biến dạng và giảm biên độ. Có hai nguyên nhân chủ yếu:

* Do sóng dòng điện gây nên tổn hao nhiệt trên điện trở tác dụng R của mạch truyền sóng.

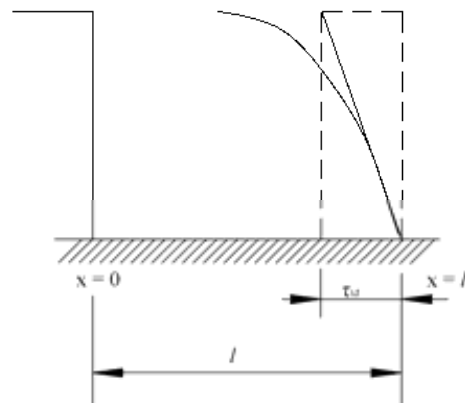
* Do tổn hao vàng quang xung trên đường dây.

2.7.1 Sự biến dạng của sóng do tổn hao nhiệt trên điện trở tác dụng của mạch truyền sóng

Sóng truyền trên dây dẫn thường khép kín mạch qua đất. Như vậy R gồm điện trở tác dụng của dây dẫn và của đường đất mà sóng truyền về, tức bằng điện trở tự trở không của đường dây. Điện trở này phụ thuộc vào tiết diện của dây dẫn và điện trở suất của đất, và đối với đường dây cao áp 110kV trở lên có trị số khoảng $0,1 \approx 0,4 \Omega/\text{km}$.

Tuy nhiên tổn hao trong đất là chủ yếu, còn tổn hao trên điện trở tác dụng của dây dẫn rất bé, có thể bỏ qua. Đất là vật dẫn có tiết diện lớn. Sóng dòng điện với độ dốc lớn lan truyền trong đất sẽ chịu sự chi phối của hiệu ứng bề mặt như khi truyền dòng điện cao tần, có nghĩa là sẽ truyền chủ yếu trên bề mặt, kết quả là điện trở của đất sẽ tăng lên nhiều.

Giả thiết khi bắt đầu truyền vào đất, sóng có dạng đầu sóng vuông góc thì sau khi truyền qua một quãng đường l, sóng bị biến dạng, đầu sóng sẽ bớt dốc đi (H.2.2.30). trong tính toán có thể thay thế bởi một toán có thể thay bởi một đầu sóng xiên góc tương đương, có thời gian đầu sóng được tính theo công thức gần đúng sau:



Hình 2.30: Sự biến dạng của sóng do tổn hao nhiệt trên điện trở tác dụng của mạch truyền sóng.

$$\tau_{td} = \frac{\rho l^2}{260h^2 z^2}$$

với ρ - điện trở suất của đất, Ωm

l – quãng đường sóng đã truyền qua, m

h- độ treo cao trung bình của dây dẫn so với mặt đất, m

$Z = \sqrt{L / C_o}$ - tổng trở sóng của dây dẫn, Ω

L_o, C_o - điện cảm và điện dung đối với đất của DD theo đơn vị dài.

Có thể thấy là sự biến dạng của sóng do tổn hao nhiệt trong đất không phụ thuộc vào biên độ của sóng quá điện áp.

Bảng 2.1 cho kết quả tính toán về sự biến dạng của đầu sóng (thông qua τ_{td}) khi ρ, l thay đổi ứng với trị số $Z = 500\Omega$ và $h = 10m$.

bảng 2.1: $\tau_{td} = f(\rho, l)$ với $Z = 500\Omega$; $h = 10m$

$\rho(\Omega m)$	100			500			1000		
l (km)	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
$\tau_{td}(\mu s)$	0,004	0,015	0,06	0,05	0,08	0,3	0,04	0,15	0,6

Từ bảng 2.1 thấy rằng, chỉ đối với vùng đất dẫn điện xấu và độ dài truyền sóng (l) lớn thì biến dạng của đầu sóng mới đáng kể. Thực tế thường gặp các trường hợp có độ dài truyền sóng ngắn hơn (các khoảng vượt tới trạm khoảng vài ba trăm mét). Khi đó có thể bỏ qua sự biến dạng của sóng do tổn hao trong đất.

2.7.2 Biến dạng và tắt dần của sóng do tổn hao vàng quang xung trên đường dây

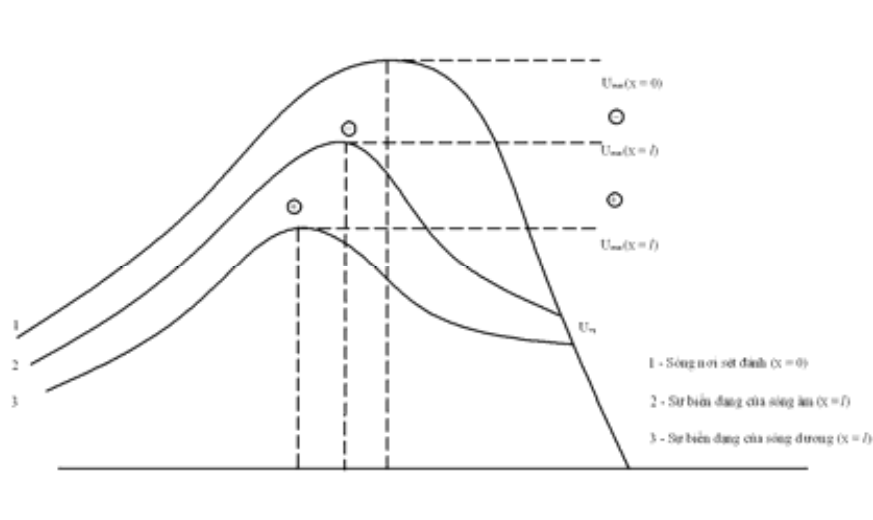
Biên độ của sóng quá điện áp thường vượt quá rất nhiều lần điện áp phát sinh vàng quang. Vì vậy khi truyền trên đường dây nó gây ra phóng điện vàng quang mãnh liệt. Vàng quang tiêu hao một phần năng lượng của sóng, do đó làm biến dạng và giảm biên độ của sóng. Vàng quang do sóng quá điện áp khí quyển tạo nên là dạng vàng quang xung, nó có một số đặc điểm riêng, khác với vàng quang ổn định ở điện áp một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp:

- Khu vực ion hoá của vàng quang xung cũng lan truyền trên đường dây tải điện cùng với sóng quá điện áp, sau khi sóng đã đi qua thì vàng quang xung giảm, các điện tích còn sót lại sẽ bị trung hoà.

- Vàng quang xung cũng có cấu tạo dòng, nhưng mật độ điện tích trong các dòng plasma rất cao, do đó điện dẫn của nó tăng rất nhiều theo biên độ của sóng điện áp và cao gấp hàng trăm lần so với ở điện áp tần số công nghiệp. Do một số lượng tương đối lớn điện tích di chuyển trong dòng nên các khe dẫn có thể bị đốt nóng lên tới $2000 \div 3000^\circ C$. Ở nhiệt độ này, cường độ trường tới hạn để duy trì ion hoá va chạm giảm thấp chỉ còn khoảng $E_{vq} =$

$3 \div 4 \text{ kV/cm}$. Tuy nhiên nhân tố ion hoá chủ yếu ở đây vẫn là ion hoá va chạm, chứ chưa phải là ion hoá nhiệt vì nhiệt độ trong khe chưa đạt đến $4000 \div 5000^\circ\text{C}$.

- Ở cùng trị số điện áp thì vàng quang dương mãnh liệt hơn vàng quan âm nhiều, dòng plasma dài hơn, tiêu hao nhiều năng lượng hơn, nên sóng bị biến dạng nhiều và biên độ giảm nhiều hơn (H.2.31).



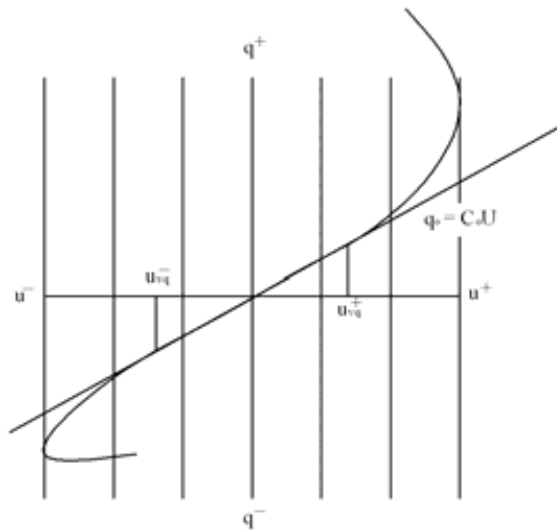
Hình 2.31: Biến dạng của sóng do tác dụng của vàng quang xung

- Vàng quang cung truyền dọc theo chiều dài của dây dẫn gồm các dòng plasma rời rạc không liền nhau nên không có sự di chuyển điện tích men theo quãng sáng dọc theo chiều dài đường dây (mà chỉ có dòng điện chạy trong dây dẫn). Vì vậy vàng quang xung hầu như không ảnh hưởng đáng kể đến điện cảm của đường dây) trong khi đó sự di chuyển một số lớn điện tích cùng dấu với dây dẫn theo các dòng plasma ra quãng sáng làm cho điện dung của đường dây (đối với đất) tăng lên nhiều.

Các dao động đồ ghi dạng sóng dưới tác dụng của vàng quang xung cho thấy:

- Đầu sóng bị biến dạng nhiều.
- Đuôi sóng ít bị biến dạng.
- Biên độ sóng giảm và dịch về phía đuôi sóng.
- Khoảng cách truyền sóng càng dài thì sự biến dạng đầu sóng và giảm biên độ càng rõ rệt.

Các kết quả thực nghiệm trên được giải thích trên cơ sở đặc tính volt-coulomb không đường thẳng của vàng quang xung trên đường dây tải điện (H.2.32).



Hình 2.32: Đặc tính volt –coulomb của vầng quang xung trên đường dây tải điện cao áp
 Trước khi xuất hiện vầng quang xung ($u < u_{vq}$), chưa có ion hoá, tức chưa có điện tích không gian, điện tích do nguồn phát ra đều phân bố trên dây dẫn, do đó giữa điện tích q và điện áp u trên dây dẫn có quan hệ đường thẳng:

$$Q_0 = C_0 u \quad (2.46)$$

Trong đó C_0 là điện dung hình học của dây dẫn đối với đất.

Khi $u \geq u_{vq}$ không khí quanh dây dẫn bị ion hoá, xuất hiện điện tích không gian, điện tích tổng do nguồn phát ra, một phần phân bố trên dây dẫn, một phần trong không gian quanh dây dẫn do đó quan hệ giữa điện tích tổng q và điện áp u ở phần đầu sóng có thể biểu diễn gần đúng theo hàm bậc hai:

$$q = C_0 u (1 + Bu) \quad (2.47)$$

Với q_0, q - điện tích theo đơn vị chiều dài của dây dẫn, C/m

B - hệ số xác định bằng thực nghiệm, phụ thuộc vào đường kính d và cực tính dây dẫn, tính theo (1/kV) (H.2.34).

Điện tích tổng q phụ thuộc vào vị trí số tức thời của điện áp u , do đó có thể đưa ra một khái niệm về điện dung động:

$$C_d(u) = \frac{dq}{du} = C_0 (1 + 2Bu) \quad (2.48)$$

Nó cho thấy cùng với sự xuất hiện của vầng quang xung, điện dung của dây dẫn sẽ tăng, và điện áp càng cao thì điện dung càng lớn.

Phương trình vi phân mô tả quá trình truyền sóng khi xuất hiện vàng quang xung sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial u}{\partial x} &= L_o \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} &= C_d \frac{\partial u}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (2.49)$$

Nghiệp tổng quát của chúng cũng có dạng tương tự như ở trường hợp đường dây không tổn hao và nếu chỉ chú ý đến sóng tới sẽ có: $u = f(x - v_{vq}t)$

Trong đó v_{vq} là tốc độ truyền sóng trên đường dây khi có vàng quang xung, nó phụ thuộc vào trị số điện áp u theo:

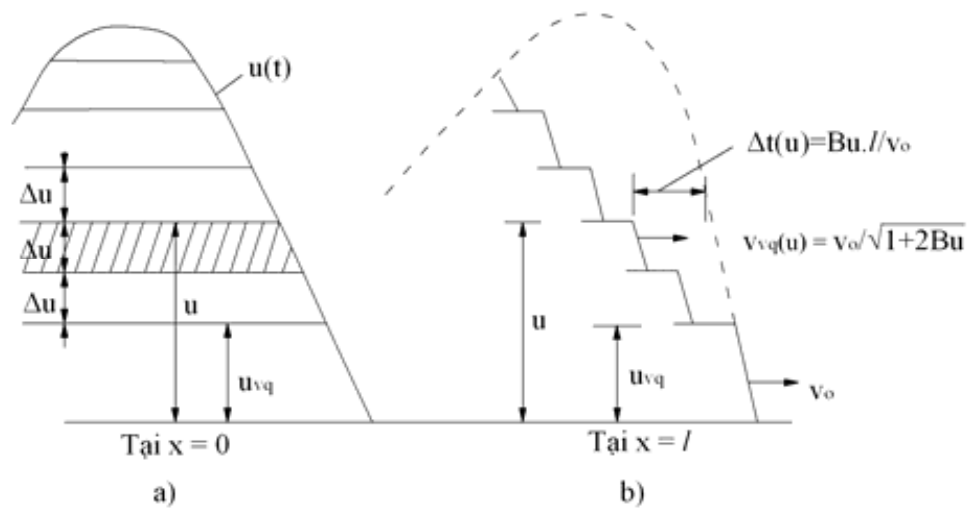
$$v_{vq} = \frac{1}{\sqrt{L_o C_d}} = 1 / \sqrt{L_o C_o (1 + 2Bu)} = \frac{v_o}{\sqrt{1 + 2Bu}} \quad (2.50)$$

$v_o = 1 / \sqrt{L_o C_o}$ là tốc độ truyền sóng khi chưa có vàng quang, bằng tốc độ ánh sáng đối với đường dây trên không.

Trị số điện áp càng cao thì tốc độ truyền sóng trên dây dẫn có vàng quang xung càng giảm, chính vì vậy mà đầu sóng bị kéo dài ra, tức là độ dốc đầu sóng giảm.

Từ nhận xét này có thể đưa ra một phương pháp gần đúng xác định sự biến thiên của sóng(đầu sóng , biên độ) như sau:

Giả thiết tại nơi xuất phát ($x = 0$) sóng có dạng $u(t)$ đã biết (H.2.33a). Ở phần đầu sóng, bắt đầu từ trị số $u = u_{vq}$, chia sóng thành những hẹp Δu mỗi tương ứng với trị số u , truyền đi với tốc độ $v_{vq}(u)$. Như đã biết, những băng sóng tương ứng với trị số u càng cao thì được truyền đi với tốc độ càng thấp.



Hình 2.33: Sự biến dạng của sóng do tác dụng của vầng quang xung đường dây tải điện
 Như vậy, sau khi sóng đã truyền qua được một quãng đường $x = l$ thì những băng sóng với $u > u_{vq}$ sẽ đến chậm tương ứng so với trường hợp không có vầng quang một khoảng thời gian $\Delta t(u)$ xác định như sau:

$$\Delta t(u) = \frac{l}{v_{vq}(u)} - \frac{l}{v_o} = \frac{l}{v_o} (\sqrt{1 + 2Bu} - 1)$$

$2Bu \ll 1$ (tức $q = q_o(1 + Bu)$ suy ra $Bu = \frac{q}{q_o} - 1 \ll 1$) có thể tích gần đúng

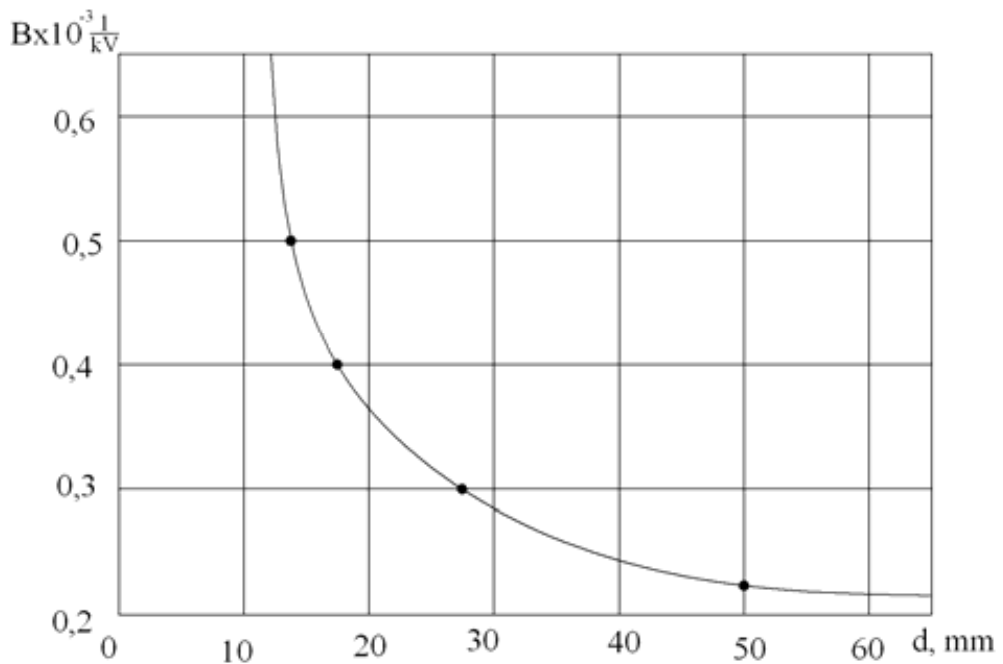
$$\sqrt{1 + 2Bu} \cong 1 + Bu$$

$$\text{Do đó } \Delta t(u) = \frac{l}{v_o} Bu \quad (2.51)$$

Bằng cách xác định thời gian chậm trễ của từng băng sóng có thể xác định gần đúng sự biến dạng đầu sóng (H.2.33b).

Khi đường cong biến dạng đầu sóng cắt phần đuôi sóng, điểm giao nhau cho biến độ của sóng sau khi đã truyền qua đoạn đường $x = l$. Trường hợp sóng có độ dài sóng ngắn như trường hợp sóng cắt thì biên độ của sóng giảm rõ rệt dưới tác dụng của vầng quang xung.

Ở phần đuôi sóng, vầng quang không tiếp tục phát triển, các dòng plasma giảm dần độ dẫn điện, vầng quang sẽ tan dần. Có thể coi một cách gần đúng như là đuôi sóng không bị biến dạng.



Hình 2.34: Quan hệ $B = f(d)$ đối với sóng âm

Quan hệ $B = f(d)$ đối với sóng cực tính âm cho ở hình 2.34, hay có thể lấy theo các trị số trung bình:

$$B = 0,5 \times 10^{-3} \text{ 1/kV với } d = 12 \div 15 \text{ mm (tương ứng với ĐD 110 kV)}$$

$$B = 0,3 \times 10^{-3} \text{ 1/kV với } d = 25 \div 30 \text{ mm (tương ứng với ĐD 220 kV)}$$

$$B = 0,2 \times 10^{-3} \text{ 1/kV với } d = 40 \div 60 \text{ mm (tương ứng với ĐD 330} \div 380 \text{ kV)}$$

Trong tính toán chống sét, người ta còn dùng một công thức gần đúng, qui sự biến dạng của đầu sóng dưới tác dụng của vàng quang xung khi đến trạm, thành một đầu sóng xiên góc tương đương theo công thức thực nghiệm sau:

$$\tau_{td} = \tau_o + (0,5 + 0,008 \frac{U_{\max}}{h_{tb}})l, \mu s \quad (2.56)$$

Với τ_o – thời gian đầu sóng tại nơi xuất phát, μs

U_{\max} – biên độ sóng, kV; h_{tb} - độ treo cao trung bình của dây dẫn, m

l - chiều dài của đoạn đường dây (tới trạm) mà sóng truyền qua, km.

Ví dụ: tại nơi xuất phát sóng có dạng vuông góc $\tau_o = 0$, biên độ $U_{\max} = 1000 \text{ kV}$ sau khi truyền qua đoạn tới trạm có chiều dài $l = 1 \text{ km}$, dây dẫn có độ treo cao trung bình $h_{tb} = 10 \text{ m}$ thì sóng bị biến dạng và có đầu sóng tương đương bằng:

$$\tau_{tb} = 0,5 \div 0,8 = 1,3 \mu s$$

Như vậy sự biến dạng của sóng dưới tác dụng của vàng quang xung lớn hơn nhiều so với sự biến dạng do tổn hao bởi điện trở tác dụng của đất.

* Vàng quang xung làm giảm tổng trở sóng của dây dẫn và tăng hệ số ngẫu hợp.

Thành phần dòng điện vàng quang tương ứng với một băng song du có thể viết:

$$di_{vq} = \frac{1}{z'_{vq}} du$$

z'_{vq} là tổng trở sóng của dây dẫn có vàng quang xung khi điện áp tác dụng có trị số bằng u tương ứng với độ cao của băng sóng đã chọn:

$$z'_{vq} = \sqrt{\frac{L_o}{C_d}} = \sqrt{\frac{L_o}{C_o(1+2Bu)}} = \frac{z_o}{\sqrt{1+2Bu}}$$

Dòng điện vàng quang tổng sẽ bằng

$$i_{vq} = \int_0^{i_{vq}} di_{vq} = \frac{u}{z_{vq}} = \frac{1}{z_o} \int_0^u \sqrt{1+2Bu} du \approx \frac{u\sqrt{1+Bu}}{z_o}$$

với z_o là tổng trở sóng của dây dẫn khi không có vàng quang.

$$\text{Như vậy: } z_{vq} = \frac{z_o}{\sqrt{1+Bu}} \quad (2.53)$$

Có nghĩa là khi có vàng quang xung, tổng trở sóng bản thân của dây dẫn bị giảm. Nếu biên độ sóng từ 1000÷1500 kV thì tổng trở sóng giảm khoảng 10÷20% và từ vài nghìn kV thì tổng trở sóng có thể giảm đến 30÷40% và hơn.

Hệ số ngẫu hợp giữa hai giây dẫn 1 và 2 khi chưa có vàng quang được xác định theo.

$$k_{2-1}(0) = \frac{z_{21}}{z_{11}(0)}$$

$z_{11}(0)$ tổng trở sóng bản thân của dây 1 khi chưa có vàng quang.

Khi trên dây 1 xuất hiện vàng quang xung thì tổng trở sóng bản thân của nó giảm trong khi tổng trở sóng tương hỗ thực tế không thay đổi, do đó hệ số ngẫu hợp sẽ tăng theo:

$$k_{2-1(vq)} = \frac{z_{21}}{z_{11}(vq)} = \frac{z_{21}}{z_{11}(0)} \sqrt{1+Bu}$$

$$k_{2-1(vq)} = k_{2-1(0)} \sqrt{1+Bu} \quad (2.54)$$

$k_{(vq)}$ còn gọi là hệ số ngẫu hợp động (dynamic coupling factor) hay hệ số ngẫu hợp điện từ (eleceromagnetic coupling factor).

Như đã biết, hệ số ngẫu hợp tăng sẽ làm cho điện áp tác dụng trên cách điện đường dây giảm, tức điều kiện làm việc của cách điện nhẹ nhàng hơn.

Đối với đường dây cao áp, hệ số ngẫu hợp động k_{vq} thường lớn hơn hệ số ngẫu hợp hình học k_0 khoảng 10÷30%.

Tóm lại, do các tác dụng kéo đầu sóng, giảm biên độ và tăng hệ số ngẫu hợp, vầng quang xung là một nhân tố thuận lợi cho việc bảo vệ quá điện áp cho cách điện của đường dây và trạm. CU thể sẽ trình bày trong các chương bảo vệ chống sét cho đường dây và trạm (chương 5 và chương 7).

Chương 3

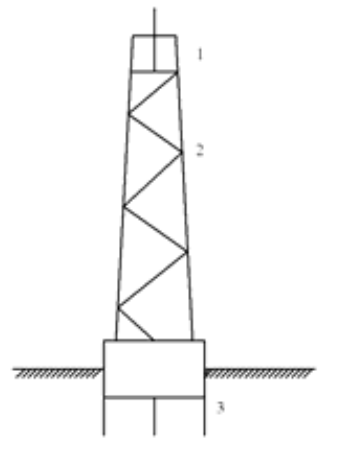
BẢO VỆ CHỐNG SÉT ĐÁNH TRỰC TIẾP CHO HỆ THỐNG ĐIỆN

3.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Sét đánh trực tiếp vào dây dẫn của đường dây tải điện, vào các thiết bị và bộ phận mang điện của nhà máy điện và trạm biến áp sẽ gây nên quá điện áp nguy hiểm, làm ngắn mạch, chạm đất các pha, làm hư hỏng cách điện của các thiết bị, gây gián đoạn sự cung cấp điện cho các hộ tiêu thụ điện, làm thiệt hại cho nền kinh tế quốc dân. Vì vậy phải bảo vệ các hệ thống điện chống sét đánh trực tiếp.

Việc bảo vệ chống sét đánh trực tiếp thường được thực hiện bằng các cột thu sét hoặc dây thu sét.

Đây là những kết cấu gồm: bộ phận thu sét, bộ phận nối đất và bộ phận dẫn dòng điện sét nối liền về điện hai bộ phận trên với nhau (H.3.1)

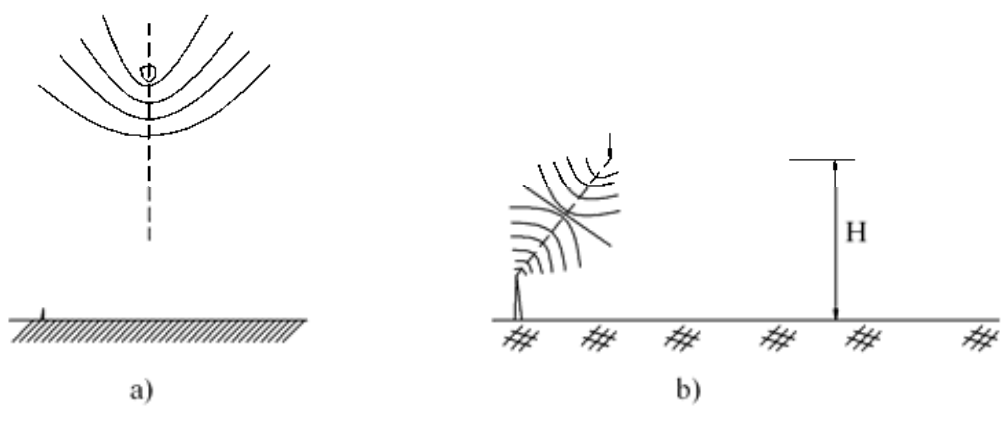


Hình 3.1: Nguyên lý cấu tạo của cột thu sét

Bộ phận thu sét 1 của cột thu sét làm bằng thép ống hoặc thép thanh (có tiết diện không nhỏ hơn 100mm^2) đặt thẳng đứng, được gọi là kim thu sét hoặc bằng dây thép căng ngang giữa các cột trong trường hợp dây chống sét. Bộ phận dẫn dòng điện sét 2 được tạo thành bởi bản thân kết cấu thép của cột thép hoặc bê tông cốt thép, hay bằng dây thép có tiết diện không nhỏ hơn 50mm^2 trong trường hợp kim thu sét đặt trên kết cấu công trình bằng vật liệu không dẫn điện như ống khói, cột gỗ, mái nhà. Bộ phận nối đất 3 được tạo thành bởi một hệ thống cọc và thanh bằng đồng hoặc thép nối liền nhau, chôn trong đất, có điện trở tản bé dòng điện sét tản một cách dễ dàng trong đất.

Đỉnh của bộ phận thu sét vượt cao trên tất cả các thiết bị và bộ phận mang điện cần được bảo vệ.

Tác dụng bảo vệ của cột thu sét (hoặc dây chống sét) diễn ra trong giai đoạn phóng điện tiên đạo của sét. Dòng tiên đạo phát triển theo phương có cường độ điện trường lớn nhất. Khi còn ở trên cao, cách xa mặt đất thì phương này chỉ do bản thân điện trường của đầu dòng tiên đạo xác định, phóng điện phát triển theo con đường thuận lợi nhất cho điều kiện ion hoá không khí, hoàn toàn ngẫu nhiên. Như vậy các vật ở trên mặt đất thực tế không có ảnh hưởng gì đến phần lớn nhất đường đi của khe tiên đạo (H3.2a)



Hình 3.2: Phương phát triển của khe sét khi còn ở trên cao (a) và từ độ cao định hướng (b).

Nhưng bắt đầu từ một độ cao H nào đó gọi là độ cao định hướng của khe sét, do có sự tích tụ điện tích cảm ứng trái dấu với mật độ cao của các vật dẫn ở mặt đất như là: kết cấu kim loại, cây cao bị mưa ướt, ... thì trường của dòng tiên đạo sẽ bị biến dạng. Phương có cường độ điện trường cao lúc này sẽ là giữa đầu dòng tiên đạo và đỉnh của các vật dẫn nhô cao trên mặt đất (cột thu sét, dây chống sét, cột điện, cột anten..) (H.3.2b)

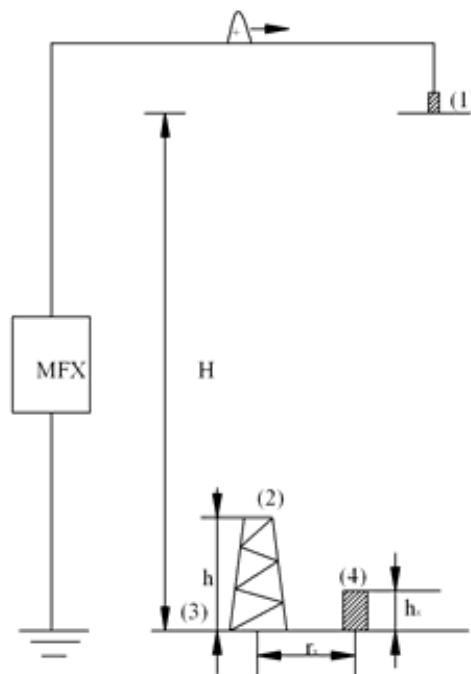
Do đó dòng tiên đạo sẽ phát triển hướng về đỉnh các vật dẫn này (cột, DCS). Như vậy, khả năng sét đánh vào đỉnh cột (hoặc dây chống sét) sẽ tăng và ít có khả năng sét đánh vào các vật thấp ở xung quanh cột. Nếu cột thu sét vượt quá một giới hạn nào đó so với các lần sét đánh dễ vào đỉnh cột, các vật sẽ được bảo vệ an toàn. Khu vực an toàn đó gọi là phạm vi bảo vệ của cột thu sét. Phạm vi bảo vệ này phụ thuộc vào yếu tố: chiều cao, số lượng, cách bố trí các cột thu sét, chiều cao định hướng của sét và các điều kiện địa chất thủy văn của nơi đặt hệ thống thu sét.

3.2 XÁC ĐỊNH PHẠM VI BẢO VỆ CỦA CỘT THU SÉT – MÔ HÌNH A.

KOPIAN

Phạm vi bảo vệ của cột thu sét được xác định bằng thực nghiệm trên mô hình xử lý số liệu theo nguyên lý thống kê. Phóng điện sét được mô phỏng bằng phóng điện tia lửa xung trong khoảng cách không khí lớn giữa một điện cực thanh 1, đặc trưng cho đầu dòng tiên đạo và một điện cực thanh 2, đặc trưng cho cột thu sét đặt trên một tấm kim loại nổi đất tốt, đặc trưng cho mặt đất 3 theo sơ đồ hình 3.3.

Cột thu sét 2 đặt trên tấm kim loại 3 có độ cao h . Điện cực thanh 1 được đặt ở độ cao định hướng H (theo tỷ lệ đã chọn của mô hình) so với mặt đất.



Hình 3.3: Sơ đồ nguyên lý của mô hình xác định phạm vi bảo vệ của cột thu sét

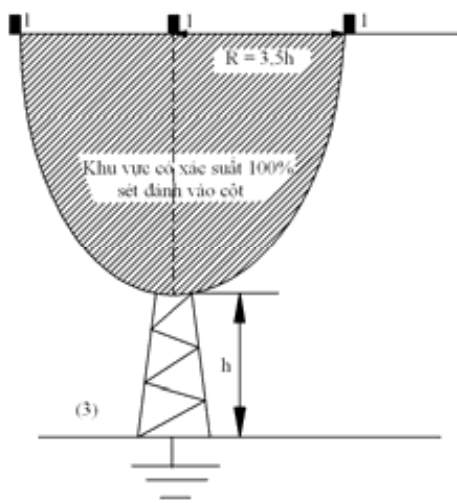
Giữa độ cao định hướng H và độ cao của bộ phận thu sét h có quan hệ $k=H/h$. Tỷ lệ này cũng được xác định bằng thực nghiệm $k=20$ đối với cột thu sét $h \leq 30\text{m}$, khi $h > 30\text{ m}$ thì độ cao định hướng hầu như không phụ thuộc vào h , bằng khoảng $H = 600\text{m}$.

$k = 10$ đối với dây chống sét, khi độ treo cao dây chống sét $h_{CS} \leq 30\text{m}$, khi $h_{CS} > 30\text{ m}$ thì độ cao định hướng của sét không thay đổi và bằng khoảng $H = 300\text{m}$.

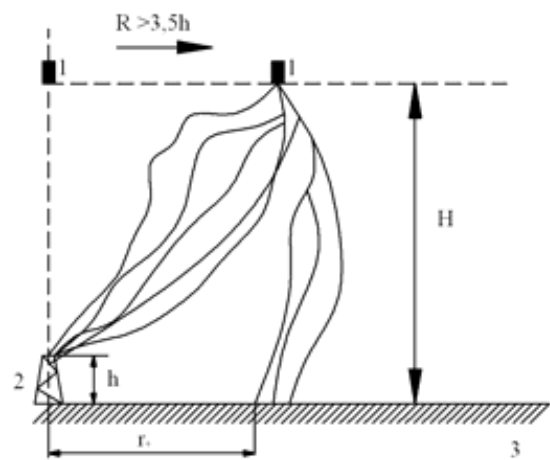
Trên điện cực thanh 1 cho tác dụng một điện áp xung chuẩn dương có biên độ bằng điện áp phóng điện xung bé nhất $U_{50\%}$ của khoảng cách khí giữa đầu cực thanh 1 và tấm kim loại 3. Ở đây phải dùng sóng cực tính dương để cho phóng điện tiên đạo xuất phát từ điện cực thanh 1 chứ không phải từ cột thu sét. Như vậy, kích thước mô hình bé hơn, ngoài ra sẽ có một độ dự trữ nhất định trong việc xác định phạm vi bảo vệ của cột thu sét (trong điện trường rất không đồng nhất phóng điện xuất phát từ điện cực thanh dương và điện áp phóng điện xuyên thủng khoảng cách khi bé hơn hai lần so với khi cực thanh âm). Cột thu sét 2 giữ cố định,

thay đổi vị trí của điện cực 1 trên mặt phẳng ngang tương ứng với độ cao định hướng H và xác định xác suất sét đánh vào cột chống sét phụ thuộc vào vị trí điện cực (ở mỗi vị trí của điện cực, cho phóng điện nhiều lần, vì mức độ tản mạn của phóng điện trong khoảng cách lớn rất cao)

Kết quả thực nghiệm cho thấy khi $R \leq 3,5h$ (H.3.4) thì toàn bộ số lần phóng điện đều tập trung vào đỉnh cột thu sét, khu vực này được gọi là khu vực có xác suất 100% sét đánh vào cột. Khi $R > 3,5h$ thì có một số lần phóng điện xuống đất.



Hình 3.4: Khu vực có xác suất 100% sét đánh vào cột thu sét



Hình 3.5: Xác định xác suất sét đánh vào cột thu sét

Khi R tăng thì số lần phóng điện xuống đất càng nhiều. Do cột thu sét làm biến dạng trường của dòng điện tiên đạo nên nơi đổ bộ của sét ở mặt đất bị lệch về phía chân cột một khoảng cách bé nhất $r_0 \geq 1,6h$. Như vậy khoảng cách bé nhất r_0 là bán kính của phạm vi bảo vệ ở ngay trên mặt đất (H.3.5).

Để xác định phạm vi bảo vệ cho một vật có độ cao h_x , người ta dùng một thanh kim loại có độ cao h_x (theo tỷ lệ đã chọn của mô hình) đặt cách cột thu sét khoảng cách r_x (H.3.6). Điện cực 1, cột thu sét 2 và vật được bảo vệ 4 cùng nằm trong một mặt phẳng vuông góc với mặt đất 3.

Ở mỗi vị trí của điện cực 1 xô dịch vật được bảo vệ 4 ra xa dần cột thu sét 2 tức tăng dần r_x cho đến khi xảy ra phóng điện vào vật được bảo vệ.

Và ở mỗi vị trí tương hỗ đó của chúng tiến hành phóng điện nhiều lần. Từ đó xác định được khoảng cách giới hạn r_x mà vật có độ cao h_x không bị phóng điện. r_x chính là bán kính của phạm vi bảo vệ của cột thu sét ở độ cao h_x .

Số lần phóng điện ở mỗi vị trí của điện cực càng lớn thì độ tin cậy của phạm vi bảo vệ càng cao.

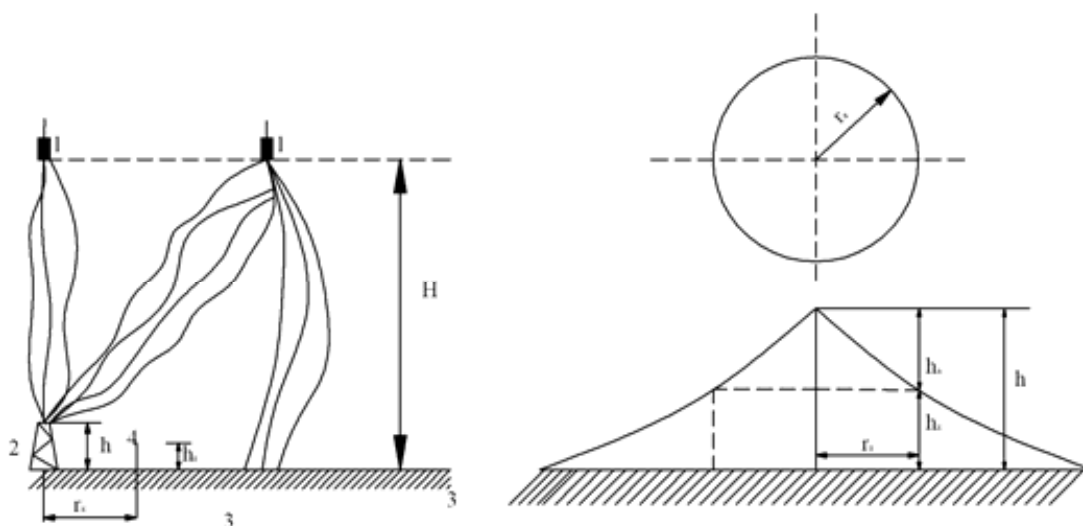
Cách xác định phạm vi bảo vệ của một hệ thống cột thu sét và của dây chống sét cũng được tiến hành tương tự.

Từ phương pháp thực nghiệm trên mô hình đó, đã xác định được phạm vi bảo vệ r_x theo h_x như sau:

3.2.1 Phạm vi bảo vệ của cột thu sét

Với độ tin cậy 99% thì phạm vi bảo vệ của cột thu sét có độ cao h_x là một hình chóp tròn xoay có đường sinh dạng hyperbol xác định theo:

$$r_x = 1,6h \frac{h - h_x}{h + h_x} p \quad \text{với} \quad \begin{cases} p = 1 & h \leq 30\text{m} \\ p = \sqrt{\frac{30}{h}} = \frac{5,5}{\sqrt{h}} & 30\text{m} < h \leq 60\text{m} \end{cases}$$



Hình 3.6: a) Cách xác định phạm vi bảo vệ của một cột thu sét

b) Phạm vi bảo vệ của một cột thu sét

Độ cao vượt lên trên vật được bảo vệ của cột thu sét

$h_a = h - h_x$ gọi là độ cao hiệu dụng của cột thu sét

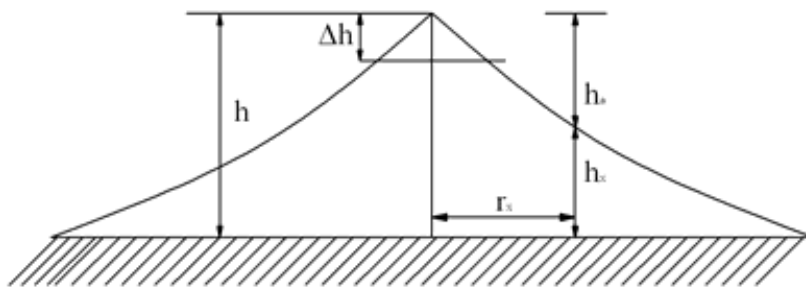
Thực tế vận hành cũng cho thấy rằng đối với cột thu sét có độ cao lớn hơn 60m thì sét không chỉ đánh vào đỉnh kim thu sét mà còn đánh cả vào một phần cột gần đỉnh. Vì vậy chiều cao của phạm vi bảo vệ của cột thu sét có độ cao từ 60÷250m giảm còn $h' = h - \Delta h$.

Đối với cột thu sét cao từ 60÷100m thì Δh tính theo

$$\Delta h = 0,5(h-60) \quad (3.2a)$$

Đối với cột thu sét cao từ 100÷250m thì Δh tính theo

$$\Delta h = 0,2h \quad (3.2b)$$

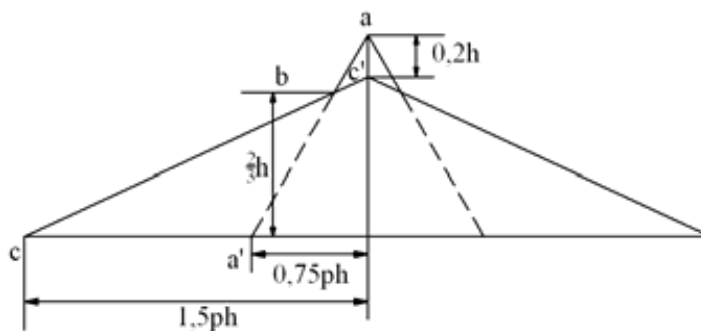


Hình 3.7: Phạm vi bảo vệ của một cột thu sét có độ cao $60m \leq h \leq 250m$

Nếu độ cao hiệu dụng h_a của cột thu sét bằng hay lớn hơn Δh thì phạm vi bảo vệ của cột thu sét được tính theo (3.1), trong đó h được thay bằng $h' = h - \Delta h$.

Nếu độ cao hiệu dụng nhỏ hơn Δh thì cột thu sét không còn phạm vi bảo vệ nữa.

Trong thiết kế, để đơn giản, người ta thường thay thế đường sinh dạng hyperbol giới hạn khi vực bảo vệ bởi hai đoạn thẳng (H.3.8).



Hình 3.8: Phạm vi bảo vệ của một cột thu sét (Phương pháp đơn giản hoá)

Đoạn ab nối liền đỉnh cột thu sét a với điểm a' ở trên mặt đất cách chân cột đoạn $0,75ph$.

Đoạn bc nối liền điểm c' có độ cao $0,8h$ trên cột thu sét với điểm c trên mặt đất cách chân cột $1,5p$ (độ cao của điểm b bằng $2h/3$), như vậy có nghĩa là nếu vật được bảo vệ có độ cao $h_x \leq 2h/3$ thì phạm vi bảo vệ được xác định bởi:

$$r_x = 1,5hp \left(1 - \frac{h_x}{0,8h}\right) \quad (3.3)$$

$$\text{Và nếu } h_x > \frac{2}{3}h \text{ thì } r_x = 0,75hp \left(1 - \frac{h_x}{h}\right) \quad (3.4)$$

3.2.2 Phạm vi bảo vệ của hai cột thu sét

1. Hai cột thu sét có cùng độ cao

Như trên đã trình bày, khi điện cực 1 ở vị trí $R \leq 3,5h$ trên độ cao định hướng thì 100% số lần sét đánh sẽ vào cột thu sét 2. Như vậy nếu hai cột thu sét cùng chiều cao h cách nhau $a = 2R = 7h$ thì mọi điểm trên mặt đất giữa hai cột thu sét sẽ không bị sét đánh.

Từ đó suy ra, nếu hai cột thu sét đặt cách nhau $a < 7h$ thì chúng có thể bảo vệ được một vật có độ cao h_0 đặt giữa chúng, với h_0 xác định theo:

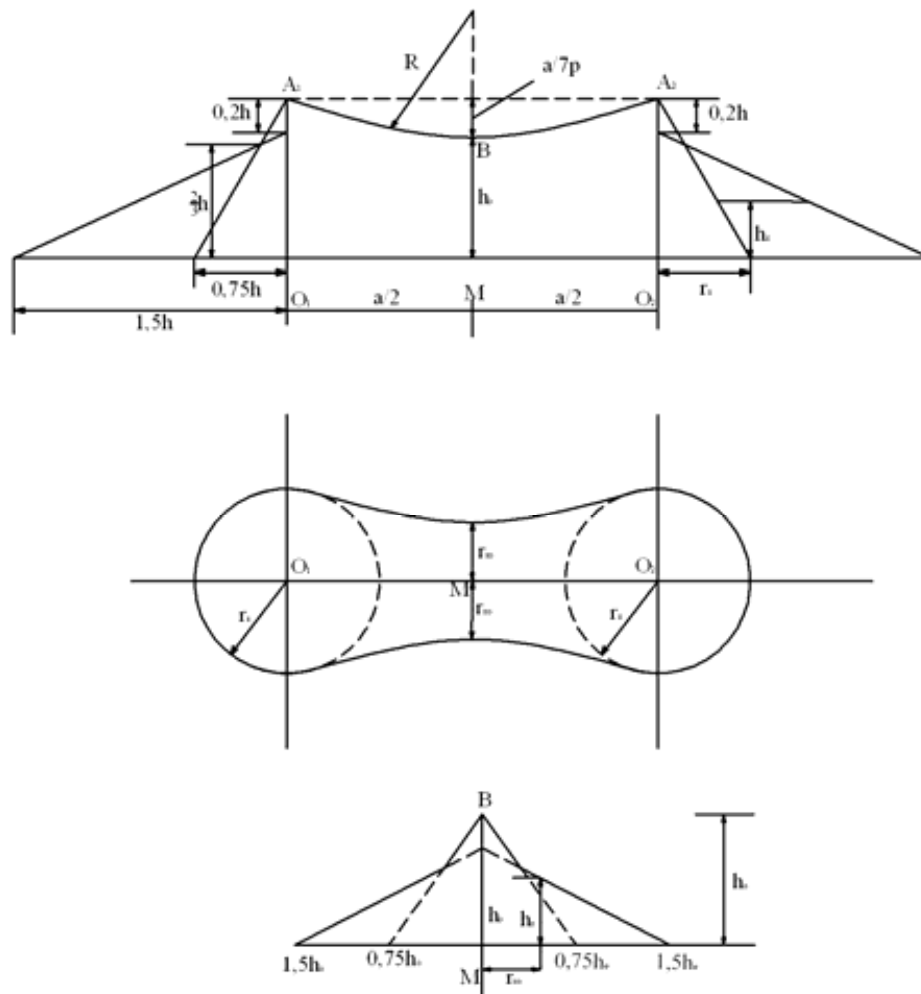
$$h - h_0 = \frac{a}{7p} \text{ hay } h_0 = h - \frac{a}{7p} \quad (3.5)$$

Hoặc nói một cách khác, để bảo vệ một độ cao h_0 giữa hai cột thu sét thì khoảng cách a giữa hai cột thu sét thoả điều kiện:

$$a \leq 7p(h - h_0)$$

Hình 3.9 trình bày cách xác định phạm vi bảo vệ của hai cột thu sét bằng phương pháp đơn giản hoá: Trên mặt chiếu đứng, phạm vi bảo vệ phía ngoài hai cột thu sét được xác định như đối với mỗi cột riêng lẻ. Khu vực giữa hai cột được giới hạn bởi một cung tròn qua hai đỉnh A_1, A_2 và điểm B có độ cao h_0 ở giữa khoảng cách hai cột (H.3.9a).

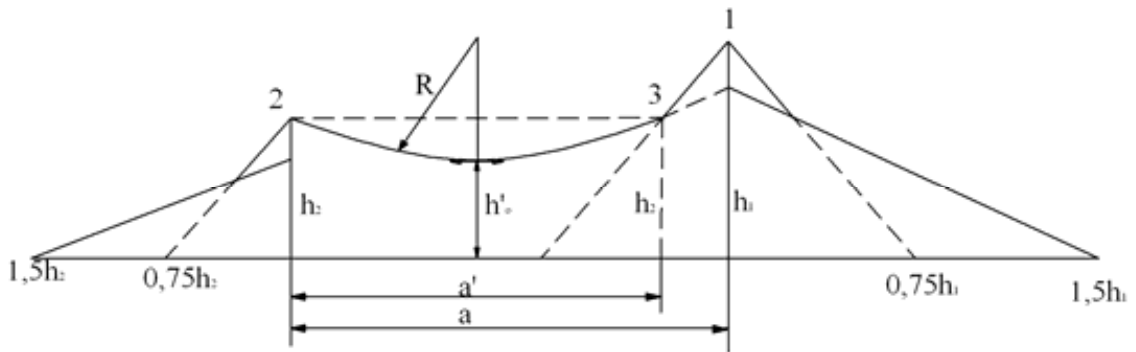
Hình 3.9b là mặt chiếu bằng của phạm vi bảo vệ ở độ cao h_x . Bề rộng bé nhất r_{ox} giữa hai cột được xác định như là có một cột thu sét độ cao h_0 đặt giữa khoảng a , bảo vệ cho vật có độ cao h_x (H.3.9c).



Hình 3.9: Phạm vi bảo vệ của hai CTS cùng chiều cao.

2- Hai cột thu sét có độ cao khác nhau

- Nếu hai cột thu sét có độ cao khác nhau, ví dụ $h_1 > h_2$ thì phạm vi bảo vệ của chúng được xác định như sau (H.3.10):
 - Phạm vi bảo vệ ở phía ngoài hai cột thu sét giống như phạm vi bảo vệ của từng cột riêng lẻ.
 - Phạm vi bảo vệ giữa hai cột có được bằng cách qua đỉnh cột thấp (h_2) vẽ một đường thẳng ngang, nó cắt đường sinh của phạm vi bảo vệ của cột cao h_1 ở điểm 3, điểm này được xem như là đỉnh của một cột thu sét giả tưởng $h'_1 = h_2$ và khu vực bảo vệ giữa cột thấp h_2 và h'_1 cách nhau a' như đã trình bày ở trên giữa hai cột có độ cao bằng nhau.



Hình 3.10: Phạm vi bảo vệ của hai cột thu sét có độ cao khác nhau

3.2.3 Phạm vi bảo vệ của nhiều cột thu sét

Khi công trình cần bảo vệ chiếm một diện tích rộng lớn thì người ta thường dùng một hệ thống nhiều cột thu sét để bảo vệ. Để xác định phạm vi bảo vệ, người ta chia hệ thống cột thu sét thành từng nhóm ba hoặc bốn cột thu sét ở gần nhau. Mặt bằng của phạm vi bảo vệ của ba cột thu sét không nằm trên cùng một đường thẳng trình bày ở hình 3.11a và của bốn cột thu sét đặt ở bốn góc của một hình chữ nhật trình bày ở hình 3.11b.

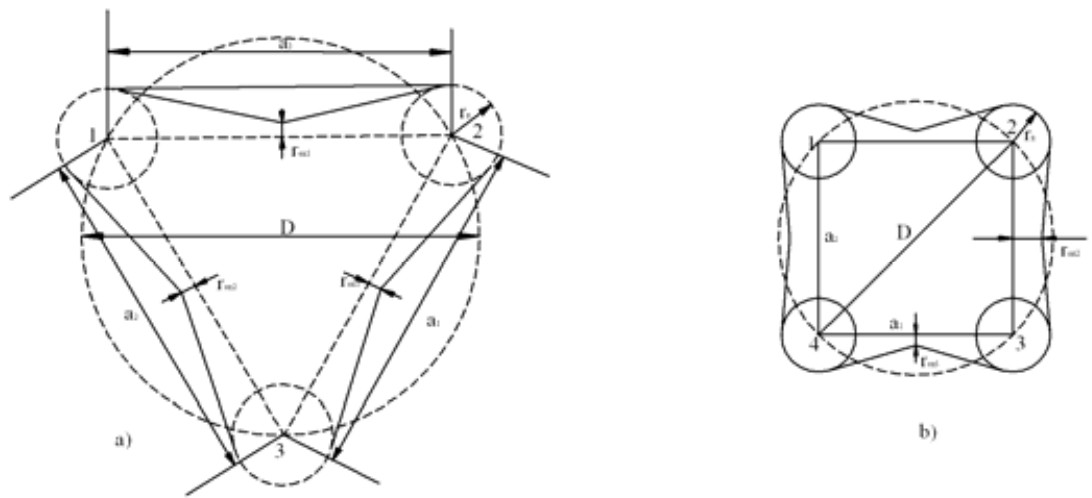
Bên ngoài diện tích của đa giác đi qua chân các cột thu sét (hình tam giác hoặc hình chữ nhật) phạm vi bảo vệ được xác định như giữa từng đôi cột thu sét với nhau. Còn tất cả các thiết bị có độ cao lớn nhất h_x đặt trong diện tích của hình tam giác hay diện tích hình chữ nhật sẽ được bảo vệ an toàn nếu điều kiện sau được thỏa mãn:

$$D \leq 8p(h - h_x) \quad (3.6)$$

Với phóng điện = 1 khi $h \leq 30\text{m}$

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{h}} \quad 30\text{m} < h \leq 60\text{m}$$

D là đường kính vòng tròn ngoại tiếp của hình tam giác hay hình chữ nhật chạy qua đỉnh các cột thu sét.



Hình 3.11: Mặt bằng của phạm vi của ba cột thu sét (a) và bốn cột thu sét (nằm trên bốn đỉnh của một hình chữ nhật)

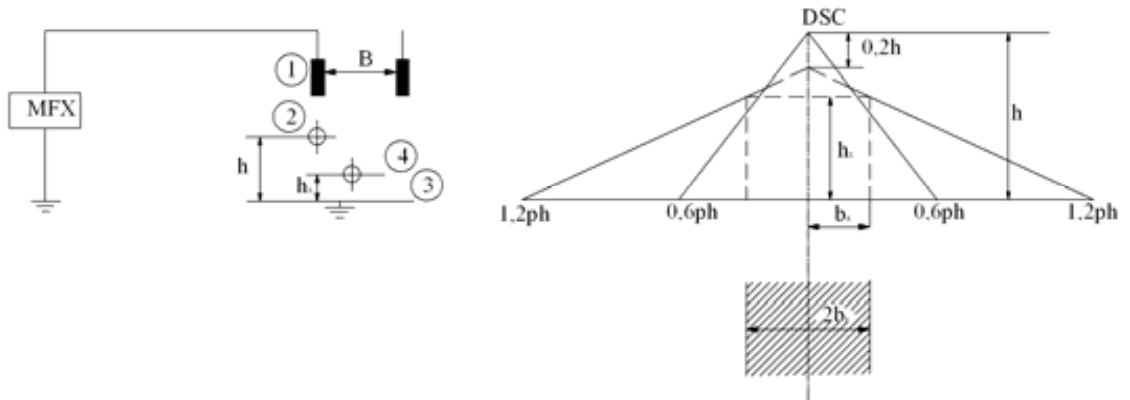
Nếu các cột thu sét có độ cao trên 60m, thì phạm vi bảo vệ ven chu vi giữa từng đôi cột, theo chiều cao (mặt cắt đứng của phạm vi bảo vệ) phải giảm đi Δh kể từ đỉnh, còn phạm vi bảo vệ bên trong diện tích của đa giác vẫn giữ nguyên theo (3.6). Δh cũng được tính theo (3.2a) hoặc 3.2b).

Nếu số cột thu sét nhiều hơn ba và bố trí bất kỳ thì phân ra từng nhóm ba cột gần nhau và kiểm tra điều kiện bảo vệ theo (3.6).

3.3 PHẠM VI BẢO VỆ CỦA DÂY CHỐNG SÉT

Phương pháp xác định phạm vi bảo vệ của dây chống sét cũng tương tự như đối với cột thu sét. Điện cực 1 (ở độ cao định hướng) và vật cần bảo vệ 4 di chuyển trong mặt phẳng thẳng góc với dây chống sét 2. Kết quả thực nghiệm cho thấy khu vực có xác suất 100% sét đánh vào dây chống sét về mỗi bên của dây chống sét có chiều rộng bằng $B = 2h$ và ngay trên mặt đất về mỗi bên của dây chống sét nó bảo vệ được một giải có chiều rộng $b = 1,2h$ với h là độ treo cao dây chống sét (B tương ứng với R trong trường hợp cột thu sét, b tương ứng với r).

3.3.1 Phạm vi bảo vệ của một dây chống sét



Hình 3.12: Phạm vi bảo vệ của một dây chống sét

Cách vẽ giới hạn phạm vi bảo vệ của một dây chống sét trình bày trong hình 3.12. Nếu vật cần bảo vệ có độ cao h_x thì phạm vi bảo vệ với độ tin cậy 99% được xác định theo:

1- Với dây chống sét có độ treo cao $h \leq 30m$

$$b_x = 1,2hp \frac{h - h_x}{h + h_x} \quad (3.7)$$

hoặc theo phương pháp đơn giản.

$$\begin{cases} b_x = 1,2hp(1 - \frac{h_x}{0,8h}) & h_x \leq \frac{2}{3}h \\ b_x = 0,6hp(1 - \frac{h_x}{h}) & h_x > \frac{2}{3}h \end{cases} \quad (3.8)$$

2- Với dây chống sét có độ treo cao $30m < h < 250m$

Phạm vi bảo vệ theo chiều cao (mắt cắt đứng) giảm một khoảng Δh tính từ đỉnh. Với Δh tính theo:

$$30m < h \leq 100m \Rightarrow \Delta h = 0,29(h - 30) \quad (3.10a)$$

$$100m < h < 250m \Rightarrow \Delta h = 0,2h \quad (3.10b)$$

3.3.2 Phạm vi bảo vệ của hai dây chống sét

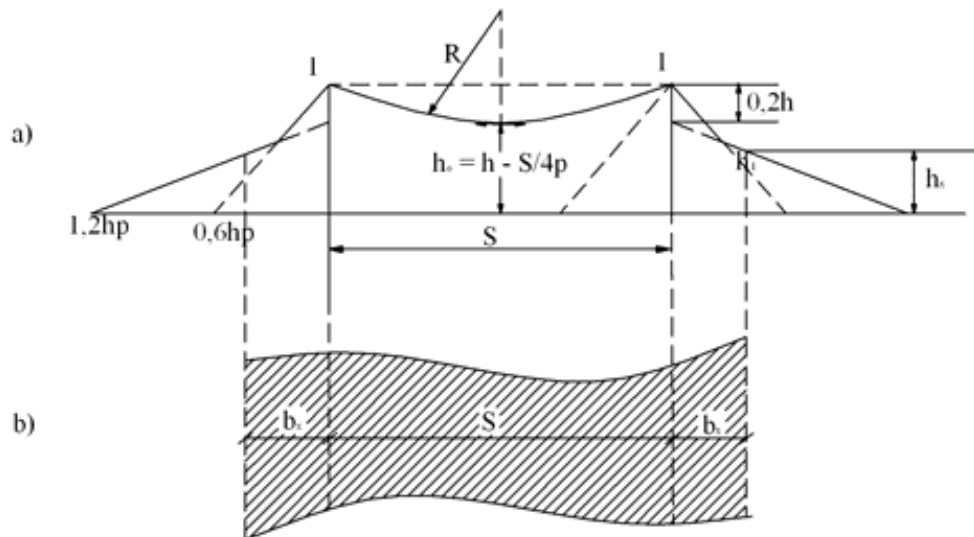
Khi hai dây chống sét đặt cách nhau $S = 2B = 4h$ thì mọi điểm trên mặt đất nằm giữa hai dây chống sét sẽ được bảo vệ an toàn. Nếu $S < 4h$ thì giữa hai dây chống sét sẽ bảo vệ được một độ cao:

$$h_o = h - \frac{S}{4p} \quad (3.11)$$

Khi dây dẫn ba pha của đường dây tải điện cùng nằm trên một mặt phẳng ngang thì điều kiện để dây giữa với độ cao h_{DD} được bảo vệ là khoảng cách S giữa hai dây chống sét phải thoả điều kiện:

$$S < 4p(h_{DCS} - h_{DD}) \quad (3.12)$$

Giới hạn phạm vi bảo vệ (mặt cắt đứng) ở phía ngoài hai dây chống sét cũng giống như đối với từng dây chống sét riêng lẻ, còn khu vực bảo vệ giữa hai dây chống sét được giới hạn bởi cung tròn vẽ qua hai điểm treo dây chống sét và điểm ở giữa có độ cao h_o (H.3.13a).



Hình 3.13: Phạm vi bảo vệ của hai dây chống sét

Trên mặt chiếu bằng (H.3.13b), bề rộng của phạm vi bảo vệ cho vật có độ cao h_x bằng $S + 2b_x$.

3.3.3 Cách xác định phạm vi bảo vệ của dây chống sét của đường dây tải điện cao áp.

Trong thực tế, dây chống sét thường được dùng để bảo vệ các dây dẫn của đường dây tải điện cao áp. Độ treo cao trung bình của dây dẫn thường lớn hơn $2h/3$, do đó trong trường hợp này việc vẽ toàn bộ phạm vi bảo vệ của dây chống sét là không cần thiết và thông thường chỉ cần xác định góc bảo vệ α là đủ.

α là góc tạo thành giữa đường thẳng nối liền các điểm treo dây chống sét và dây dẫn và đường thẳng vuông góc với mặt đất qua dây chống sét (H.3.14).

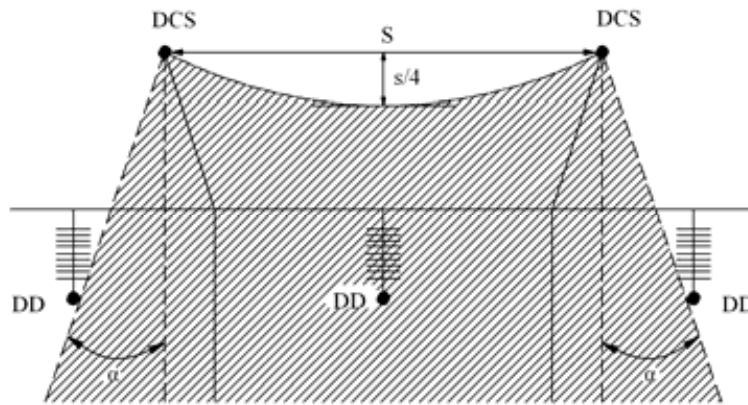
α càng bé thì xác suất sét đánh vào dây dẫn v_α càng bé:

$$\lg v_\alpha = \frac{\alpha \sqrt{h_c}}{90} - 4 \quad (3.13)$$

với h_c chiều cao của cột điện, m; α – góc bảo vệ, tính theo độ.

Ở trường hợp giới hạn $h_{DD} = \frac{2}{3} h_{DCS}$ chống sét có thể bảo vệ được một góc $\alpha_{sh} = 31^\circ$ ($\text{tg} \alpha_{sh} = 0,6$).

Song trong thực tế để tăng mức an toàn, tức là giảm xác suất sét đánh vòng qua dây chống sét có thể chịu đến hàng trăm lần sét đánh, việc tăng mức an toàn (chọn góc α bé) của đường dây sẽ làm giảm xác suất sét đánh vào dây dẫn một cách đáng kể.



Hình 3.14: Góc bảo vệ của dây chống sét

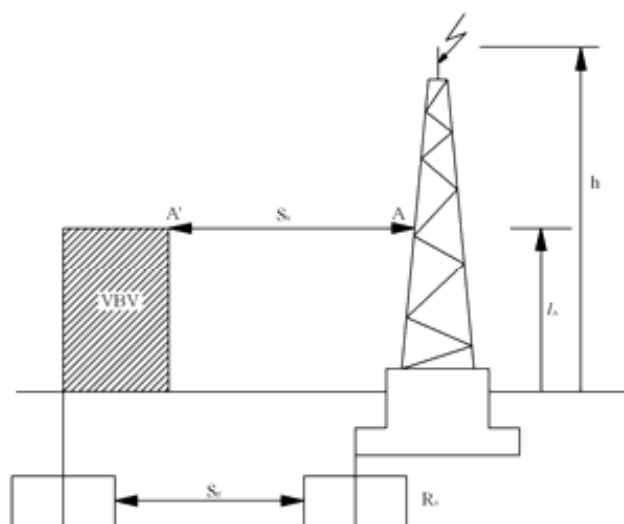
3.4 CÁC YÊU CẦU KỸ THUẬT KINH TẾ KHI DÙNG HỆ THỐNG CỘT THU SÉT ĐỂ BẢO VỆ SÉT ĐÁNH THẲNG CHO TRẠM BIẾN ÁP VÀ NHÀ MÁY ĐIỆN

Ở các trạm biến áp và nhà máy điện trong những điều kiện nhất định, cột thu sét có thể đặt ngay trên các kết cấu công trình của trạm và nhà máy như cột xà, mái nhà, ống khói, cột đèn pha chiếu sáng... nhờ lợi dụng các độ cao sẵn có này của trạm mà tận dụng phạm vi bảo vệ và giảm được giá thành xây dựng cột thu sét. Nhưng khi sét đánh vào cột thu sét, dòng điện sét truyền qua thân cột tản qua điện trở nối đất có thể gây nên phóng điện ngược từ các kết cấu công trình (xà, cột) của trạm đến các bộ phận mạng điện (dây dẫn, thanh góp) nếu điện áp

giáng xung trên hệ thống nối đất vượt qua mức cách điện xung của trạm. Do đó, việc đặt cột thu sét trên kết cấu công trình của trạm chỉ cho phép khi trạm có mức cách điện xung cao và điện trở nối đất bé. Đối với trạm 110kV trở lên, các yêu cầu này dễ dàng thoả mãn. Còn đối với trạm 35kV chỉ cho phép đặt cột thu sét trên các kết cấu công trình của trạm (trừ xa máy biến áp), trong các điều kiện, khi điện trở nối đất của kết cấu có đặt cột thu sét không vượt quá 4Ω trong phạm vi có bán kính 20m, nếu điện trở suất của đất $\rho \leq 500\Omega\text{m}$ và trong phạm vi bán kính 30m nếu điện trở suất của đất $\rho > 500\Omega\text{m}$

Chân của các kết cấu có đặt cột thu sét phải được nối theo đường ngắn nhất vào hệ thống nối đất của trạm tại giao điểm của các thanh cân bằng thế, đồng thời tại nơi đặt cột thu sét để tản dòng sét thuận lợi, nối đất của trạm được tăng cường bằng cách bổ sung thêm một số tia hoặc cọc hoặc tổ hợp tia cọc nối đất tùy trị số điện trở suất của đất ρ bé hay lớn, được gọi là nối đất bổ sung.

Khi các điều kiện trên không thoả mãn, cũng như khi điện trở suất của đất $\rho > 1000\Omega\text{m}$ thì cột thu sét được đặt cách ly với kết cấu công trình của trạm và nối đất của cột thu sét không nối chung với mạch nối đất an toàn của trạm. Khi đặt cột thu sét cách ly thì khoảng cách từ thân cột thu sét đến các vật cần bảo vệ của trạm, trong không khí, cũng như khoảng cách trong đất giữa nối đất của cột thu sét và nối đất an toàn của thiết bị, phải đủ lớn để bảo đảm không có phóng điện ngược từ phía cột thu sét sang thiết bị được bảo vệ (H.3.15).



Hình 3.15: Cột thu sét đặt cách ly

Khi sét đánh vào cột thu sét điện thế của điểm A trên thân cột (tương ứng với độ cao lớn nhất của vật được bảo vệ) được tính theo :

$$U_A = I_s R_x + L_A \left(\frac{di_s}{dt} \right)_{tb} \quad (3.14)$$

Và điện áp giáng xung trên hệ thống nối đất cột thu sét được tính theo:

$$U_d = I_s R_x \quad (3.15)$$

Với I_s – biên độ dòng điện sét, kA

L_A - điện cảm của phần cột thu sét từ mặt đất đến điểm A, μH

R_x - điện trở tản xung của nối đất cột thu sét, Ω

$\left(\frac{di_s}{dt} \right)_{tb}$ - độ dốc đầu sóng trung bình của dòng điện sét, kA/ μs .

Trong tính toán thiết kế chống sét cho các trạm có công suất lớn, theo qui phạm chống sét hiện hành để có độ an toàn cao thường lấy $I_s = 150 \text{ kA}$, $\frac{di_s}{dt} = 30 \text{ kA}/\mu s$. Đối với cột thu sét bằng thép kiểu mạng lưới, trị số điện cảm theo đơn vị chiều dài khoảng $L_0 = 1,7 \mu H/m$.

Từ đó $U_A = 150 R_x + 30 \times 1,7 I_A$.

Muốn không có phóng điện từ cột sang vật được bảo vệ, rõ ràng phải đảm bảo sao cho độ bền điện xung của khoảng cách không khí cao hơn điện áp xung tác dụng lên khoảng cách không khí đó, tức là:

$$U_x^K = \bar{E}_x^K . S_k > U_A \Rightarrow S_k > \frac{U_A}{\bar{E}_x^K} \quad (3.16)$$

Với U_x^K - điện áp phóng điện xung bé nhất của khoảng cách không khí S_k kA

\bar{E}_x^K - độ bền điện xung trung bình của không khí, kV/m

Còn điện áp trên bộ phận nối đất của cột thi sét bằng:

$$U_x^D = \bar{E}_x^D . S_d > U_d \Rightarrow S_d > \frac{U_d}{\bar{E}_x^D} \quad (3.17)$$

\bar{E}_x^D là độ bền điện xung trung bình của đất, kV/m

Độ bền điện xung của không khí trung bình khoảng 500kV/m và của đất khoảng 300kV/m. Từ đó suy ra khoảng cách an toàn trong không khí:

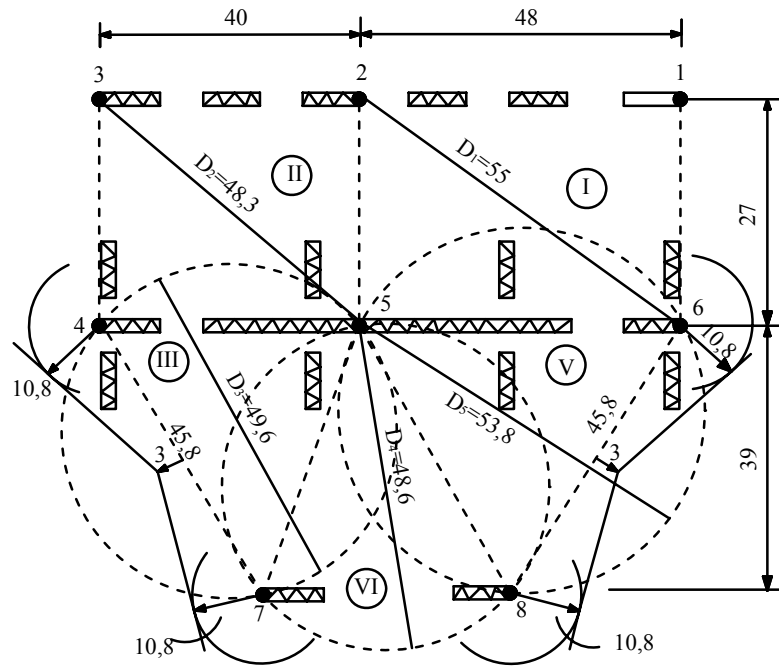
$$S_k > \frac{150R_x + 50l_A}{500} = 0,3R_x + 0,1l_A$$

$$\text{Và trong đất: } S_d > \frac{150R_x}{500} = 0,5R_x$$

Có thể xuất phát từ điều kiện an toàn này để xác định trị số điện trở nối đất cần phải đạt được của hệ thống thu sét hoặc khi đã biết điện trở nối đất thì căn cứ vào đó để xác định hoặc kiểm tra khoảng cách an toàn.

Ví dụ về bố trí và tính toán độ cao hệ thống thu sét

Hình 3.16 trình bày mặt bằng của một trạm phân phối ngoài trời 110kV và thiết kế hệ thống bảo vệ chống sét đánh thẳng. Chiều cao lớn nhất cần được bảo vệ của trạm là độ cao của dây dẫn $h_x = 11\text{m}$.



Hình 3.16: Ví dụ về bố trí và tính toán chiều cao của hệ thống cột thu sét để bảo vệ trạm biến áp

Để bảo vệ chống sét đánh trực tiếp vào trạm sẽ dùng hệ thống kim thu sét đặt trên kết cấu công trình của trạm, vị trí của chúng đánh số từ 1, 2, ...7, 8 (trên trụ đỡ công và các xà trung gian).

Cơ sở để tính toán ở đây là hệ thống cột thu sét phải có phạm vi bảo vệ trùm kín toàn bộ các thiết bị và bộ phận mang điện của trạm, mặt khác phải có, độ cao hiệu dụng vừa phải, khoảng từ (0,5÷0,6) độ cao của công trình, không gây trở ngại cho sự vận hành bình thường của trạm và bảo đảm mỹ quan cho công trình.

Chia mặt bằng của trạm thành các khu vực từ I đến V và lần lượt tính độ cao hiệu dụng của các cột thu sét trong từng khu vực, kết quả cho trong bảng sau:

Khu vực	D (m)	h_o (m)	h_x (m)	h_{tt} (m)
I	55	6,9	11	17,9
II	48,3	6,0	11	17
III	49,6	6,2	11	17,2
IV	49,6	6,2	11	17,2
V	53,8	6,7	11	17,7

Lựa chọn tất cả các cột cùng độ cao hiệu dụng là $h_a = 7m$, như vậy độ cao của tất cả các cột thu sét $h = h_a + h_x = 7+11 = 18m$ (chú ý: các xà trạm có đặt kim thu sét có độ cao 11m)

Từ hình vẽ thấy rằng các đoạn thanh góp gần xà A và B có độ cao 8,2m nằm ngoài giới hạn khu vực III và IV, nên cần kiểm tra lại khả năng bảo vệ đối với các đoạn thanh góp này.

Vẽ phạm vi bảo vệ của đôi cột 4-7 và 6-8

$$r_x = 1,6h \frac{h - h_x}{h + h_x} = 1,6 \times 18 \times \frac{18 - 8,2}{18 + 8,2} = 10,8m$$

$$h_o = h - \frac{a}{7} = 18 - \frac{45,8}{7} = 18 - 6,6 = 11,4m$$

$$r_x = 1,6h_o \frac{h_o - h_x}{h_o + h_x} = 1,6 \times 11,4 \times \frac{11,4 - 8,2}{11,4 + 8,2} = 3m$$

Hình vẽ cho thấy các đoạn thanh góp gần các xà A và B đều nằm trong phạm vi bảo vệ của các cột thu sét tương ứng.

Kết luận: Toàn bộ trang bị và bộ phận mang điện của trạm đều được bảo vệ kín chống sét đánh thẳng.

Chương 4

NỐI ĐẤT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

4.1 CÁC KHÁI NIỆM CHUNG

Tác dụng nối đất là để tản vào đất dòng điện sự cố (rò cách điện, ngắn mạch, chạm đất hoặc dòng điện sét) và giữ cho điện thế trên các phần tử được nối đất thấp. Theo chức năng của nó, nối đất trong hệ thống điện chia làm ba loại.

Nối đất làm việc có nhiệm vụ bảo đảm sự làm việc của trang thiết bị điện trong các điều kiện bình thường và sự cố theo các chế độ qui định. Đó là nối đất trung tính các cuộn dây máy phát, máy biến áp công suất và máy bù, nối đất máy biến áp đo lường, nối đất trong hệ thống pha đất (đất được dùng như một dây dẫn).

Nối đất an toàn hay nối đất bảo vệ có nhiệm vụ bảo đảm an toàn cho người phục vụ khi cách điện của trang thiết bị điện bị hư hỏng gây rò điện. Đó là nối đất vỏ máy phát, máy biến áp, vỏ thiết bị điện, vỏ cáp, nối đất các kết cấu các bộ phận kim loại, bình thường có điện thế bằng không, nhưng khi cách điện bị hư hỏng do phóng điện xuyên thủng hay phóng điện mặt có điện thế khác không.

Nối đất chống sét nhằm tản dòng điện sét vào đất, giữ cho điện thế của các phần tử được nối đất không quá cao để hạn chế phóng điện ngược từ các phần tử đó đến các bộ phận mang điện và trang thiết bị điện khác. Đó là nối đất cột thu sét, dây chống sét, các thiết bị chống sét, nối đất các kết cấu kim loại có thể bị sét đánh.

Trong rất nhiều trường hợp, cùng một hệ thống nối đất đồng thời thực hiện hai hoặc ba nhiệm vụ nói trên.

Các loại nối đất thông thường được thực hiện bằng một hệ thống những cọc thép (hoặc đồng) đóng vào đất hoặc những thanh ngang bằng cùng loại vật liệu chôn trong đất, hoặc cọc và thanh nối liền nhau và nối liền với vật cần nối đất. Cọc thường làm bằng thép ống hoặc thanh thanh tròn không rỉ (hoặc mạ kẽm), đường kính từ 3 đến 6 cm, dài từ 2 đến 3m hoặc bằng thép góc 40*40mm.mm, 50*50mm.mm đóng thẳng đứng vào đất, còn thanh ngang bằng thép thanh dẹt tiết diện $(3\div 5) \cdot (20\div 40) \text{mm}^2$ hoặc thép thanh tròn đường kính 10 đến 20mm. Cọc và thanh được gọi chung là cực nối đất, thường được chôn sâu cách mặt đất 50 đến 80 cm

để giảm bớt ảnh hưởng thời tiết không thuận lợi (quá khô về mùa nắng, bị băng giá về mùa đông) và tránh khả năng bị hư hỏng về cơ giới (do đào hơi cày cuốc).

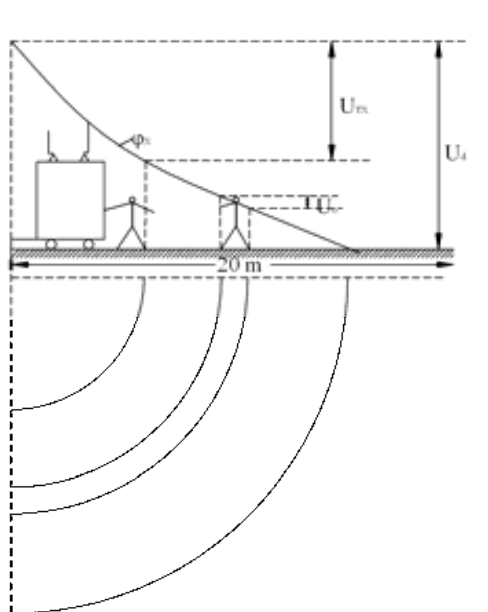
Dòng điện I_d chạy qua các cực tản vào đất, tạo nên trong đất quanh nó một điện trường (điện trường trong môi trường dẫn điện). Môi điểm trong điện trường đó kể cả trên mặt đất có một điện thế nhất định. Trên mặt đất những điểm ở cách xa cực khoảng 20m trở lên có thể coi như có điện thế bằng không (cường độ trường ở các khoảng cách đó thường không quá 1V/m). Điện thế của cực nối đất đối với các điểm có điện thế “không”, về trị số bằng điện áp giáng trên cực được gọi là điện áp trên cực U_d

- Điện trở nối đất được định nghĩa như là tỉ số giữa điện áp trên cực U_d và dòng điện qua nó I_d

$$R_d = \frac{U_d}{I_d}$$

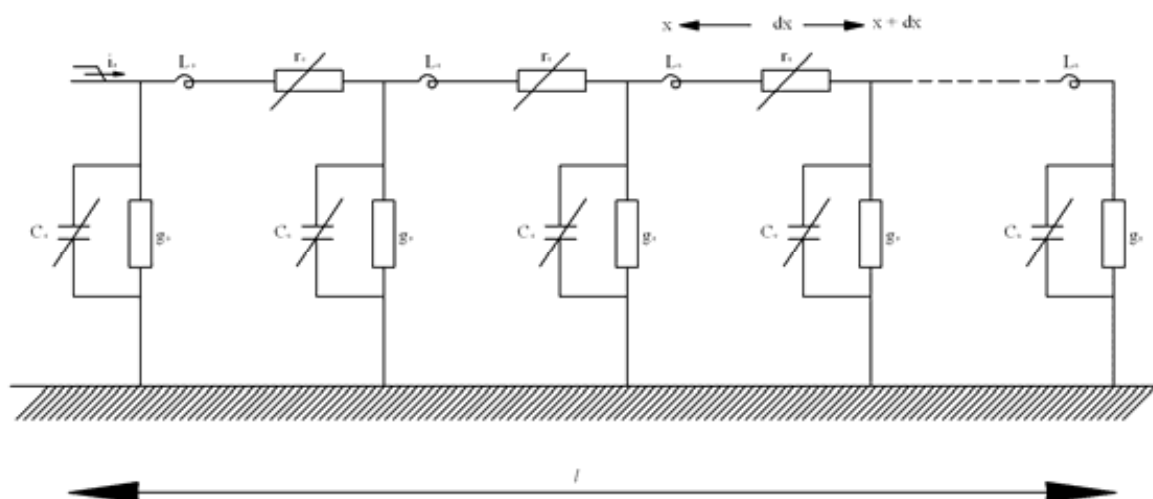
- Điện trở R_d gồm điện trở của bản thân điện cực và điện trở tản trong đất. Điện trở của bản thân điện cực phụ thuộc vào vật liệu và kích thước của cực. Khi tản dòng một chiều hoặc xoay chiều 50Hz thì trị số của điện trở bản thân điện cực rất bé có thể bỏ qua. Khi tản dòng điện xung có độ dốc lớn (dòng sét) nó có thể có trị số đáng kể, sẽ được xét sau.

Điện trở tản trong đất có trị số lớn hơn nhiều và phụ thuộc vào nhiều yếu tố như kích thước, hình dáng, số lượng, cách bố trí các điện cực, phụ thuộc vào dạng và trị số dòng điện, phụ thuộc tính chất, cấu tạo, trạng thái của đất và thời tiết.



Hình 4.1: Phân bố thế quanh điện cực trong đất

- Khi tản dòng sét, quá trình truyền sóng trên cực nổi đất tương tự như trên đường dây tải điện. Tuy nhiên trong sơ đồ thay thế thống số rải, điện trở tác dụng cấu bản thân điện cực r_0 rất bé so với cảm kháng L_0 của điện cực và dòng quá điện dung C_0 của nó rất bé so với dòng quá điện dẫn tản g_0 ra môi trường đất quanh điện cực nên có thể bỏ qua r_0 và C_0 (H.4.2). Nhờ đó, phương trình mô tả quá trình truyền sóng trên cực đất đơn giản hơn và có thể giải bằng các phương pháp giải tích đơn giản thông dụng:



Hình 4.2 : Sơ đồ thay thế khi tản dòng sét qua cực nổi đất

- Khi dòng sét với độ dốc đầu sóng lớn chạy qua điện cực thì, ban đầu do từ thông không biến thiên đột ngột, nên điện cảm của cực có tác dụng cản trở dòng điện đi sâu vào chiều dài của nó, do đó trị số điện trở nổi đất ở thời điểm ban đầu lớn và giảm dần theo thời gian, điện áp giáng ở đầu vào lớn và giảm dần theo chiều dài điện cực, tức là điện thế phân bố không đều trên điện cực.

Ảnh hưởng của điện cảm sẽ giảm dần theo thời gian, điện áp phân bố theo chiều dài điện cực trở nên đều đặn hơn và khi quá trình quá độ kết thúc điện trở tản ổn định bằng:

$$R_{\infty} = \frac{1}{g_0 l} = R_{\sim} \quad (4.2)$$

với - điện dẫn tản của đất trên một đơn vị chiều dài của điện cực

l - chiều dài điện cực.

R_∞ Cũng chính là trị số điện trở R_∞ khi tản dòng một chiều hoặc xoay chiều tần số 50Hz vì trong trường hợp này ảnh hưởng của điện cảm L_0 không đáng kể, do đó độ biến thiên dòng điện bé.

Như vậy ảnh hưởng của điện cảm L_0 của điện cực thay một thời gian của quá trình truyền sóng qua điện cực, nghĩa là phụ thuộc vào hằng số thời gian của quá trình quá độ $T \equiv L_0 \cdot g_0 l^2$.

Khi tản dòng sét, trị số điện trở tản của cực nổi đất lớn nhất gần đúng vào lúc dòng sét đạt trị số cực đại, tức là lúc $t = \tau_{ds}$

Nếu hằng số thời gian của quá trình quá độ $T \ll \tau_{ds}$ thì lúc dòng điện sét đạt trị số cực đại, quá trình quá độ đã kết thúc, ảnh hưởng của điện cảm L_0 không còn nữa, điện trở tản có trị số bằng $R_\infty = 1/g_0 l$ và có thể coi điện thế tại mọi điểm trên điện cực bằng nhau. Trường hợp này ứng với hình thức nổi đất bằng cọc hoặc thanh ngang, có chiều dài không lớn và được gọi là hình thức nổi đất tập trung. Nếu cực nổi đất dài, T có thể bằng hoặc lớn hơn τ_{ds} ($T \gg \tau_{ds}$) thì khi dòng sét qua trị số cực đại ($t = \tau_{ds}$) quá trình quá độ chưa kết thúc, ảnh hưởng của điện cảm vẫn tồn tại, do đó điện trở tản xung lớn hơn điện trở tản ổn định $R_x \geq R_\infty$. Đây là trường hợp nổi đất kéo dài (hay nổi đất phân bố). Điện thế phân bố không đều điện cực, ở đầu vào cao và giảm dần theo chiều dài điện cực.

Khi tản dòng sét, ngoài ảnh hưởng của điện cảm L của cực nổi đất còn một yếu tố quan trọng nữa ảnh hưởng đến trị số của điện trở tản nổi đất, đó là hiện tượng phóng điện tia lửa trong đất. Khi dòng sét có biên độ lớn, cường độ trường xung trong đất quanh điện cực có trị số bằng $E_{dx} = \delta_s \rho_x$ với δ_s - mật độ dòng sét, ρ_x điện trở suất xung của đất, có thể có trị số cao vượt quá trị số trường tới hạn của đất, có thể có trị số cao vượt quá trị số trường tới hạn của đất E_{pd} đất thì sẽ gây nên phóng điện tia lửa trong đất (E_{pd} đất gần bằng 10÷12kV/cm), vùng đất quanh điện cực trở nên dẫn điện tốt, khiến điện trở tản xung giảm và trong trường hợp khi chiều dài điện cực ngắn thì điện trở tản xung có thể bé hơn cả điện trở tản xoay chiều tần số 50Hz.

Tóm lại, đối với nổi đất chống sét, cần phân biệt điện trở hay tổng trở tản xung (Z_x hay R_x) với điện trở tản ổn định R_∞ . Quan hệ giữa hai trị số này biểu thị bởi hệ số xung $\alpha_x = \frac{R_x}{R_\infty}$

Nếu ảnh hưởng của điện cảm của cực nổi đất nhỏ (chiều dài bé) thì $\alpha_x < 1$ tương ứng với hình thức nổi đất tập trung, ngược lại nếu ảnh hưởng của điện cảm lớn (chiều dài lớn) thì $\alpha_x \geq 1$, tương ứng với hình thức nổi đất kéo dài.

4.2 ĐIỆN TRỞ TẢN NỔI ĐẤT Ở TẦN SỐ CÔNG NGHIỆP R~

Các kiến thức về nổi đất an toàn đã được trình bày ở giáo trình an toàn điện, ở đây chỉ nhắc lại một vài điểm có liên quan đến việc tính toán và thiết kế hệ thống nổi đất chống sét cho trạm và nhà máy điện. Theo Quy phạm về nổi đất trong lưới điện hiện hành của ta thì:

- Đối với hệ thống có trung tính trực tiếp nổi đất (tức hệ thống có dòng ngắn mạch chạm đất một pha lớn $I_d > 500A$ và thời gian duy trì khoảng $t \leq 0,15s$ (xác định bởi thời gian tác động của bảo vệ rơle chính) thì điện trở của nổi đất an toàn của trang thiết bị điện trong mọi trường hợp và mọi điều kiện thời tiết không được vượt quá $0,5\Omega$ ($R \leq 0,5\Omega$).

- Đối với hệ thống có trung tính cách điện ($I_d \leq 500A$) nếu nổi đất riêng cho các thiết bị điện cao áp ($U \geq 1000V$) thì điện trở nổi đất an toàn cho phép: $R \leq 255/I_d \Omega$, nếu nổi đất chung cho cả thiết bị điện áp cao ($U \geq 1000V$) và điện áp thấp ($U < 1000V$) thì điện trở nổi đất an toàn cho phép tính theo: $R \leq 125/I_d \Omega$.

Nhưng trong cả hai trường hợp, điện trở tản nổi đất an toàn cho phép không vượt quá $4 \div 10\Omega$ đối với nổi đất của trạm và nhà máy điện và không quá $5 \div 30\Omega$ đối với nổi đất đường dây. Trong các công thức trên I_d là dòng chạm đất một pha tính tại nơi định đặt nổi đất. Nếu hệ thống có trung tính cách điện thì:

$$I_d = 3\omega C U_p$$

với: C - điện dung của pha đối với đất

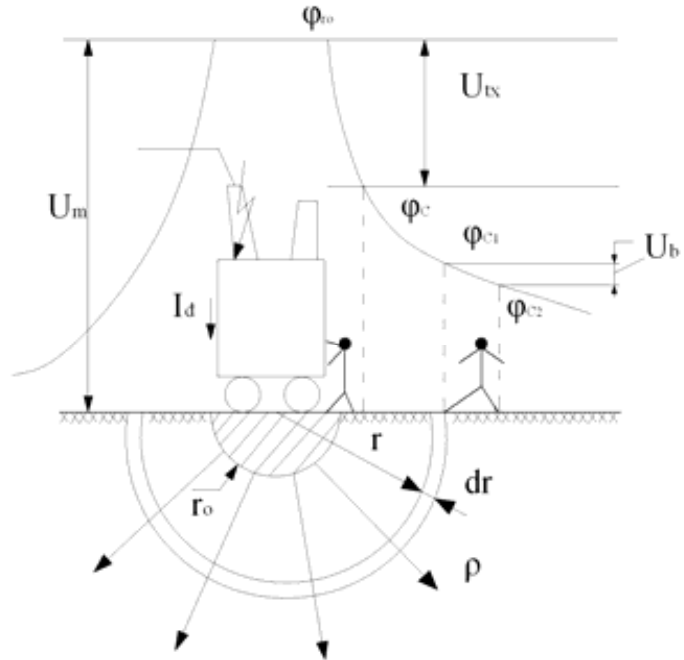
U_p - điện áp pha. Nếu hệ thống có trung tính nổi đất qua cuộn dập hồ quang thì $I_d =$

$\left| \dot{I}_L - \dot{I}_C \right|$ là dòng điện bù dư.

Điện trở tản ở tần số công nghiệp (ổn định) của các điện cực nổi đất dạng đơn giản, trong môi trường đất đồng nhất, có thể xác định bằng giải tích.

Ví dụ, đối với một điện cực hình bán cầu, bán kính r_0 , nổi với một vỏ máy biến áp công suất, giả sử một lý do nào đó xảy ra chạm vỏ (phóng điện mặt ở cách điện ngoài hay phóng

điện xuyên thủng cách điện trong) dòng điện tần số công nghiệp sẽ qua điện cực bán cầu tản vào đất (H.4.3).



Hình 4.3: Xác định điện trở tản của điện cực hình bán cầu

Điện trở tản của lớp đất nằm giữa hai mặt đẳng thế có bán kính r và $r + dr$ bằng:

$$dR = \rho \frac{dr}{2\pi r^2} \text{ với } \rho \text{ là điện trở suất của đất}$$

Như vậy điện trở tản của điện cực hình bán cầu bán kính r_0 bằng:

$$R = \int_{r_0}^{\infty} dR = \frac{\rho}{2\pi r_0} \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{\rho}{2\pi r_0} \quad (4.2)$$

Phân bố thế trên mặt đất xung quanh điện cực nối đất hình bán cầu được xác định theo:

$$\varphi_r = I_d \int_r^{\infty} dR = \frac{I_d \rho}{2\pi r}$$

với I_d là dòng điện chạm đất qua điện cực.

người tiếp xúc với vỏ máy lúc xảy ra sự cố chịu tác dụng của một hiệu số điện thế giữa vỏ máy và bàn chân gọi là điện áp tiếp xúc:

$$U_{tx} = \varphi_{r_0} - \varphi_c$$

Người (hay thú) đi trong khu vực gần thiết bị trong thời gian sự cố chịu một hiệu số điện thế giữa hai bàn chân gọi là điện áp bước:

$$U_b = \varphi_{c1} - \varphi_{c2}$$

Điện thế vỏ máy bằng điện áp giáng trên điện cực tiếp đất:

$$U_m = I_d R$$

Để đảm bảo an toàn cho người vận hành, hệ thống nối đất phải được thiết kế sao cho điện áp tiếp xúc và điện áp bước trong mọi điều kiện không vượt quá trị số nguy hiểm cho người. Để thoả mãn yêu cầu này, phải có biện pháp giảm nhỏ điện trở tiếp đất R, phải có biện pháp cân bằng thế trong khu vực gần thiết bị được nối đất và tăng điện trở đối với dòng điện qua người vào đất bằng cách dùng đệm cách điện, ủng, găng tay cách điện. Trên mặt đất khu vực trạm thường được rải một lớp sỏi hoặc đa dăm dày khoảng 8÷15cm có tác dụng tăng cường điện trở đối với dòng điện chạy vào từ bàn chân qua cơ thể người, do đó, giảm khả năng bị điện giật. Tuy thuộc chủng loại, kích thước, tình trạng bề mặt sạch hay bẩn, độ ẩm của môi trường và thời tiết, điện trở suất của lớp sỏi, đá này thay đổi trong một phạm vi rộng, có thể từ một vài ngàn $\Omega.m$ đến hàng triệu $\Omega.m$.

Điện trở tản ở tần số công nghiệp (ổn định) của một số dạng điện cực thường dùng, được xác định theo các công thức ở bảng 4.1.

Bảng 4.1

Loại điện cực	Cách chôn	Công thức tính điện trở tản	Ghi chú
Cọc chôn nổi		$R_c = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$ (4.4)	Nếu dùng sắt góc có bề rộng b thì thay $d = 0,95b$
Cọc chôn chìm		$R_c = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right)$ (4.5) với $t = t_o + \frac{l}{2}$	Như trên
Thanh chôn chìm		$R_t = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt_o}$ (4.6)	Nếu dùng sắt dẹt có bề rộng b thì thay $d = \frac{b}{2}$

Thanh hình xuyên chôn chìm		$R_v = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{\pi D}{4t_o} \right)$ (4.7) với là đường kính hình xuyên	Như trên
-------------------------------	--	--	----------

Đối với điện cực thanh đặt nằm ngang bố trí theo những kiểu khác nhau (bảng 4.2) có thể dùng công thức tổng quát sau để tính điện trở tản ở tần số công nghiệp một cách gần đúng:

$$R_t = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{kL^2}{dt_o} \quad (4.8)$$

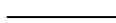
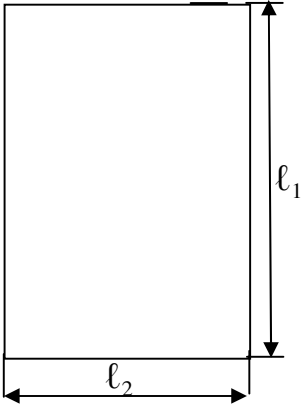





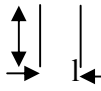
Với: L - tổng chiều dài của điện cực (nếu là mạch vòng thì lấy bằng chu vi)

d - đường kính của thanh dùng làm điện cực - nếu dùng sắt dẹt thì thay $d = b/2$ với b là bề rộng sắt dẹt

t_o - độ chôn sâu điện cực

k - hệ số phụ thuộc cách bố trí thanh ngang có tính đến hiệu ứng màn che, cho trong (bảng 4.2) được xác định bằng thực nghiệm.

Bảng 4.2: Hệ số hình dáng k dùng trong công thức (4.8)

Sơ đồ bố trí thanh	k	Sơ đồ bố trí thanh	ℓ_1/ℓ_2	k
	1		1	5,53
	1,27		1,5	5,81
	1,46		2	6,42
	2,38		3	8,17
	8,45		4	10,40
	19,2			
 D	$\frac{l^2}{4D^2}$			

Điện trở nối đất của tổ hợp nhiều điện cực

Để đảm bảo yêu cầu về trị số điện trở nối đất, thường phải dùng các hình thức nối đất tổ hợp, gồm một số lượng nhất định các thanh và cọc nối liền nhau theo nhiều cách khác nhau (tia, mạch kép kín).

Trong trường hợp này, dòng điện sự cố từ các điện cực tản vào đất không đồng đều theo mọi phương (H.44), dòng điện điện trường của dòng điện qua chúng có ảnh hưởng lẫn nhau – đó là hiệu ứng màn che kết quả là hiệu quả tản dòng điện của đất kém hơn so với trường hợp

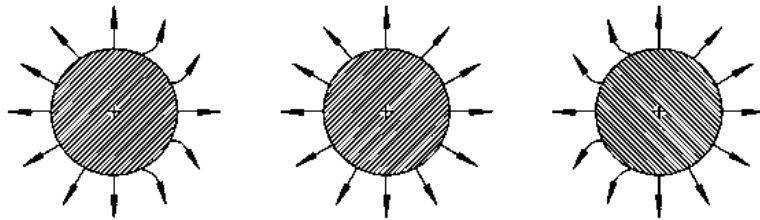
từng điện cực riêng lẻ, do đó điện trở tản của tổ hợp $R_{th\sim}$ các điện cực lớn hơn so với điện trở

$$R_{th\sim} > R_{1\sim} // R_{2\sim} // \dots = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{i\sim}}} = R_{td\sim}$$

$$\text{Hay } R_{th\sim} = \frac{1}{\eta_{\sim} \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{i\sim}}} = \frac{R_{td\sim}}{\eta_{\sim}} \quad (4.9)$$

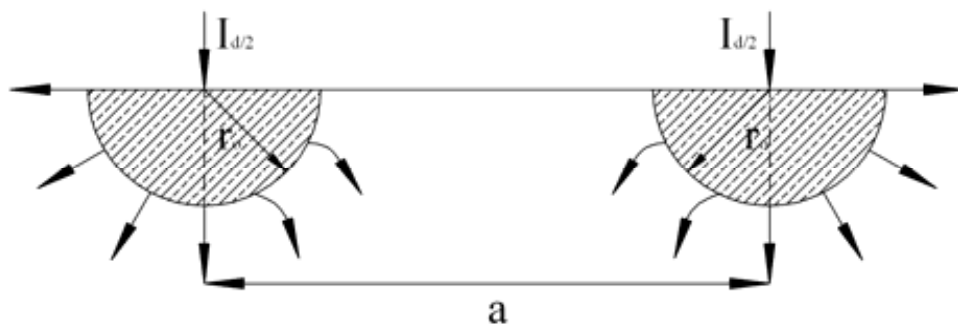
$$\eta_{\sim} = \frac{R_{td\sim}}{R_{th\sim}} \leq 1$$

η_{\sim} là hệ số sử dụng khi tản dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp.



Hình 4.4: Phân bố đường tản dòng điện của các điện cực nối song song với nhau

Để minh họa hiệu ứng màn che, xét ví dụ một tổ hợp đơn giản gồm hai điện cực bán cầu nối song song nhau (H.4.5).



Hình 4.5: Tổ hợp hai điện cực hình bán cầu

Trong trường hợp này dòng điện chạy qua mỗi điện cực bằng $I_d/2$. Điện áp giáng trên mỗi điện cực gồm hai thành phần:

- Do bản thân dòng điện chạy trong điện cực đó gây nên
- Do dòng điện chạy trong điện cực kia gây nên.

Từ đó điện trở tản của tổ hợp gồm hai thành phần xác định theo:

$$R_{th\sim} = \frac{U}{I_d} = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r_o} + \frac{1}{a} \right)$$

với: r_o - bán kính điện cực; a - khoảng cách giữa hai điện cực.

Nếu hai điện cực đặt rất xa nhau, tức an toàn rất lớn, điện trường của chúng không ảnh hưởng lẫn nhau thì:

$$R'_{th\sim} = R_{td\sim} = \frac{\rho}{4\pi r_o} = \frac{R}{2}$$

tức điện trở tản của tổ hợp bằng điện trở tản tương đương của các điện cực. Tỉ số giữa điện trở tản của tổ hợp khi không kể và khi có kể đến hiệu ứng màn che chính là hệ số sử dụng của tổ hợp nối đất.

Trong ví dụ này:

$$\eta_{\sim} = \frac{R'_{th\sim}}{R_{th\sim}} = \frac{\rho / 4\pi r_o}{\rho / 4\pi \left(\frac{1}{r_o} + \frac{1}{a} \right)} = \frac{1}{1 + \frac{r_o}{a}} < 1$$

Từ ví dụ đơn giản này có thể rút ra một qui luật chung là, hệ số sử dụng của tổ hợp điện cực sẽ giảm nếu tăng kích thước của điện cực và giảm khoảng cách giữa chúng.

Ngoài ra, hệ số sử dụng còn phụ thuộc vào loại điện cực (cọc, thanh...), số lượng và cách bố trí chúng. Đối với các tổ hợp phức tạp, hệ số sử dụng được xác định bằng mô hình và có thể tra cứu trong các bảng số hoặc các đường cong cho trong các tài liệu hướng dẫn thiết kế nối đất, các qui phạm về nối đất các trang thiết bị điện. Nếu tổ hợp điện cực nối đất gồm nhiều cọc nối liền nhau bởi các thanh (theo các kiểu hình tia hay mạch khép kín) thì điện trở tản của cả hệ thống $R_{ht\sim}$ được xác định như là điện trở của tổ hợp cọc $R_{c\Sigma}$ nối song song với điện trở của tổ hợp thanh R_t .

$$R_{ht} = \frac{\frac{R_c}{n\eta_c} \cdot \frac{R_t}{\eta_t}}{\frac{R_c}{n\eta_c} + \frac{R_t}{\eta_t}} = \frac{R_c \cdot R_t}{R_c \eta_t + R_t \cdot n \cdot \eta_c} \quad (4.10)$$

với: R_t – điện trở của tổ thanh tính theo công thức gần đúng (4.8) và bằng 4.2

R_c – điện trở tản của từng cọc riêng lẻ

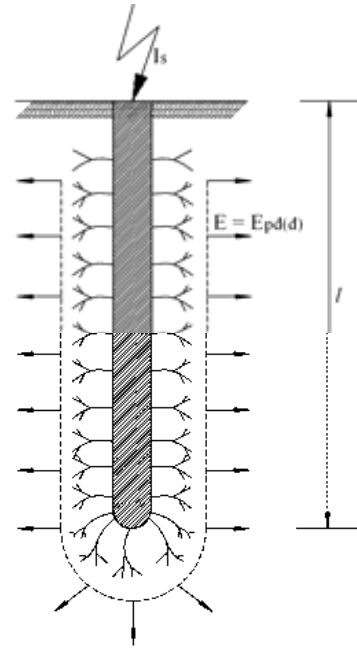
η_c, η_t - hệ số sử dụng của cọc, thanh trong tổ hợp; nối đất - số cọc.

Các hệ số sử dụng η_c, η_t phụ thuộc vào tỉ số bước cọc trên chiều dài cọc (a/l_c), vào số lượng cọc nối đất, vào cách bố trí thanh (tia, mạch khép kín) có thể tra cứu theo các tài liệu đã nêu trên.

4.3 ĐIỆN TRỞ TẢN CỦA NỐI ĐẤT CHỐNG SÉT

4.3.1 Điện trở tản xung của dạng nối đất tập trung

Đối với dạng nối đất tập trung, do chiều dài của điện cực không lớn, ảnh hưởng của điện cảm bản thân điện cực không đáng kể, có thể bỏ qua, trong khi hiện tượng phóng điện tia lửa trong đất tạo nên ở xung quanh điện cực một khu vực dẫn điện tốt. Trong tính toán gần đúng có thể coi tia lửa điện phát triển đồng đều, đất trong khu vực phóng điện tia lửa có độ dẫn điện tương đương với kim loại làm điện cực, có nghĩa là tương đương với sự tăng kích thước của điện cực (H.4.6), ngoài ra đất ở ngoài khu vực tia lửa điện cũng có điện dẫn tăng lên ít nhiều so với môi trường đất xung quanh.



Hình 4.6: phóng điện tia lửa trong đất ở cọc.

Khu vực phóng điện tia lửa xung quanh điện cực được giới hạn bởi bề mặt có cường độ trường bằng cường độ trường phóng điện trong đất ($E = E_{pd(d)}$). Như vậy, kích thước thật của điện cực có thể được thay thế bằng kích thước của khu vực phóng điện tia lửa ứng với khi dòng điện xung có trị số bằng biên độ chạy qua trong thời gian bằng thời gian đầu sóng τ_{ds} và tính toán điện trở tản xung của một loại điện cực nào thì dùng công thức tính điện trở tản ở tần số công nghiệp của nó, chỉ cần thay kích thước thật của điện cực bằng kích thước biểu kiến của nó (tức là kích thước của khu vực có phóng điện tia lửa).

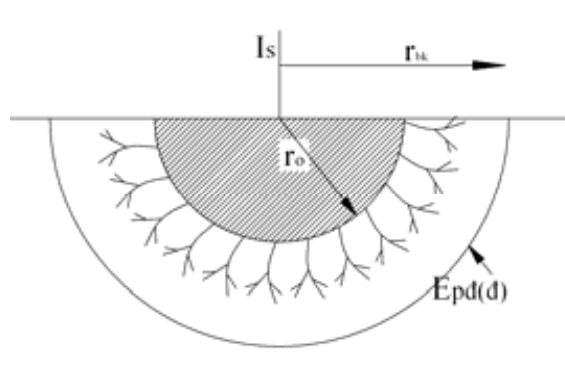
Nếu đất không đồng nhất thì trong tính toán với độ chính xác chấp nhận được thay ρ bằng ρ_{dt} (điện trở suất đẳng trị) xác định được trong chế độ ổn định. Sau đây là một ví dụ:

- 1- Điện cực hình bán cầu, bán kính r_0

Ở bề mặt giới hạn khu vực phóng điện tia lửa bán kính biểu kiến r_{bk} , cường độ điện trường bằng:

$$E = \frac{I_s}{2\pi r_{bk}^2} \rho_{dt} = E_{pd} \text{ (đ)}$$

với $E_{pd(d)}$ là cường độ trường phóng điện trong đất khi dòng bằng biên độ chạy qua trong thời gian $t = \tau_{ds}$



Hình 4.7 : Phóng điện tia lửa trong đất ở điện cực hình bán cầu

Từ đó, bán kính khu vực phóng điện tia lửa hay bán kính biểu kiến của điện cực bằng:

$$r_{bk} = \sqrt{\frac{I_s \rho_{dt}}{2\pi E_{pd(d)}}}$$

Điện trở tản xung của điện cực hình bán cầu bằng:

$$R_x = \frac{\rho_{dt}}{2\pi r_{bk}} = \sqrt{\frac{\rho_{dt} E_{pd(d)}}{I_s \rho_{dt}}}$$

$$\text{Và hệ số xung bằng: } \alpha_x = \frac{R_x}{R_{\sim}} = \frac{r_o}{r_{bk}} = r_o \sqrt{\frac{2\pi E_{pd(d)}}{I_s \rho_{dt}}}$$

Như vậy điện trở tản xung không phụ thuộc vào kích thước hình học của điện cực mà chỉ phụ thuộc vào các đặc tính của đất ($\rho_{dt}, E_{pd(d)}$) và biên độ dòng điện, gây nên phóng điện tia lửa trong đất.

2- Điện cực là cọc chôn thẳng có chiều dài l, đường kính d

Khu vực phóng điện tia lửa có dạng hình trụ với bán kính biểu kiến r_{bk} , cường độ trường ở bề mặt giới hạn bằng (H.4.6)

$$E = E_{pd(d)} = \frac{I_s}{2\pi r_{bk} l} \rho_{dt} \Rightarrow r_{bk} = \frac{I_s \rho_{dt}}{2\pi l E_{pd(d)}}$$

$$\text{từ đó: } R_x = \frac{\rho_{dt}}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2l}{r_{bk}} = \frac{\rho_{dt}}{2\pi l} \ln \frac{4\pi l^2 E_{pd(d)}}{I_s \rho_{dt}}$$

$$\text{và hệ số xung bằng: } \varepsilon_x = \frac{R_x}{R_{\sim}} = \frac{\ln \frac{4\pi l^2 E_{pd(d)}}{I_s \rho_{dt}}}{\ln 4l/d}$$

Cách tính điện trở tản xung của một điện cực thanh chôn ngang chiều dài không lớn và hệ số xung của nó cũng tiến hành tương tự

Từ biểu thức xác định α_x của nối đất tập trung, có thể rút ra vài nhận xét sau:

- Hệ số xung phụ thuộc vào tích $I_s \rho$, có nghĩa là biên độ của dòng sét I_s càng lớn, điện trở suất của đất cao thì α_x càng giảm và điện trở tản xung R_x càng bé
- Khi chiều dài của điện cực tăng thì α_x tăng (do ảnh hưởng của điện cảm của điện cực) nhưng trong mọi trường hợp $\alpha_x < 1$

Xác định điện trở tản xung của một tổ hợp nối đất tập trung

Để xác định điện trở tản xung của một tổ hợp nối đất tập trung (ví dụ nối đất của cột thu sét độc lập, của cột điện đường dây...) cần tiến hành theo các bước sau:

- Tính điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp của từng loại điện cực riêng lẻ ($R_{c\sim}$, $R_{t\sim}$)
- Xác định sự phân bố dòng sét trên từng loại điện cực, theo tỉ lệ nghịch của trị số điện trở tản xoay chiều của chúng.
- Xác định hệ số xung của từng loại điện cực phụ thuộc dòng sét qua chúng và điện trở suất của đất $\alpha_x = f(I, \rho)$ (bằng cách tra bảng hoặc các đường cong tương ứng cho trong tài liệu thiết kế chống sét, sổ tay kỹ thuật điện...) từ đó xác định được điện trở tản xung của từng loại điện cực riêng lẻ đó.

$$R_{xc} = \alpha_{xc} R_{c\sim}$$

$$\text{Và } R_{xt} = \alpha_{xt} R_{t\sim}$$

- Điện trở tản của cả tổ hợp nối đất các định theo:

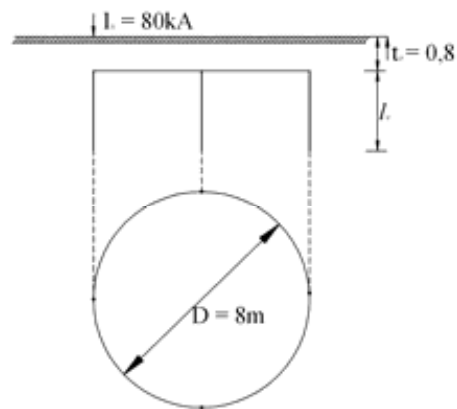
$$R_{x\Sigma} = \frac{\frac{R_{xc}}{n} \cdot R_{xt}}{\frac{R_{xc}}{n} + R_{xt}} \cdot \frac{1}{\eta_x} = \frac{R_{xc} \cdot R_{xt}}{R_{xc} + nR_{xt}} \cdot \frac{1}{\eta_x}$$

Trong đó: nối đất - số cọc; η_x - hệ số sử dụng xung của tổ hợp.

Hệ số sử dụng xung $\eta_x < \eta_{\sim}$ vì khu vực phóng điện tia lửa quanh điện cực làm tăng ảnh hưởng màn che của điện trường giữa chúng với nhau (kích thước biểu kiến của điện cực tăng làm khoảng cách giữa các điện cực giảm). Việc xác định hệ số sử dụng xung η_x cho các tổ hợp nối đất bằng phương pháp giải tích rất phức tạp, do đó thường được xác định thực nghiệm trên mô hình. Trị số η_x của các tổ hợp nối đất thường dùng, được cho trong các tài liệu thiết kế chống sét hoặc sổ tay kỹ thuật điện.

Tính toán ví dụ: xác định điện trở tản xung của một tổ hợp nối đất gồm một thanh hình vòng xuyên co Điện trở = 8m, và bốn cọc men theo thanh (H.4.8).

Dòng sét qua tổ hợp có biên độ $I_s = 80$ kA. Thanh bằng thép dẹt $40 \times 4 \text{mm}^2$, cọc bằng thép ống $d_c = 50 \text{mm}$, dài $l_c = 2 \text{m}$ chôn sâu $t_0 = 0,8 \text{m}$. Điện trở suất tính toán $\rho_t = 500 \Omega \text{m}$; $\rho_c = 200 \Omega \text{m}$; điện trở tản xoay chiều 50Hz của cực tính vòng xuyên tính theo:



Hình 4.8: Tổ hợp thanh hình vòng xuyên có bốn cọc ven chu vi

$$R_{v\sim} = \frac{\rho_t}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d_t} + \ln \frac{\pi D}{4t_0} \right) = 32 \Omega$$

$$\text{Và của một cọc: } R_{c\sim} = \frac{\rho_c}{2\pi d_c} \left(\ln \frac{2l_c}{d_c} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_c}{4t - l_c} \right) = 74 \Omega$$

Từ đó điện trở tương đương của cả bốn cọc: $R_{4c} = 74/4 = 18,5 \Omega$.

Dòng sét phssn bố trên các điện cực tỉ lệ nghịch với điện trở tản, hệ phương trình:

$$\begin{cases} \frac{I_v}{I_{4c}} = \frac{R_{4c}}{R_v} = \frac{18,5}{32} \\ I_v + I_{4c} = 80 \text{kA} \end{cases}$$

Tính được:

- Dòng điện chạy trong hình vuông xuyên $I_v = 30 \text{ kA}$
- Dòng điện chạy trong mỗi cọc $I_c = 50/4 = 13 \text{ kA}$

Tương ứng với $\rho_t = 500 \Omega m$ và $I_v = 30 \text{ kA}$ tra bảng được hệ số xung của hình vòng xuyên $\alpha_{xv} = 0,5 \Rightarrow R_{xv} = 32 \times 0,5 = 16 \Omega$

$\rho_t = 200 \Omega m$ và $I_v = 13 \text{ kA}$ tra bảng và nội suy được hệ số xung của cọc $\alpha_{xc} = 0,55 \Rightarrow R_{xc} = 74 \times 0,55 = 41 \Omega$.

Hệ số sử dụng xung của tổ hợp vòng có bốn cọc tra bảng được $\eta_x = 0,75$. Cuối cùng tính được điện trở tản xung của tổ hợp nối đất:

$$R_{x\Sigma} = \frac{41 \times 16}{41 + 16 \times 4} \frac{1}{0,75} \approx 8,3 \Omega$$

4.3.2 Điện trở tản xung của nối đất kéo dài bằng thanh ngang

1- Khi bỏ qua quá trình phóng điện trong đất

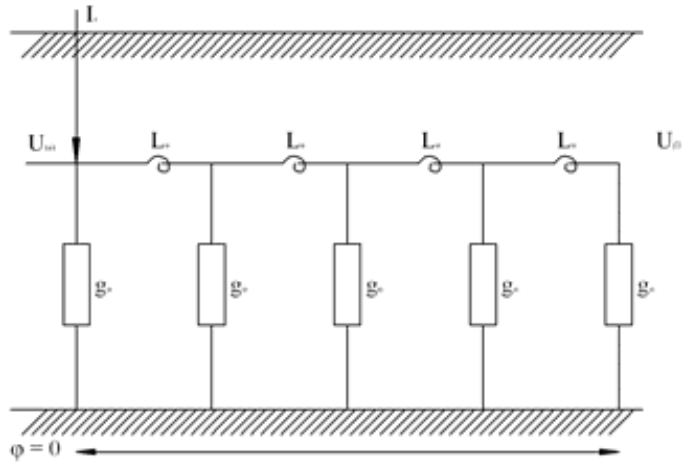
Trường hợp này có thể xảy ra khi dòng điện sét có biên độ không lớn truyền qua điện cực hoặc dòng sét rẽ theo nhiều nhánh của hệ thống nối đất.

Trong sơ đồ thay thế với các thông số rải (H4.9): $L_o = 0,2(\ln \frac{l}{r} - 0,31) \mu H / m$ là điện cảm theo đơn vị chiều dài của điện cực. L_o - không đổi và điện dẫn tản theo đơn vị chiều dài (ứng với một điện trở suất ρ của đất và biên độ dòng sét nhất định) cũng không đổi:

$$g_o = \frac{1}{R_{\sim}} l, \quad (1/\Omega m)$$

với: l - chiều dài điện cực, m; r - bán kính thanh, m

R_{\sim} điện trở tản ổn định, Ω .



Hình 4.9: Sơ đồ thay thế của điện cực thanh dài khi bỏ qua phóng điện trong đất

Phương trình truyền sóng qua điện cực có dạng:

$$\text{Và } \left. \begin{aligned} -\frac{\partial u}{\partial x} &= L_o \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial t} &= g_o u \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

Với dòng điện sét có độ dốc đầu sóng không đổi $i_s(0,t) = at$, nghiệm của phương trình vi phân cho biến thiên của điện áp theo thời gian t tại một điểm x bất kỳ dọc theo chiều dài điện cực bằng:

$$u(x,t) = \frac{a}{g_o l} \left[t + 2T_1 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} (1 - e^{-t/T_k}) \cos\left(\frac{k\pi x}{l}\right) \right] \quad (4.7)$$

Với $T_1 = \frac{L_o g_o l^2}{\pi^2}$; $T_k = \frac{L_o g_o l^2}{\pi^2 k^2} = \frac{T_1}{k^2}$ hằng số thời gian của quá trình truyền sóng điều hoà bậc một và bậc k .

Từ đó, điện áp đầu vào ($x=0$), nơi dòng sét đi vào hệ thống nối đất:

$$u(0,t) = \frac{a}{g_o l} \left[t + 2T_1 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} (1 - e^{-t/T_k}) \right] \quad (4.8)$$

Như vậy, tổng trở tản xung đầu vào tại một điểm t bất kỳ sẽ là:

$$Z(0,t) = \frac{u(0,t)}{i(0,t)} = \frac{1}{g_o l} \left[1 + \frac{2T_1}{t} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} (1 - e^{-t/T_k}) \right] \quad (4.9)$$

Một cách gần đúng khi dòng sét đạt trị số cực đại ($t = \tau_{ds}$) thì tổng trở xung đầu vào có trị số lớn nhất.

$$Z(0, \tau_{ds}) = \frac{1}{g_o l} \left[1 + \frac{2T_1}{\tau_{ds}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} (1 - e^{-\tau_{ds}/T_k}) \right] \quad (4.10)$$

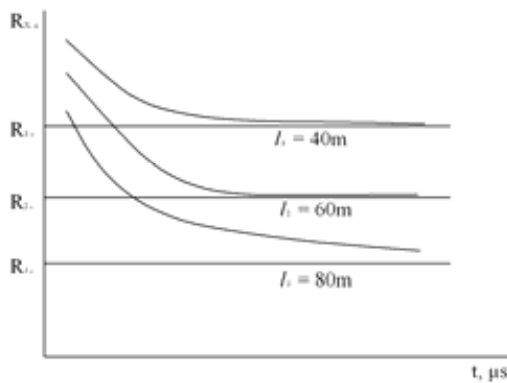
Trong công thức trên chỉ cần khai triển chuỗi \sum , đến số hạng thứ i tương ứng $\frac{\tau_{ds}}{T_i} = 3$, vì

với $\frac{\tau_{ds}}{T_i} > 3$ thì $\frac{e^{-\tau_{ds}}}{T_i} < 0,05 \Rightarrow 1 - \frac{e^{-\tau_{ds}}}{T_i} \approx 1$, ngoài ra đã biết: $\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6}$

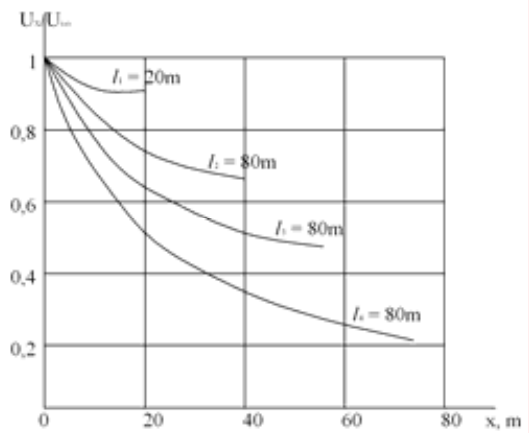
$$\frac{\tau_{ds}}{3} \geq T_i = \frac{L_o g_o l^2}{i^2 \pi^2} \Rightarrow i \geq \frac{l}{\pi} \sqrt{\frac{3L_o g_o}{\tau_{ds}}}$$

Và hệ số xung của nối đất kéo dài:

$$\alpha_x = \frac{Z(0, \tau_{ds})}{R_{\sim}} = 1 + \frac{2T_1}{\tau_{ds}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} (1 - e^{-\tau_{ds}/T_k}) \quad (4.11)$$



Hình 4.10: Quan hệ $R_x = f(t, l)$



Hình 4.11: Phân bố điện áp dọc theo chiều dài điện cực

Từ các biểu thức trên (4.8 ÷ 4.10) có thể nhận thấy tổng trở tản xung gồm hai thành phần:

- Thành phần ổn định có trị số bằng điện trở tản xoay chiều:

$$R_{\sim} = \frac{1}{g_o l}$$

- Thành phần cảm kháng quá độ giảm theo thời gian. Điện cực càng, hằng số thời gian của quá trình quá độ ($T \equiv g_o L_o l^2$) càng bé thì quá trình quá độ càng chóng kết thúc, do đó tổng trở càng tiến nhanh đến trị số ổn định R_∞ , phân bố điện áp theo chiều dài điện cực càng đồng nhất hơn (H.4.10).

Điện cực càng dài thì càng cách xa đầu vào điện áp càng giảm nhanh, tức là hiệu quả tản dòng sét càng kém. Hình 4.11 trình bày sự phân bố điện áp dọc theo chiều dài cực tại thời điểm $t = \tau_{ds}$.

Trường hợp $\tau_{ds} / T_1 > 3$ thì tổng trở tản xung khi dòng điện qua trị số cực đại sẽ bằng:

$$Z(0, \tau_{ds}) = \frac{1}{g_o l} \left[t + \frac{2T_1}{\tau_{ds}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \right] = R_\infty \left[1 + \frac{T_1 \pi^2}{3\tau_{ds}} \right]$$

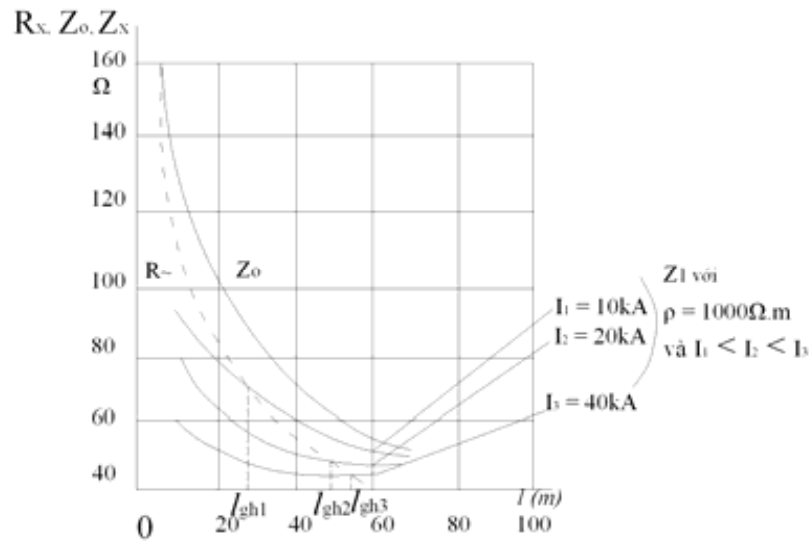
$$Z(0, \tau_{ds}) = R_\infty + \frac{L_o l}{3\tau_{ds}}$$

2. Khi có quá trình phóng điện trong đất

Do ảnh hưởng của điện cảm nên mật độ dòng điện và cường độ điện trường giảm dần dọc theo chiều dài điện cực, làm cho khu vực phóng điện tia lửa hẹp dần. Vì vậy, điện dẫn tản xung theo đơn vị chiều dài của nối đất kéo dài không còn là hằng số nữa mà phụ thuộc vào phân bố áp dọc theo chiều dài điện cực, có nghĩa là $g_x = f(u)$. Hệ phương trình (vi phân) truyền sóng trở nên không đường thẳng, chỉ có thể giải bằng phương pháp gần đúng hoặc phương pháp số. Ở đây sẽ không đi vào quá trình tính toán mà chỉ nêu ra một vài qui luật biến thiên của tổng trở xung của nối đất kéo dài khi có hiện tượng phóng điện trong đất.

Hình 4.12 trình bày các đường cong $R_\infty = 1/g_o l$; $Z_o = f(l)$ khi bỏ qua phóng điện trong đất và $Z_x = f(l)$ khi có phóng điện trong đất tương ứng các dòng sét có biên độ khác nhau ($I_1 < I_2 < I_3$) và đất có điện trở suất ρ nhất định.

So sánh các đường cong có thể thấy rằng ở một điện trở suất ρ nhất định của đất, khi dòng sét tăng, phóng điện trong đất mãnh liệt hơn sẽ làm giảm tổng trở tản xung Z_x đáng kể.



Hình 4.12: Sự phụ thuộc của R_x , Z_o và Z_x vào chiều dài điện cực và dòng điện sét

Khi chiều dài điện cực không lớn lắm thì có thể $Z_x < R_x$ và $\alpha_x \leq 1$, khi chiều dài điện cực tăng thì có thể $Z_x > R_x$ và $\alpha_x > 1$

Từ đó có thể rút ra kết luận là: Ứng với một trị số ρ và T nhất định có một trị số giới hạn của chiều dài điện cực mà vượt quá giới hạn đó, tổng trở tản xung không giảm khi tăng chiều dài điện cực nữa, hiệu quả tản dòng sét kém và như thế không hợp lý về kinh tế và kỹ thuật.

Ví dụ: bảng dưới đây cho giới hạn về chiều dài của điện cực theo điện trở suất của đất, tính toán với dòng sét có biên độ $I = 40 \text{ kA}$ và $\tau_{ds} = 3 \div 6 \mu s$

$\rho(\Omega m)$	500	1000	2000	4000
$l_{gh} \text{ (m)}$	30÷40	45÷55	60÷80	80÷100

4.4 ẢNH HƯỞNG CỦA CHẤT ĐẤT VÀ THỜI TIẾT ĐẾN ĐIỆN TRỞ NỔI ĐẤT

Để tính toán thiết kế hệ thống nối đất, cần thiết phải biết điện trở suất của đất. Mà điện trở của đất phụ thuộc vào thành phần cấu tạo của nó, vào khả năng giữ ẩm của đất cũng như ảnh hưởng của điều kiện môi trường xung quang và thời tiết.

Đất có kết cấu hạt, gốc vô cơ hoặc hữu cơ. Ở trạng thái khô, điện dẫn của chúng không lớn. Nhưng khi bị thấm ướt, các muối khoáng vốn có trong đất sẽ hoà tan thành dung dịch điện

phân, làm cho điện dẫn của đất tăng lên. Điện dẫn của đất do đó phụ thuộc vào mùa, vào lượng mưa, vào độ sâu, vào các vùng nước chung quanh, vào mạch nước ngầm. Khả năng giữ ẩm của đất phụ thuộc vào mùa, vào lượng mưa, vào độ sâu, vào các vùng nước chung quanh, vào mạch nước ngầm. Khả năng giữ ẩm của đất phụ thuộc vào kích thước của hạt đất, hạt càng bé thì khả năng giữ ẩm càng cao.

Các loại đất thường gặp là đất cát, đất sét, đất mùn.

Đất cát cấu tạo bởi các hạt thạch anh, đường kính từ $0,2 \div 2\text{mm}$, có rất ít các chất điện phân và khả năng giữ ẩm kém; khi cát bị ẩm khe trống giữa các hạt cát sẽ chứa đầy nước, điện dẫn của cát tăng nhanh và có thể tăng bằng điện dẫn của nước.

Đất sét cũng có gốc vô cơ, gồm những hạt rất mịn đường kính khoảng vài phần ngàn mm và ở trạng thái quán. Trong đất sét có nhiều thành phần muối khoáng, đất sét có khả năng giữ ẩm cao, nên điện dẫn của nó lớn hơn nhiều so với đất cát.

Đất mùn có gốc hữu cơ, cũng ở thể nhão nhưng bờ, khả năng giữ ẩm lớn và cũng chứa nhiều dung dịch điện phân. Khi đất sét, đất mùn bị ẩm, do sự hình thành các dung dịch điện phân, điện dẫn của đất tăng cao có thể vượt cả trị số điện dẫn của nước.

Trong năm, do điều kiện thời tiết khí tượng thay đổi làm cho nhiệt độ của đất, hàm lượng của ẩm trong đất và độ bão hoà của chúng ở các tầng đất khác nhau cũng thay đổi. Do đó, điện trở suất của đất biến đổi trong một phạm vi rộng, trị số trong mùa mưa và mùa khô có thể khác nhau rất xa. Trị số điện trở suất tin cậy nhất dùng trong tính toán thiết kế hệ thống nối đất có được bằng cách đo đạc tại chỗ, tại nhiều điểm, thực hiện nhiều lần và lấy giá trị trung bình thống kê.

Trị số đo được (ρ_o) phải nhân với một hệ số an toàn, gọi là hệ số mùa (k_m) để chú ý đến khả năng tăng điện trở suất do sự thay đổi trạng thái của đất khi thời tiết trong năm thay đổi bất lợi:

$$\rho_{tt} = \rho_{do} \cdot k_m \quad (4.12)$$

Với - ρ_{tt} điện trở suất tính toán của đất, $\Omega.m$

ρ_{do} - điện trở của đất đo được, $\Omega.m$

k_m - hệ số mùa phụ thuộc vào loại đất, loại điện cực, độ chỗ sâu.

Trị số k_m cho trong bảng 4.3.

Trong tính toán lấy trị số k_m bé (theo giới hạn dưới) nếu khi đo đất khô ráo và lấy k_m lớn (theo giới hạn trên) nếu khi đo đất ẩm ướt.

Bảng 4.3

Loại nối đất	Loại điện cực	Độ chôn sâu (m)	Hệ số mùa k_m	
			Đất khô	Đất ẩm
Nối đất an toàn và nối đất làm việc	Thanh ngang	0,5	4,5	6,5
		0,8	1,6	3
	Cọc thẳng đứng	0,8	1,4	2
Nối đất chống sét	Thanh ngang	0,5	1,4	1,8
		0,8	1,25	1,45
	Cọc thẳng đứng	0,8	1,15	1,3

Nối đất an toàn và nối đất làm việc phải phát huy tác dụng vào bất cứ lúc nào trong năm. Về mùa khô điện trở suất của đất tăng cao, đó phải chọn hệ số mùa có trị số lớn. Còn nối đất chống sét chỉ phát huy tác dụng vào mùa hè, tức là mùa mưa đông, đất ẩm ướt nên chỉ cần hệ số dự trữ thấp hơn tức hệ số mùa bé hơn.

Hệ số mùa còn phụ thuộc vào độ chôn sâu điện cực. Điện cực được chôn càng sâu thì ảnh hưởng do sự thay đổi thời tiết càng hạn chế. Khi thiếu những số liệu đo lường (ρ_{do}) thì trong tính toán sơ bộ có thể dùng những trị số điện trở suất của đất cho trong bảng 4.4.

Bảng 4.4

Loại đất	$\rho(\Omega m)$	Loại đất	$\rho(\Omega m)$
Cát	≥ 400	Đất đen.	50
Đất cát	300	Than bùn	20
Đất thịt	100	Nước sông	10÷50

Đất sét	60	Nước biển	1
---------	----	-----------	---

4.5 CÁC YẾU CẦU VỀ KINH TẾ KỸ THUẬT KHI THIẾT KẾ HỆ THỐNG NỐI ĐẤT CHO TRẠM VÀ ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

Hệ thống nối đất có trị số điện trở tản càng bé càng thực hiện tốt nhiệm vụ tản dòng điện sự cố trong đất và giữ được mức điện thế thấp trên các phần tử được nối đất.

Tuy nhiên, việc giảm thấp điện trở tản gắn liền với sự tiêu hao nhiều kim loại và công sức (đào bới, đóng cọc, hàn cực, lấp, nện đất...), do đó việc định giới hạn cho trị số điện trở tản và việc lựa chọn các phương án nối đất phải hợp lý về kinh tế và kỹ thuật.

1- Đối với nối đất làm việc, trị số điện trở nối đất cho phép quyết định bởi yêu cầu của tình trạng làm việc của từng thiết bị cụ thể, ở đây không xét tới. Trị số điện trở cho phép của loại nối đất an toàn phải được chọn sao cho các trị số điện áp bước và điện áp tiếp xúc trong mọi trường hợp không vượt quá giới hạn cho phép, gây nguy hiểm cho người vận hành.

2- Trong các nhà máy điện và trạm biến áp, nối đất làm việc và nối đất an toàn ở các cấp điện áp khác nhau thường được nối thành một hệ thống chung. Việc tách rời các loại nối đất và theo từng cấp điện áp có ưu điểm là dòng điện chạm đất đi trong bộ phận này không làm tăng điện áp ở bộ phận nối đất khác, nhưng việc cách ly các hệ thống nối đất này gặp nhiều khó khăn về kỹ thuật – kinh tế và nhiều khi không thực hiện được.

Khi nối thành hệ thống chung, phải thiết kế theo trị số điện trở tản cho phép bé nhất trong hai loại để đảm bảo an toàn và sự làm việc bình thường trong bất cứ trường hợp nào.

Hệ thống nối đất này của nhà máy và trạm biến áp thường tạo thành một mạch khép kín men theo chu vi của công trình, gồm một mạch vòng thanh và có thể có một số cọc rải đều được hàn điện vào mạch vòng thanh. Trong diện tích khu vực trạm còn có một lưới thanh ngang dọc song song nhau, với ô lưới từ 5 – 20m, có nhiệm vụ cân bằng thế, để đảm bảo điện áp tiếp xúc và điện áp bước bé. Tất cả vỏ kim loại của các thiết bị, các kết cấu kim loại, các điểm trung tính của máy biến áp công suất và đo lường phải nối vào lưới nối đất theo đường ngắn nhất và vào giao điểm của các thanh (để dòng điện sự cố tản theo nhiều đường vào đất)

3- Khi cho phép đặt các kim thu sét trên các kết cấu công trình của trạm thì nối đất của chúng được nối chung vào hệ thống nối đất an toàn của trạm. Như vậy thì tán dòng sét, hệ thống nối đất này có tính chất của một nối đất phân bố, tổng trở tán xung có thể lớn gấp nhiều lần điện trở tán ổn định. Điện áp giáng trên hệ thống nối đất tăng cao có thể vượt mức cách điện xung của trạm, làm tăng xác suất phóng điện ngược trên cách điện của trạm. Vì vậy, việc lợi dụng kết cấu công trình để đặt hệ thống thu sét, nối chung chỉ có thể thực hiện tương đối dễ dàng đối với các trạm thuộc các cấp $U_{dm} \geq 110kV$, vì chúng có mức cách điện xung khá cao và trị số điện trở tán ổn định bé ($R_{\infty} = R_{\sim} \leq 0,5\Omega$). Còn đối với trạm 35kV thì biện pháp này chỉ được thực hiện với những điều kiện đã qui định (chương 3), (không đặt kim thu sét trên xà MBA. Điện trở nối đất của dây chống sét hay của cột thu sét nối liền với nối đất an toàn của trạm không được vượt quá 4Ω trong phạm vi bán kính 20m đối với đất có điện trở suất $\rho < 500\Omega m$ và trong phạm vi 30m đối với đất có điện trở suất $\rho \geq 500 \Omega m$). Ngoài ra trong mọi trường hợp để tán dòng sét thuận lợi phải thực hiện nối đất bổ sung (bằng một số cọc hoặc thanh ngắn hoặc tổ hợp cọc thanh) tại chỗ cột thu sét hoặc dây chống sét nối vào hệ thống nối đất của trạm, đồng thời phải đảm bảo khoảng cách theo thanh dẫn từ chỗ nối đất của MBA đến chỗ nối đất cột thu sét và dây chống sét từ 15m trở lên. Nếu đã thực hiện các biện pháp trên mà tổng trở tán xung của hệ thống nối đất chung vẫn lớn, khiến điện áp giáng trên nó vượt quá mức cách điện xung của trạm gây nên phóng điện ngược với xác suất lớn, thì phải đặt cột thu sét cách ly và tách riêng nối đất chống sét. Khi đó phải bảo đảm khoảng cách trong không khí và trong đất đến thiết bị của trạm đủ lớn để không thể xảy ra phóng điện giữa chúng với nhau như đã nêu trong chương 3 (chống sét đánh trực tiếp).

4- Để giảm tổn kém, khi thiết kế hệ thống nối đất của trạm và đường dây cần chú ý tận dụng các hình thức nối đất có sẵn (hay còn gọi là nối đất tự nhiên) như các đường ống kim loại chôn trong đất như ống dẫn nước (trừ các ống dẫn chất lỏng dễ cháy, dễ nổ như xăng dầu, khí đốt, các ống có sơn lớp chống rỉ) vỏ chì của cáp đặt trong đất, các kết cấu kim loại của bê tông cốt thép, của móng nhà, móng cột ... điện trở nối đất của hệ “dây chống sét - cột điện” của các đường dây tải điện cao áp nối vào trạm. Nếu điện trở tán của nối đất tự nhiên đã thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật thì có thể không đặt thêm nối đất nhân tạo đối với hệ thống có dòng điện chạm đất bé hoặc chỉ cần đặt thêm hệ thống nối đất nhân tạo với yêu cầu đã giảm nhẹ ($R \leq 1\Omega$) đối với hệ thống có dòng điện chạm đất lớn.

Trị số điện trở nối đất tự nhiên nên xác định bằng đo đạc tại chỗ. Trong tính toán sơ bộ, có thể dùng các công thức gần đúng (sẽ trình bày trong hướng dẫn thiết kế chống sét).

5- Nối đất dây chống sét của đường dây tải điện cao áp

Nối đất cột điện thực chất là nối đất chống sét, là một biện pháp tăng cường tính vận hành đảm bảo của đường dây tải điện khi có quá điện áp khí quyển. Để hợp lý về kỹ thuật và kinh tế, Qui phạm về thiết kế đường dây tải điện cao áp qui định tiêu chuẩn nối đất cột điện theo điện trở suất của đất như bảng 4.5.

Bảng 4.5: Tiêu chuẩn nối đất cột điện

Điện trở suất của đất ($\Omega.m$)	Điện trở nối đất cột điện (Ω)
$\rho \leq 100$	$R \leq 10$
$100 < \rho \leq 500$	$R \leq 15$
$500 \leq \rho \leq 1000$	$R \leq 20$
$\rho > 100$	$R \leq 30$

Vì không thể đo trực tiếp điện trở tản xung, nên chỉ qui định trị số điện trở tản tần số công nghiệp. Căn cứ dạng nối đất và trị số dòng sét sẽ xác định được hệ số xung và suy ra điện trở tản xung.

Khi đường dây đi qua cùng đất ẩm có $\rho \leq 300\Omega.m$, nên tận dụng kết cấu kim loại trong móng và chân cột bê tông cốt thép làm nối đất tự nhiên để bổ sung hoặc thay thế cho nối đất nhân tạo.

4.6 PHƯƠNG PHÁP DIỆN TÍCH ĐỂ TÍNH ĐIỆN TRỞ TẢN CỦA LƯỚI NỐI ĐẤT

Việc tính toán hệ thống nối đất an toàn của trạm phân phối điện và nhà máy điện từ tổ hợp những điện cực riêng rẽ (phương pháp phân tử) có chú ý đến hiệu ứng màn che như trên, tương đối phức tạp và khối lượng tính toán tương đối lớn.

Một phương pháp đơn giản hơn phương pháp diện tích, để tính toán hệ thống nối đất an toàn phức tạp được tiến hành theo một công thức thực nghiệm (kết quả của nghiên cứu mô hình vật lý hệ thống nối đất trong bể điện phân) như sau:

$$R = \rho_{dt} \left(\frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + nl} \right) \quad (4.13)$$

Trong đó: R - điện trở tản ở tần số công nghiệp của hệ thống nối đất, Ω

L- tổng chiều dài của toàn bộ cực thanh ngang, m

l- chiều dài của cọc, m; n- số lượng cọc

\sqrt{S} - cạnh một hình vuông tương đương của diện tích khu vực trạm, giới hạn bởi mạch vòng nối đất ven chu vi khu vực trạm, m

A- hệ số tỉ lệ, phụ thuộc tỉ số $\frac{l}{\sqrt{S}}$ theo bảng 4.6

Bảng 4.6

$\frac{l}{\sqrt{S}}$	0	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
A	0,44	0,43	0,4	0,37	0,33	0,26

ρ_{dt} - điện trở suất tương đương của đất không đồng nhất đã được qui về mô hình đất hai lớp đẳng trị, $\Omega.m$.

Khi số ô lưới lớn ($L \gg 4\sqrt{S}$) hoặc số cọc lớn, thì R tiến đến giới hạn bằng $\rho_{dt} A / \sqrt{S}$ tương ứng với điện trở một tấm kim loại khối chữ nhật S.l.

Khi tản dòng sét, hệ thống nối đất này là một nối đất phân bố phức tạp, bao gồm một lưới các thanh ngang dọc song song nhau, tổng trở tản xung của nó phụ thuộc vào độ dài đầu sóng dòng sét (ảnh hưởng của điện cảm) và biên độ dòng sét (hiệu ứng phóng điện tia lửa). Đặc trưng cho tổng trở tản xung của nối đất kéo dài của trạm là sự phụ thuộc của tổng trở tản

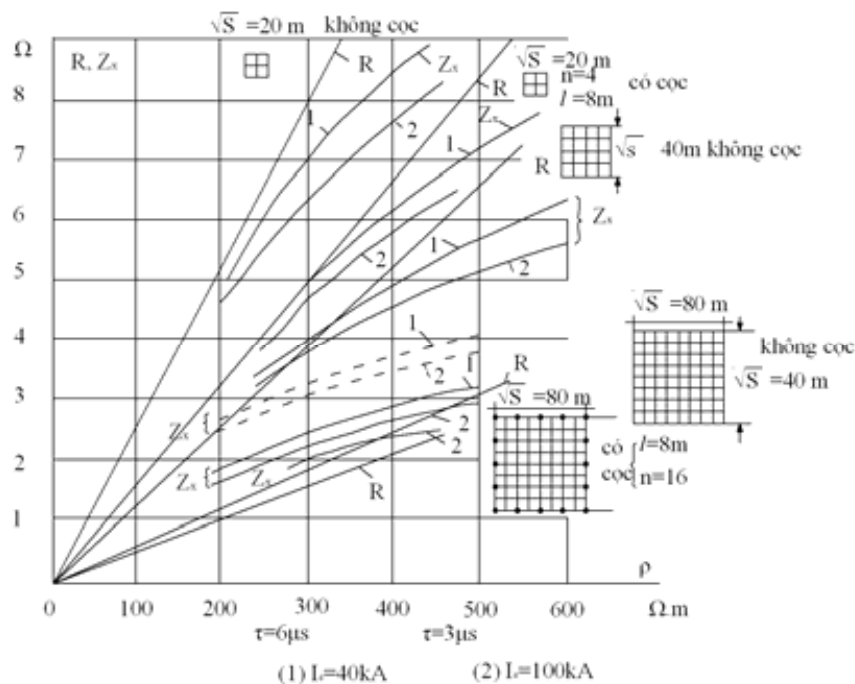
xung vào chỗ dòng sét đi vào hệ thống nối đất, tức là phụ thuộc sự bố trí hệ thống thu sét trong trạm.

Khi sét đánh vào kim thu sét trong diện tích trạm dòng sét đi vào chính giữa của hệ thống nối đất thì tổng trở tản xung bé hơn khi đi vào mạch vòng chu vi trạm, do điện cảm giảm vì có nhiều thanh song song và chiều dài các thanh ngắn. Việc xác định tổng trở tản xung của hệ thống nối đất của trạm có tính đến ảnh hưởng của điện cảm của chúng và ảnh hưởng của hiện tượng phóng điện tia lửa trong đất là một vấn đề cực kì phức tạp, hiện nay chưa có một phương pháp giải tích nào hoàn chỉnh và được công nhận rộng rãi.

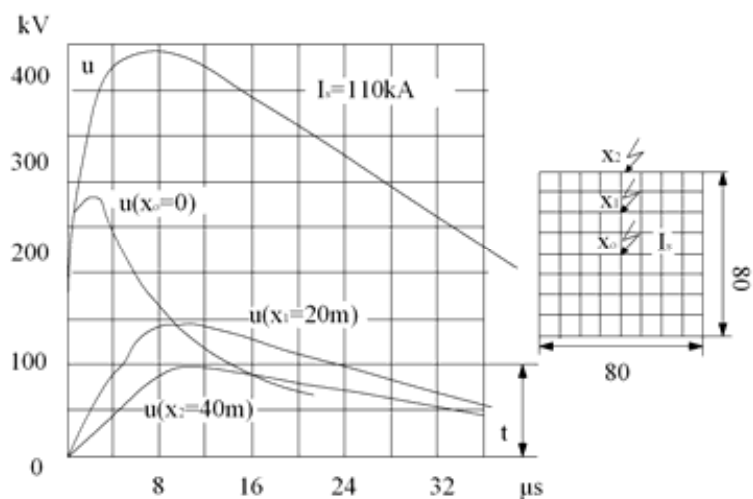
Phương pháp phổ biến là xác định bằng mô hình vật lý, trên cơ sở phải thoả điều kiện là mật độ dòng và cường độ điện trường trong mô hình phải bằng trong hệ thống nối đất thật để mô phỏng đúng dẫn hiệu ứng phóng điện tia lửa trong đất.

Một số kết quả đo đạc bằng mô hình cho trong hình 4.14, trên cho thấy rõ ảnh hưởng của thông số dòng sét, điện trở suất của đất và kích thước hình học của hệ thống nối đất đến điện trở tản xung của nó. Khi diện tích trạm bé và điện trở suất của đất cao thì hiện tượng phóng điện tia lửa đóng vai trò chi phối và $Z_x < R$, còn khi kích thước trạm lớn thì ảnh hưởng của điện cảm tăng và $Z_x > R$. Khi dòng sét đi vào hệ thống nối đất ở ven chu vi trạm thì vai trò của điện cảm chi phối.

Để giảm điện thế trên vỏ thiết bị, do đó giảm điện áp tác dụng lên cách điện của thiết bị, thì điểm nối đất thiết bị (vào lưới nối đất trạm) phải cách xa điểm nối đất của cột thu sét và dây chống sét (vào lưới nối đất trạm). Điều này có thể thực hiện, ví dụ, bằng cách nối đất chúng vào những thanh ngang khác nhau của hệ thống nối đất. Kết quả nghiên cứu cho thấy điện thế giảm nhiều nhất ở 15÷20m đầu tiên cách điểm đầu vào của dòng sét và giảm càng nhanh khi kích thước của lưới nối đất càng lớn và điện trở suất của đất càng bé, có nghĩa là khi thời gian của quá trình quá độ trong lưới nối đất càng lớn.



Hình 4.14: điện trở tản ổn định và tổng trở tản xung của lưới đất ($I_s = 40 \div 100 \text{kA}$) có cọc và không cọc phụ thuộc điện trở suất của đất



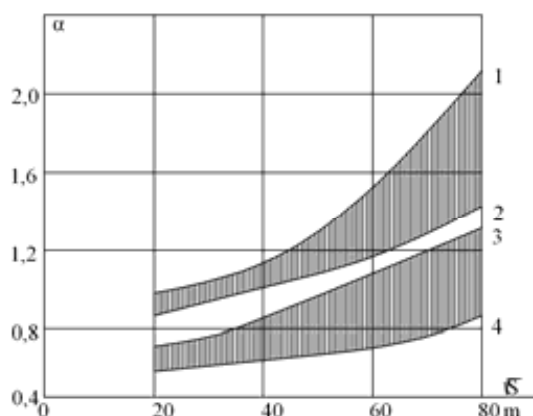
Hình 4.15: Dạng sóng điện áp ở các điểm khác nhau của hệ thống nối đất

Hình 4.15 cho thấy, càng cách xa vị trí đầu vào của dòng sét trong hệ thống nối đất thì thời gian đầu sóng của điện áp tăng còn trị số cực đại của điện áp giảm.

Hệ số xung α của hệ thống nối đất kiểu mạng lưới phụ thuộc điện trở suất của đất ($\rho = 100 \div 600 \Omega m$) vào biên độ dòng sét ($I_s = 10 \div 100 kA$) và vào kích thước của khu vực trạm ($\sqrt{S} = 20 \div 80 m$) có giá trị phỏng chừng cho ở hình 4.16 hoặc phỏng theo (4.14):

$$\alpha = \sqrt{\frac{1500\sqrt{S}}{(\rho + 320)(I_s + 45)}} \quad (4.14)$$

Tương tự như hệ số xung cực thanh dài $l > 10 m$ trong đó S diện tích (m^2); ρ điện trở suất của đất (Ωm) và I_s biên độ dòng sét (kA).



	1	2	3	4
I_s, kA	10	100	10	100
$\rho, \Omega m$	100	100	600	600

Hình 4.16: Hệ số xung α của mạng lưới nối đất thuộc dòng sét, điện trở suất của đất và kích thước dòng sét, điện trở suất của đất và kích thước khu vực trạm

Đối với trạm thuộc lưới có trung tính trực tiếp nối đất, yêu cầu điện trở nối đất an toàn $R \leq 0,5 \Omega$, trong nhiều trường hợp khó có thể thỏa mãn được. Đặc biệt, khi đất trong khu vực trạm có điện trở suất cao, kích thước của trạm bé và không lợi dụng được nối đất sẵn có. Mặt khác, thực tế vận hành nhiều năm cho thấy trong nhiều trường hợp điện áp an toàn đối với người trong các trạm này có thể đạt được với điện trở cao hơn $0,5 \Omega$.

Vì vậy, ở nhiều nước điều kiện này đã được thay thế bằng qui định về điện áp giáng lớn nhất cho phép trên hệ thống nối đất và điện áp tiếp xúc cho phép thay đổi theo thời gian duy trì của dòng ngắn mạch chạm đất. Thời gian này bằng tổng của thời gian tác động của rơle bảo vệ và thời gian cắt của máy cắt theo bảng sau.

Thời gian duy trì dòng ngắn mạch (s)	Dưới 0,1	0,2	0,5	0,7	1	3 và cao hơn
Điện áp tiếp xúc lớn nhất cho phép (V)	500	400	400	130	100	65

Điện áp giáng trên hệ thống nối đất lớn nhất cho phép không vượt quá 10kV

Chương 5

BẢO VỆ CHỐNG SÉT CHO ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

5.1 ĐƯỜNG LỐI TỔNG QUÁT ĐỂ TÍNH TOÁN CHỈ TIÊU CHỐNG SÉT CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

Đường dây tải điện trên không là phần tử có chiều dài lớn nhất trong hệ thống điện nên thường bị sét đánh và chịu tác dụng của quá điện áp khí quyển. Sóng quá điện áp không chỉ gây nên phóng điện trên cách điện đường dây, đưa đến cắt điện mà còn có thể truyền theo đường dây vào trạm gây nguy hiểm cho cách điện của các thiết bị trong trạm, đặc biệt khi sét đánh trực tiếp vào dây dẫn hoặc vào cột gây phóng điện ngược ở các đoạn đường dây gần trạm.

Quá điện áp khí quyển xuất hiện trên đường dây theo hai khả năng: hoặc do sét đánh vào đường dây, hoặc do sét đánh gần đường dây gây nên qua điện áp cảm ứng. Dễ hiểu là trường hợp đầu nguy hiểm nhất, vì đường dây chịu toàn bộ năng lượng của phóng điện sét và việc bảo vệ chống sét cho đường dây chính là nhằm hạn chế quá điện áp trong trường hợp này.

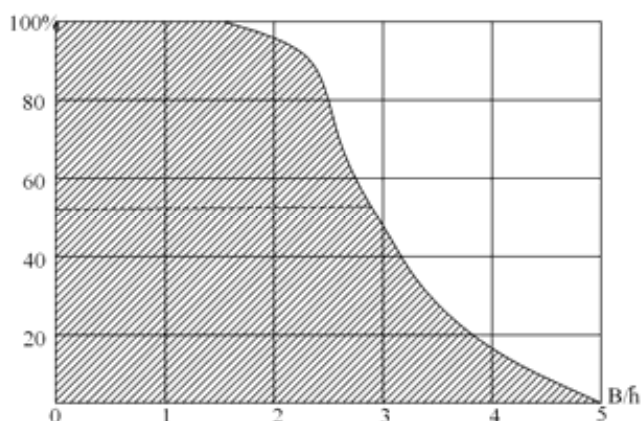
Như đã trình bày trong chương 1, sét với tham số cao (biên độ, độ dốc) xuất hiện với xác suất bé, nên sẽ không hợp lý nếu lựa chọn cách điện đường dây thoả mãn quá điện áp lớn nhất có thể xảy ra, mà chỉ chọn theo một mức độ hợp lý về kinh tế và kỹ thuật. Như vậy, yêu cầu bảo vệ chống sét đối với đường dây tải điện không phải là loại trừ hoàn toàn khả năng xảy ra sự cố do sét mà chỉ có thể giảm số lần sự cố tới giới hạn hợp lý về kinh tế, tương ứng với một tổn thất bé nhất. Nói một cách khác phải so sánh chi phí đầu tư cho các biện pháp tăng cường chống sét với tổn thất cho nền kinh tế quốc dân do mất điện khi đường dây bị cắt do quá điện áp khí quyển, để tìm ra một lời giải tối ưu.

Sau đây là đường lối tổng quát để xác định chỉ tiêu chống sét của đường dây tải điện

5.1.1 Số lần sét đánh vào đường dây tải điện trên không

Khi xác định phạm vi bảo vệ của chống sét đã nhận thấy xác suất sét đánh vào đường dây phụ thuộc vào độ treo cao của dây dẫn trên cùng (dây dẫn hoặc dây chống sét). Nếu \bar{h} là độ treo cao trung bình của dây trên cùng thì trong phạm vi bề rộng $B = 2\bar{h}$ về mỗi phía của

đường dây, toàn bộ số lần sét đánh sẽ vào dây dẫn. Khi $B > 2\bar{h}$ thì xác suất sét đánh vào dây dẫn giảm dần khi $B \geq 5\bar{h}$ thì toàn bộ số lần sét đánh đều xuống đất. Như vậy trung bình có thể tính, khi $B \leq 3\bar{h}$ về mỗi phía của dây dẫn thì toàn bộ sét đánh vào đường dây. Hay nói một cách khác, dây dẫn có khả năng thu toàn bộ số lần sét đánh về phía mình phạm vi $2B \leq 6\bar{h}$



Hình 5.1: Xác suất sét đánh phụ thuộc vào khoảng cách B

Nếu đường dây có chiều dài bằng L thì diện tích của khu vực 100% sét đánh vào đường dây là $6\bar{h}L$ đối với đường dây có một dây chống sét và $(6\bar{h}+S)L$ đối với đường dây có hai dây chống sét, với S là khoảng cách giữa hai dây chống sét (hoặc dây pha cao nhất đối với đường dây không có dây chống sét).

• Gọi m là mật độ sét trung bình trong mỗi ngày (hoặc mỗi giờ) có dông sét và n là số ngày (hoặc mỗi giờ) có dông sét trung bình mỗi năm trong khu vực có đường dây đi qua, thì số lần sét đánh trung bình vào đường dây trong một năm:

Đối với đường dây có một dây chống sét:

$$N = 6\bar{h} L.m.n.10^{-3} \quad (5.1)$$

Đối với đường dây có hai dây chống sét:

$$N = (6\bar{h}+S) L.m.n.10^{-3}$$

Với \bar{h} tính bằng m và L tính bằng km (hoặc dây pha cao nhất đối với đường dây không có dây chống sét).

Theo các số liệu quan trắc sét trên thế giới, ở vùng đất có độ cao trung bình thường so với mực nước biển, trung bình trong một ngày sét có khoảng $0,1 \div 0,15$ lần sét đánh vào 1km^2 mặt đất.

Ở nước ta việc quan trắc sét một cách có hệ thống mới ở giai đoạn bắt đầu, thời gian còn ngắn, cần một thời gian nữa để có những số liệu thống kê có độ tin cậy cao và có tính chất pháp lý về các thống số của sét.

5.1.2 Số lần phóng điện của cách điện đường dây

Phóng điện trên cách điện chỉ xảy ra khi quá điện áp khí quyển có trị số cao hơn hoặc bằng mức cách điện xung ($U_{0,5}$) của đường dây. Dòng sét có biên độ và độ dốc tương ứng với quá điện áp bằng mức cách điện xung của đường dây được gọi là mức chịu sét hay mức bảo vệ chống sét của đường dây: i_{bv} , α_{bv} . Xác suất xuất hiện dòng sét bằng hoặc lớn hơn mức chịu sét đó của đường dây cũng chính là xác suất phóng điện v_p trên cách điện đường dây:

$$v_p = P\{i_s \geq i_{bv}\} = P\{u_{qa} \geq u_{0,5}\}$$

Như vậy, số lần phóng điện trên cách điện đường dây trong một năm:

Đối với đường dây có một đường dây sét:

$$N_p = N_{v_p} = 6 \bar{h} L.m.n.v_p.10^{-3} \text{ (lần/năm)} \quad (5.2)$$

Đối với đường dây có hai đường dây sét:

$$N_p = 6 \bar{h} + S) L.m.n.v_p.10^{-3} \text{ (lần/năm)} \quad (5.3)$$

5.1.3 Số lần cắt điện đường dây do sét.

Không phải bất cứ lần phóng điện nào trên cách điện đường dây đều đưa đến cắt điện, mà cắt điện đường dây chỉ xảy ra khi phóng điện tia lửa xung chuyển thành phóng điện hồ quang ổn định, duy trì bởi điện áp làm việc của đường dây tức là ngắn mạch chạm đất bằng hồ quang ổn định. Thời gian cần thiết để phóng điện tia lửa phát triển thành hồ quang ổn định bằng hoặc lớn hơn thời gian tác động của role bảo vệ, tức không bé hơn một nửa chu kỳ tần số công nghiệp (0,01s), trong khi đó thời gian tồn tại của quá điện áp khí quyển thường ít khi vượt quá $100\mu\text{s}$ (10^{-4}s)

Xác suất chuyển từ phóng điện tia lửa thành phóng điện hồ quang ổn định phụ thuộc vào nhiều yếu tố (như công suất nguồn, điều kiện khí tượng...) trong đó quan trọng nhất là gradient điện áp dọc theo chiều dài cách điện (tức là điện áp trên một đơn vị chiều dài của cách điện đường dây). Gradient điện áp làm việc càng cao thì điện dẫn trong khe phóng điện càng duy trì lâu, do đó việc chuyển thành hồ quang càng thuận lợi.

Xác suất chuyển thành hồ quang ổn định η được xác định bằng thực nghiệm. Đối với đường dây tải điện từ 220kV trở xuống có cột thép hoặc bê tông cốt thép, có thể tính gần đúng xác suất chuyển thành hồ quang ổn định tại chuỗi cách điện với $\eta \cong 0,7$ và đối với điện áp từ 330kV trở lên có thể tính với $\eta \cong 1$.

Đối với đường dây cột gỗ và các khoảng cách không khí lớn có thể xác định η theo biểu thức thực nghiệm sau:

$$\eta = 1,5(\bar{E}_{lv} - 4)10^{-2}$$

với $\bar{E}_{lv} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}l_{pd}}$ - gradient điện áp làm việc trung bình dọc theo chiều dài phóng điện

(kV/m); l_{pd} - chiều dài của đường phóng điện, m.

Tóm lại số lần cắt đường dây do sét hằng năm bằng:

Đối với đường dây có một đường dây sét:

$$N_c = N_{v_p} = 6 \bar{h} L.m.n.v_p.\eta.10^{-3} \text{ (lần/năm)} \quad (5.4)$$

Đối với đường dây có hai đường dây sét:

$$N_c = (6 \bar{h} + S) L.m.n.v_p.\eta.10^{-3} \text{ (lần/năm)}$$

Để so sánh khả năng chịu sét của các đường dây có thông số khác nhau, đi qua vùng có hoạt động của sét khác nhau: thường dùng suất cắt điện đường dây n_c , tức là số lần trung bình cắt điện hằng năm do sét trên 100km đường dây.

Đối với đường dây có một đường dây sét:

$$n_c = 6 \bar{h} m.n.v_p.\eta.10^{-1} \text{ (lần/năm)} \quad (5.5)$$

Đối với đường dây có hai đường dây sét:

$$n_c = (6 \bar{h} + S) m.n.v_p.\eta.10^{-1} \text{ (lần/năm)}$$

Từ (5.5) suy ra, muốn giảm suất cắt điện đường dây phải giảm xác suất phóng điện v_p và xác suất hình thành hồ quang ổn định η .

Như đã biết: $v_p = P\{U_{cd} \geq U_{0,5}\}$ do đó để giảm xác suất phóng điện v_p tùy trường hợp cụ thể, có thể bằng cách tăng cường cách điện đường dây (ví dụ tăng số lượng đĩa sứ, dùng cột xà gỗ) để tăng mức cách điện xung $U_{0,5}$ của đường dây, bằng cách treo dây chống sét (hoặc tăng số dây chống sét) để giảm số lần sét đánh thẳng vào dây dẫn và giảm điện áp tác dụng trên cách điện, bằng cách giảm điện trở nối đất cột điện để giảm điện áp tác dụng trên cách điện.

Để giảm xác suất hình thành hồ quang ổn định η . Phải giảm gradient điện áp làm việc trung bình, bằng cách tăng chiều dài phóng điện như tăng số đĩa sứ trong chuỗi, dùng cột xà gỗ (những biện pháp này vừa có tác dụng tăng chiều dài phóng điện vừa có tác dụng tăng mức cách điện xung của đường dây).

Ngoài ra một số biện pháp nhằm mục tiêu chủ yếu khác, nhưng cũng có tác dụng giảm suất cắt điện đường dây như dùng máy cắt có thiết bị tự động đóng lại (TĐL) (vì sự cố do sét chỉ có tính chất thoáng qua), như nối đất điểm trung tính qua cuộn dập hồ quang (có tác dụng giảm η)

Xuất phát từ điều kiện an toàn cung cấp điện, số lần cắt điện cho phép trong một năm có thể tính sơ bộ theo.

$$N_{c,cp} = N_{cp}(1 - \beta_{TDL})$$

Với N_{cp} - số lần ngừng cung cấp điện cho phép trong năm ($N_{cp} \leq 0,1$ khi không có dự trữ và $N_{cp} \leq 1$ khi có dự trữ)

β_{TDL} - hệ số tự đóng lại thành công, lấy bằng $0,8 \div 0,9$ với đường dây từ 110kV trở lên có cột thép hoặc cột bê tông cốt thép.

Một giới hạn nữa cần tính đến là điều kiện làm việc của máy cắt: số lần cắt ngắn mạch cho phép giữa hai lần đại tu hoặc số lần làm việc của máy cắt trong chu kỳ TĐL, giữa hai lần kiểm tra. Trên cơ sở những điều kiện trên, tùy loại máy cắt, số lần cắt điện cho phép $N_{c,cp} = 1 \div 4$.

Đối với đường dây siêu cao áp đặc biệt quan trọng thì số lần cắt cho phép phải nhỏ hơn trị số trên.

5.1.4 Chỉ tiêu chống sét của đường dây

$$M = 1/n_C$$

M là khoảng thời gian trung bình giữa hai lần cắt điện đường dây liên tiếp do sét gây nên, năm/lần cắt.

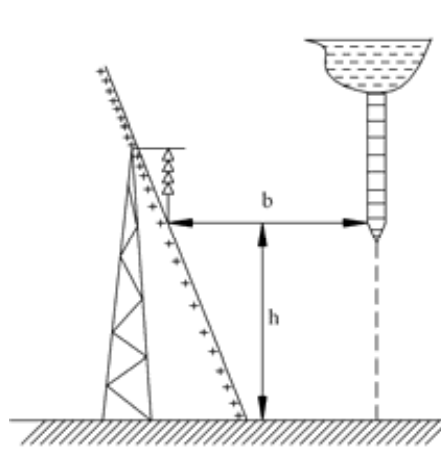
5.2 QUÁ ĐIỆN ÁP CẢM ỨNG

Khi sét đánh gần đường dây, điện từ trường của dòng sét tạo nên gần mặt đất, tác dụng trên dây dẫn của đường dây, sẽ gây nên quá điện áp cảm ứng. Tương ứng với hai thành phần của điện và từ trường:

$$E_d = -\text{grad}\varphi \text{ và } E_d = -dA/dt$$

Với: φ - thế vô hướng; A- thế vector tại điểm khảo sát.

điện áp cảm ứng gồm hai thành phần: điện áp cảm ứng điện U_d^{cu} và điện áp cảm ứng từ U_t^{cu} mà bản chất vật lý của chúng như sau:



Hình 5.2: Sự xuất hiện quá điện áp cảm ứng do sét đánh gần đường dây

5.2.1 Thành phần điện áp cảm ứng điện U_d^{cu}

Khi điện tích của mây dông (phần lớn là điện tích âm) theo dòng tiền đạo phát triển về hướng mặt đất thì trên dây dẫn của đường dây tải điện xuất hiện những điện tích dương ràng buộc, còn điện tích âm tự do trên dây dẫn, do tốc độ phát triển chậm của dòng tiền đạo, sẽ rời khỏi khu vực ảnh hưởng của dòng tiền đạo. Trường của điện tích dương ràng buộc cân bằng với trường của điện tích âm trong dòng tiền đạo, nên thế của dây dẫn trong giai đoạn phóng điện tiền đạo bằng không. (nếu không kể đến điện áp làm việc tần số công nghiệp của dây dẫn).

Ngày khi bắt đầu giai đoạn phóng điện chủ yếu, điện tích trái dấu từ mặt đất tràn vào khe tiền đạo và trung hoà với điện tích âm của khe tiền đạo: trường do nó tạo nên bị khử. Kết quả

là điện tích dương ràng buộc trên dây dẫn được giải phóng chạy về hai phía của dây dẫn tạo nên sóng quá điện áp trên dây dẫn. Đó là thành phần điện của điện áp cảm ứng.

Nếu sự trung hoà điện tích trong khe tiền đạo xảy ra tức thời thì trị số cực đại của điện áp cảm ứng điện trên dây dẫn ở gần nơi sét đổ bộ nhất sẽ bằng:

$$U_d^{cu} = k \frac{\bar{h}}{b} \sigma$$

\bar{h} - độ treo cao trung bình của dây dẫn

σ - mật độ đường của điện tích trong khe tiền đạo

b- khoảng cách ngắn nhất từ nơi sét đổ bộ đến dây dẫn của đường dây .

Trong thực tế sự trung hoà điện tích trong khe tiền đạo xảy ra với tốc độ v của phóng điện chủ yếu ($v = (0,1 \div 0,3).C$) nên điện tích ràng buộc được giải phóng dần dần. Tốc độ phóng điện chủ yếu càng bé thì sự giải phóng điện tích ràng buộc càng chậm và thành phần điện của điện áp cảm ứng càng bé. Nếu chú ý đến đặc điểm này thì trong công thức trên đưa thêm vào hệ số f(v) và đồng thời chú ý quan hệ $\sigma = i_s / v$ thì:

$$U_d^{cu} = kf(v) \frac{\bar{h}}{b} \cdot \frac{i_s}{v} = k_d(v) \cdot \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s$$

Trong đó $k_d(v) = k.f(v)/v$ giảm khi v tăng.

5.2.2 Thành phần điện áp cảm ứng từ U_t^{cu}

Dưới tác dụng của từ trường của dòng sét trong giai đoạn phóng điện chủ yếu, trong mạch vòng kín dây dẫn - đất xuất hiện thành phần điện áp cảm ứng từ. Trị số cực đại của nó tăng theo trị số cực đại của dòng sét và tốc độ phát triển của phóng điện chủ yếu:

$$U_t^{cu} = k_t(v) \cdot \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s$$

Trong đó $k_t(v)$ là hệ số tăng theo tốc độ phóng điện chủ yếu v.

5.2.3 Điện áp cảm ứng lớn nhất

Tóm lại, trị số cực đại của quá điện áp cảm ứng bằng:

$$U_{\max}^{cu} = U_{d\max}^{cu} + U_{t\max}^{cu} = (k_d(v) + k_t(v)) \cdot \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s = k_{cu} \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s \quad (5.6)$$

Hệ số $k_{cu} = k_d(v) + k_t(v)$ ít phụ thuộc vào tốc độ phóng điện chủ yếu vì hai thành phần điện và từ phát triển ngược nhau theo độ. Tính toán lý thuyết cho thấy: $k_{cu} = 30\Omega$, do đó:

$$U_{\max}^{cu} = 30 \cdot \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s$$

Khi trị số cực đại của quá điện áp cảm ứng lớn hơn độ bền điện xung của cách điện đường dây ($U_{0,5}$) thì sẽ gây nên phóng điện trên cách điện đường dây:

$$U_{\max}^{cu} = 30 \cdot \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s \geq U_{0,5}$$

Từ đó suy ra dòng sét nguy hiểm cho cách điện đường dây, tức là mức chịu sét (hay mức bảo vệ) của cách điện đường dây:

$$i_{bv} = U_{0,5} \frac{b}{30 \bar{h}} \quad (5.8)$$

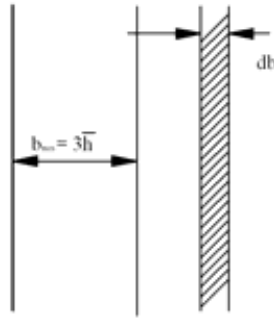
Mọi dòng điện sét lớn hơn hay bằng mức chịu sét của đường dây $i_s \geq i_{bv}$ đều dẫn đến phóng điện trên cách điện đường dây. Xác suất xuất hiện dòng sét nguy hiểm đó cũng chính là xác suất phóng điện của cách điện đường dây:

$$v_p = v_{i_{bv}} = e^{\frac{-i_{bv}}{26}} = e^{\frac{-u_{0,5} \cdot b}{780 \bar{h}}} \quad (5.9)$$

5.2.4 Xác định số lần phóng điện trên cách điện đường dây do quá điện áp cảm ứng

Số lần sét đánh trên dải rất rộng db ngoài phạm vi sét đánh trực tiếp $b_{\min} = 3 \bar{h}$ dọc theo chiều dài L của đường dây gây nên phóng điện trên cách điện đường dây (H.5.3) bằng:

$$dN_p = m \cdot n \cdot L \cdot db \cdot 10^{-3} e^{\frac{-u_{0,5} \cdot b}{780 \bar{h}}}$$



Hình 5.3: Phạm vi sét đánh gây quá điện áp cảm ứng trên đường dây

Như vậy toàn bộ số lần sét đánh xuống đất về cả hai bên đường dây gây nên phóng điện trên cách điện đường dây bằng:

$$N_p = 2 \int_{b_{\min}=3\bar{h}}^{\infty} dN_p = 2m.n.L.d.10^{-3} \int_{3\bar{h}}^{\infty} e^{\frac{-u_{0,5}.b}{780\bar{h}}} db$$

$$N_p = 2m.n.L.10^{-3} \frac{780\bar{h}}{U_{0,5}} e^{\frac{-U_{0,5}}{260}} = 1,56m.n.L \frac{\bar{h}}{U_{0,5}} e^{\frac{-U_{0,5}}{260}} \quad (5.10)$$

Suất phóng điện trên cách điện đường dây là số lần phóng điện ứng với 100km chiều dài đường dây bằng:

$$n_p = 156m.n. \frac{\bar{h}}{U_{0,5}} e^{\frac{-U_{0,5}}{260}} \quad (5.11)$$

Ví dụ: Đường dây có độ cao trung bình của dây dẫn trên cùng $\bar{h} = 10\text{m}$ đi qua vùng sét hoạt động mạnh với $n = 100$ ngày/năm, mật độ $m = 0,1$ lần/ $\text{km}^2/\text{ngày}$ sét. Nếu:

Đường dây. kV	$U_{0,5}$, kV	n_p , lần/năm	v_p
35	350	11,6	0,26
110	700	1,5	0,068

Qua ví dụ trên có thể thấy là đối với đường dây 110kV trở lên, do $U_{0,5}$ lớn nên suất phóng điện thấp, ngoài ra nếu đường dây có dây chống sét thì trị số quá điện áp cảm ứng giảm thấp khoảng 30%, thực tế có rất ít khả năng gây phóng điện trên cách điện đường dây, do đó trong tính toán chỉ tiêu chống sét có thể bỏ qua trường hợp này mà sai số không đáng kể.

Đối với đường dây từ 35kV trở xuống, do $U_{0,5}$ bé nên suất phóng điện n_p lớn, cần phải có biện pháp thông dụng đối với đường dây các cấp điện áp cảm ứng. Biện pháp thông dụng đối với đường dây các cấp điện áp thấp này là dùng cột xà gỗ để tăng mức cách điện xung của đường dây và giảm xác suất chuyển thành hồ quang ổn định. Ngoài ra, nếu lưới 35kV có trung tính nối đất qua cuộn dập hồ quang thì xác suất hình thành hồ quang ổn định $\eta \approx 0$, nhờ đó suất cắt điện đường dây do sét đánh hầu như không đáng kể.

Cần lưu ý một đặc điểm của quá điện áp cảm ứng là do xuất hiện đồng thời ở cả ba pha, điện áp giữa các pha do đó không chênh lệch nhau nhiều và không nguy hiểm đối với cách điện giữa các pha.

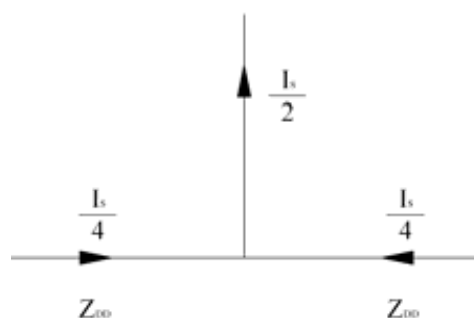
5.3 SÉT ĐÁNH TRỰC TIẾP VÀO ĐƯỜNG DÂY KHÔNG CÓ DÂY CHỐNG SÉT.

Sét đánh trực tiếp vào đường dây dẫn là trường hợp nguy hiểm nhất vì phần lớn các trường hợp đều đưa đến phóng điện trên cách điện đường dây.

Ở đây sẽ trình bày phương pháp đơn giản, gần đúng để xác định suất cắt điện đường dây do sét đánh trực tiếp vào dây dẫn.

Giả thiết toàn bộ số lần sét đánh đều vào dây dẫn (bỏ qua khả năng sét đánh vào cột, chiếm khoảng 20% số lần sét đánh vào đường dây).

Tại nơi sét đánh, tổng trở của khe sét Z_s nối tiếp với tổng trở tương đương của dây dẫn $Z_{DD}/2$ (H5.4) do đó dòng chạy qua khe sét bằng:



Hình 5.4: Phân bố dòng sét khi sét đánh vào dây dẫn

$$I = I_s \frac{Z_s}{Z_s + \frac{Z_{DD}}{2}} \quad (5.12)$$

Nếu nhận gần đúng $Z_s = Z_{DD}/2 = 400/2 = 200\Omega$ thì dòng trong khe sét bằng:

$I = I_s/2$, tức bằng nửa trị số dòng khi sét đánh vào nơi có nối đất tốt và dòng chạy về mỗi phía của dây dẫn, tính từ nơi sét đánh, bằng $I_s/4$. Nó sẽ tạo nên trên dây dẫn sóng áp bằng:

$$U_{DD} = \frac{I_s Z_{DD}}{4} = 100I_s \quad (5.13)$$

Nếu trị số của quá điện áp này lớn hơn mức cách điện xung của cách điện đường dây: $U_{DD} \geq U_{0,5}$ thì sẽ gây nên phóng điện. Vì mức cách điện xung của đường dây cột thép (hoặc bê tông cột thép) và của đường dây cột gỗ khác nhau nhiều, xác suất phóng điện do đó cũng khác nhau nên cần xét riêng biệt.

5.3.1 Đường dây cột thép hoặc bê tông cột thép

Trong trường hợp này, cách điện của đường dây tại cột điện chỉ là chuỗi sứ và các khoảng cách không khí giữa dây dẫn và cột. Phóng điện sẽ xảy ra nếu: $U_{DD} = 100I_s \geq U_{0,5}$.

Điều kiện này ứng với khi dòng sét vượt quá mức chịu sét (hay mức bảo vệ chống sét) của đường dây:

$$I_s \geq I_{bv} = \frac{U_{0,5}}{100} \quad (5.14)$$

(Như vậy điều kiện phóng điện trong phương pháp tính toán gần đúng này chỉ phụ thuộc vào biên độ của dòng sét mà không phụ thuộc vào độ dốc đầu sóng của nó). Vì tất cả các trường hợp sét đánh với biên độ $I_s \geq I_{bv}$ đều dẫn đến phóng điện trên cách điện đường dây, nên xác suất phóng điện v_p cũng chính là xác suất xuất hiện dòng sét có biên độ lớn hơn hoặc bằng mức bảo vệ chống sét của đường dây.

$$V_p = V_{i_{bv}} = e^{-i_{bv}/26} = 10^{-i_{bv}/60}$$

Sét thường chỉ đánh vào một pha:

- Pha trên cùng khi dây dẫn bố trí trên các đỉnh của một hình tam giác.
- Pha ngoài cùng khi dây dẫn nằm trên cùng một mặt phẳng ngang.

Nếu điều kiện chuyển từ phóng điện tia lửa xung thanh phóng điện hồ quang ổn định, duy trì bởi điện áp làm việc, được thực hiện thì sẽ dẫn đến ngắn mạch chạm đất một pha.

Như vậy, xác suất hình thành hồ quang ổn định η và do đó khả năng cắt điện đường dây còn phụ thuộc vào phương thức nối đất điểm trung tính của hệ thống.

a) Đối với đường dây thuộc hệ thống có điểm trung tính trực tiếp nối đất, tức là (đối với nước ta) đường dây thuộc các cấp điện áp từ 110kV trở lên, khi có ngắn mạch chạm đất một

pha, bộ phận rơle bảo vệ sẽ làm việc và cắt nhanh đường dây sự cố. Suất cắt điện n_c được tính theo:

Đối với đường dây có dây dẫn bố trí trên các đỉnh của một hình tam giác:

$$n_c = 0,6 \bar{h} n.m.v_p.\eta$$

\bar{h} là độ treo cao trung bình của dây dẫn trên cùng.

Đối với đường dây có dây dẫn cùng nằm trên mặt phẳng ngang:

$$n_c = (6 \bar{h} + s)n.m.v_p.\eta.10^{-1}$$

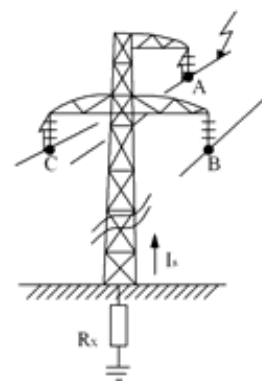
với s là khoảng cách giữa hai dây dẫn ngoài cùng.

Ví dụ: Đường dây 110kV có $U_{0,5} = 650\text{kV}$ (chọn theo cực tính âm vì phần lớn phóng điện sét có cực tính âm). Mức bảo vệ của đường dây bằng: $I_{bv} = 650/100 = 6,5\text{KA}$. Xác suất phóng điện sẽ bằng

$$v_p = v_{i_{bv}} = 10^{-6,5/60} \text{.Xác suất hình thành hồ quang ổn định của đường dây cột thép (hay}$$

bê tông cốt thép) lấy bằng $\eta = 0,7$. Nếu độ cao trung bình của dây dẫn trên cùng $\bar{h} = 10\text{m}$, đường dây đi qua vùng có cường độ sét hoạt động mạnh với $n = 100$ ngày/năm và $m = 0,1$ lần/ km^2 /ngày thì $n_c = 0,6 \times 10 \times 0,1 \times 100 \times 0,8 \times 0,7 = 33,6$ lần /năm. Suất cắt điện đường dây như vậy quá lớn, do đó đường dây 110kV trở lên có cột thép (hay bê tông cốt thép) đi qua các vùng sét hoạt động trung bình và mạch cần phải được bảo vệ bằng dây chống sét.

b) Đối với đường dây thuộc hệ thống có trung tính cách điện hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang, thường là các cấp điện áp từ 35kV trở xuống, chạm đất một pha không yêu cầu cắt điện đường dây ngay, mà chỉ khi phóng điện phát triển thêm ở một hoặc hai pha còn lại đưa đến ngắn mạch chạm đất ở hai hoặc ba pha thì mới cắt điện đường dây.



Hình 5.5: Phóng điện trên cách điện của hai pha khi sét đánh vào dây dẫn của đường dây không có dây chống sét.

Giả thiết sét đánh vào pha A và gây phóng điện ở trên chuỗi cách điện của pha này.

Chọn trường hợp nguy hiểm nhất là sét đánh vào dây dẫn ở gần cột, vì khi cách điện pha A bị phóng điện thì gần như toàn bộ dòng sét đi qua cột để vào điện trở nối đất của cột điện (do $R_x \ll Z_{DD}/2$). Lúc này điện áp của cột, xà bằng điện thế trên dây dẫn pha A và gần bằng điện thế giáng trên R_x , điện trở tản xung của nối đất cột điện:

$$U_{\text{cột}} = U_{DD(A)} = I_s R_x$$

Trên dây dẫn các pha còn lại do hiện tượng cảm ứng tĩnh điện sẽ xuất hiện điện áp cảm ứng bằng $K_d \cdot I_s \cdot R_x$ với K_d là hệ số ngẫu hợp động (có tính đến ảnh hưởng của vầng quang xung) của dây dẫn các pha Chồng sét hoặc pha B đối với dây dẫn pha A.

Như vậy cách điện của các pha không bị sét đánh này (Chồng sét hoặc B) chịu tác dụng của một điện áp bằng:

$$U_A - U_B = U_A - U_C = I_s \cdot R_x \cdot (1 - K_d)$$

Và phóng điện trên cách điện pha B hoặc Chồng sét sẽ xảy ra nếu:

$$I_s \cdot R_x (1 - K_d) \geq U_{0,5}$$

Từ đó xác định được mức chịu sét đường dây:

$$I_{bv} = \frac{U_{0,5}}{R_x (1 - K_d)} \quad (5.15)$$

Và xác suất phóng điện ở cả pha thứ hai bằng:

$$v_p = P\{I_s \geq I_{bv}\} = e^{-I_{bv}/26} = 10^{-I_{bv}/60}$$

Ở đây $U_{0,5}$ của pha C (hoặc pha B) chọn theo cực tính dương (điện áp cảm ứng tĩnh điện, bé hơn ít nhiều so với cực tính âm).

Qua (5.15) thấy rõ mức bảo vệ của đường dây phụ thuộc rất nhiều vào điện trở nối đất của cột điện: giảm điện trở nối đất sẽ tăng được mức bảo vệ chống sét của đường dây.

Ví dụ; Đường dây 35kV cột thép có $U_{0,5} = 350\text{kV}$, giả thiết độ treo cao trung bình của dây dẫn là $\bar{h} = 10\text{m}$ qua vùng sét hoạt động mạnh với $n = 100$ ngày/năm, $m = 0,1$ lần/ km^2 /ngày, hệ số ngẫu hợp động $k_d = 0,3$. Xác suất hình thành hồ quang ổn định $\eta = 0,7$. nếu điện trở tản xung của nối đất cột điện $R_x = 10\Omega$ thì mức bảo vệ đường dây bằng:

$$I_{bv} = \frac{350}{10(1 - 0,3)} = 50\text{kA}$$

Do đó xác suất phóng điện $v_p = e^{-50/60} = 0,15$ và suất cắt điện đường dây bằng $n_c = 0,6 \times 10 \times 0,1 \times 100 \times 0,15 \times 0,7 = 6,3$ lần/năm. Nếu giảm điện trở nối đất còn bằng $R_x = 5\Omega$ thì với tính tương tự như trên:

$$I_{bv} = \frac{350}{5(1-0,3)} = 100kA, \quad v_p = e^{-100/60} = 0,02, \quad n_c = 0,6 \times 10 \times 0,1 \times 100 \times 0,02 \times 0,7 = 0,84$$

lần/năm

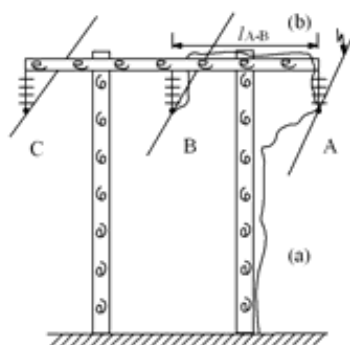
Nghĩa là giảm khoảng 7,5 lần so với khi $R_x = 10\Omega$.

Qua các ví dụ trên có thể rút ra hai kết luận quan trọng đối với đường dây cột thép hoặc bê tông cốt thép:

- Suất cắt đường dây thuộc hệ thống có trung tính cách điện bé hơn nhiều so với đường dây thuộc hệ thống có trung tính trực tiếp nối đất. Đặc biệt nếu nối đất trung tính qua cuộn dập hồ quang thì xác suất hình thành hồ quang ổn định rất bé ($\eta = 0$), do đó giảm suất cắt đường dây rất nhiều. Vì vậy, nối đất trung tính qua cuộn dập hồ quang được coi như là một biện pháp nâng cao khả năng chịu sét của đường dây.

- Bằng cách giảm điện trở nối đất của cột điện, có thể giảm suất cắt điện đường dây đáng kể. Hiển nhiên điều này chỉ có thể thực hiện được thuận lợi về kinh tế đường dây đi qua các vùng đất dẫn điện tốt.

5.3.2 Đường dây cột xà gỗ



Hình 5.6: Các khả năng phóng điện của đường dây cột xà gỗ khi bị sét đánh

Khi sét đánh trên dây dẫn pha A của đường dây cột xà gỗ có thể gây nên phóng điện theo hai khả năng (H5.6):

- Xuống đất theo đường (a), một phần xuyên qua khoảng cách không khí giữa dây dẫn và cột, một phần men theo thân cột, mức cách điện xung theo đường (a) là:

$$U_{0,5}^{(a)} = U_{0,5}^{chs} + 100.h_{DD}$$

$U_{0,5}^{chs}$ - mức cách điện xung của chuỗi sứ ($U_{0,5}$ của khoảng cách không khí lấy gần đúng bằng $U_{0,5}^{chs}$)

$100h_{DD}$ - mức cách điện xung của đoạn thân cột tính đến độ cao của dây dẫn (mỗi m gỗ chịu được khoảng 100kV xung).

Điều kiện phóng điện theo đường (a): $I_s \geq I_{bv}^{(a)} = U_{0,5}^{(a)} / 100$ (chấp nhận giả thiết gần đúng $Z_s = Z_{DD} / 2 = 200 \Omega$)

- Theo đường (b) gồm hai chuỗi sứ và chiều dài đoạn xà gỗ giữa hai pha. Mức cách điện xung theo đường (b) là:

$$U_{0,5}^{(b)} = 2U_{0,5}^{chs} + 100.l_{A-B}$$

l_{A-B} là chiều dài đoạn xà gỗ giữa hai chuỗi sứ.

Khi trên pha A có sóng áp $U_{DD}^A = 100I_s$ thì trên pha B sẽ xuất hiện điện áp cảm ứng $U_{DD}^B = 100I_s k_d$

Như vậy phóng điện theo đường (b) xảy ra khi đạt điều kiện:

$$U_{DD}^A - U_{DD}^B = 100I_s(1 - k_d) \geq U_{0,5}^{(b)}$$

$$\text{Hay } I_s \geq I_{bv}^{(a)} = \frac{U_{0,5}^{(a)}}{100(1 - k_d)} \quad (5.16)$$

Kinh nghiệm vận hành cho thấy, trên đường dây cột xà gỗ, phóng điện thường theo đường (b), tức là giữa các pha. Do đó mức bảo vệ của đường dây cột gỗ được tính theo (5.16)

Ví dụ: đường dây 110kV cột gỗ có các thông số tương tự như trên. Mức cách điện theo đường (b) được xác định theo:

$$U_{0,5}^{(b)} = 2 \times 650 + 4 \times 100 = 1700 \text{ kV}$$

(với 2×650 là $U_{0,5}$ của hai chuỗi sứ; 4×100 là $U_{0,5}$ của 4m xà gỗ giữa hai pha)

$$\text{Từ đó mức bảo vệ bằng : } I_{bv}^{(a)} = \frac{1700}{100(1 - 0,3)} = 24 \text{ kA}$$

$$\text{Và xác suất phóng điện: } v_p = 10^{-24/60} = 0,4$$

Chiều dài đường phóng điện gồm chiều dài phân cách điện của hai chuỗi sứ I_{cd}^{chs} và chiều dài đoạn xà gỗ giữa hai chuỗi sứ I_{A-B} ;

$$I_{pd} = 2I_{cd}^{chs} + I_{A-B}$$

Với chiều dài phân cách điện của một chuỗi sứ 110kV bằng $I_{pd} = 1,3m$ và $I_{A-B} = 4m$ thì $I_{pd} = 2 \times 1,3 + 4 = 6,6$, do đó gradient điện áp làm việc theo đường (b) bằng:

$$\bar{E}_{lv} = \frac{110}{\sqrt{3}(4 + 2,6)} = 9,62kV/m$$

Theo (5.3) xác suất hình thành hồ quang ổn định bằng:

$$\eta = 1,5(9,62 - 4) \cdot 10^{-2} = 0,084$$

Như vậy suất cắt điện đường dây bằng:

$$N_c = 0,6 \times 10 \times 0,1 \times 100 \times 0,4 \times 0,084 = 2 \text{ lần/năm}$$

So sánh với đường dây cột thép hoặc bê tông cốt thép cùng cấp điện áp, suất cắt đường dây cột gỗ nhỏ hơn 16 lần.

Như vậy khi đường dây đi qua những vùng đất dẫn điện xấu, việc thực hiện nối đất với R_x bé gặp nhiều khó khăn thì việc dùng cột xà gỗ là hợp lý về kinh tế kỹ thuật vì không phải đầu tư vào dây chống sét và nối đất cột điện, mà mức an toàn chịu sét cao hơn.

Ở đây cần nhấn mạnh thêm là dây chống sét chỉ có hiệu quả chống quá điện áp khi quyển cao khi điện trở nối đất dây chống sét bé. Trường hợp ngược lại, điện áp giáng trên điện trở nối đất ($I_s R_x$) sẽ cao và thường xuyên gây phóng điện ngược từ xà, cột (phần tử được nối đất) sang dây dẫn. Trong các vùng đất dẫn điện xấu ($\rho \geq 1000\Omega m$) khó thực hiện nối đất với R_x bé (vô cùng tốn kém). Trường hợp đó dây chống sét không còn phát huy tác dụng đáng kể nữa, có thể không cần đặt dây chống sét ngay cả ở đường dây 220÷330kV (theo quy phạm xây lắp thiết bị điện của Liên Xô năm 1965).

Đường dây các cấp điện áp thấp (từ 35kV trở xuống) có mức cách điện xung không cao, dù có đặt dây chống sét thì số lần phóng điện trên cách điện đường dây cũng không giảm bao nhiêu (do phóng điện ngược thường xuyên xảy ra) nên nói chung cũng không cần đặt dây chống sét, trong trường hợp này nếu dùng cột, xà gỗ thì mức bảo vệ chống sét của đường dây sẽ tăng khá cao.

5.4 SÉT ĐÁNH TRÊN ĐƯỜNG DÂY CÓ DÂY CHỐNG SÉT

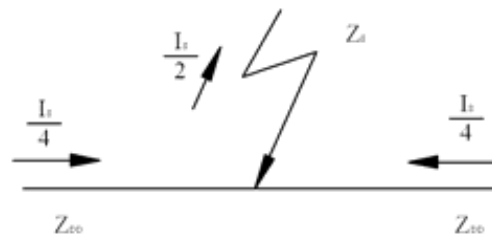
A. Sét đánh vào dây dẫn

Khi đường dây có dây chống sét thì phần lớn số lần sét đánh vào dây chống sét. Tuy nhiên cũng còn một số ít lần sét đánh vòng qua khu vực bảo vệ của dây chống sét vào dây dẫn với xác suất v_α như sau:

$$\lg v_\alpha = \frac{\alpha \sqrt{h_c}}{90} - 4 \quad (5.17)$$

với: α - góc bảo vệ của dây chống sét, ($^\circ$); h_c - chiều cao của cột điện, m.

Khi sét đánh vào dây dẫn thường gây nên phóng điện trên chuỗi sứ với xác suất tương đối lớn. Xác suất phóng điện trên chuỗi sứ trong trường hợp này được tính tương tự như trường hợp sét đánh vào dây dẫn khi không có dây chống sét, tức là cũng xuất phát từ sự so sánh quá điện áp trên dây dẫn U_{DD} với $U_{0,5}$ của chuỗi sứ.



Với giả thiết gần đúng:

$$Z_s = \frac{Z_{DD}}{2} = \frac{400}{2} = 200 \Omega$$

Thì dòng chạy về mỗi phía của dây dẫn bằng $I_{DD} = \frac{I_s}{4}$.

Do đó quá điện áp trên dây dẫn bằng:

$$U_{DD} = \frac{I_s}{4} Z_{DD} = 100 I_s$$

Phóng điện trên chuỗi sứ sẽ xảy ra, nếu:

$$U_{DD} = 100 I_s \geq U_{0,5} \Rightarrow I_s \geq I_{bv} = U_{0,5} / 100$$

$$v_{pd} = v_{i_{bv}} = e^{\frac{-U_{0,5}}{100.26}} = 10^{100.60}$$

Biết gradient điện áp làm việc trung bình của chuỗi sứ sẽ xác định được xác suất hình thành hồ quang η . (Các thông số này được dùng đến khi tính toán suất cắt điện tổng của đường dây ở cuối chương).

B. Sét đánh vào dây chống sét

Trong trường hợp này, đặc điểm của quá trình và ảnh hưởng của các yếu tố tác động (biên độ và dốc của dòng sét, điện trở nối đất, chiều cao của cột, chiều dài khoảng vượt) sẽ khác nhau tùy thuộc vào vị trí sét đổ bộ vào cột hay vào dây chống sét ở gần cột hoặc vào dây chống sét trong khoảng vượt. Một phương pháp tính toán tổng quát cho trường hợp này rất phức tạp. Ở đây chỉ xét hai trường hợp giới hạn là khi sét đánh vào đỉnh cột và khi sét đánh vào dây chống sét ở giữa khoảng vượt.

1- Khi sét đánh vào đỉnh cột hoặc dây chống sét ở gần cột

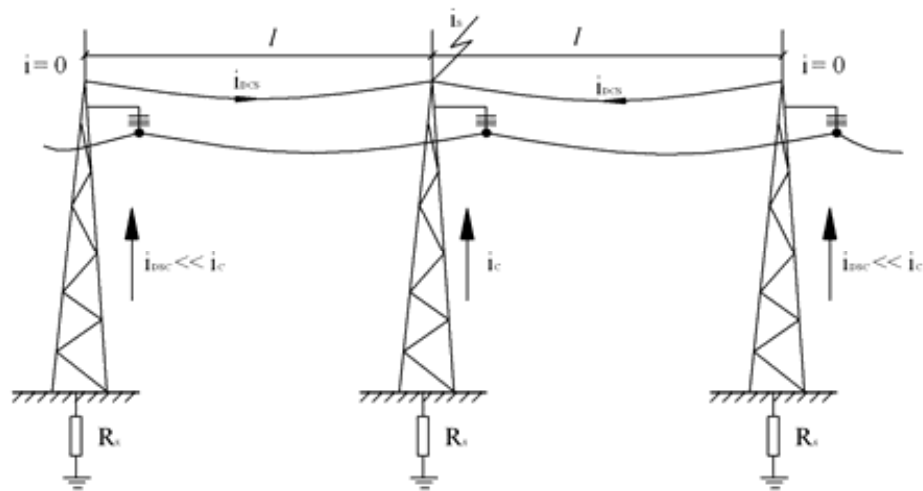
Số lần sét đánh vào đỉnh cột có thể xác định theo công thức thực nghiệm:

$$N_{\text{cột}} = N(1 - v_{\alpha}) \frac{4h_c}{l} \quad (5.18)$$

Với: N - số lần sét đánh vào đường dây; h_c - chiều cao cột điện

l - chiều dài khoảng vượt; v_{α} - xác suất sét đánh vào đường dây dẫn.

Khi sét đánh vào đỉnh cột (H.4.7) do điện trở tản xung của nối đất cột điện R_x nhỏ hơn nhiều so với tổng trở sóng của dây chống sét ($R_x \ll Z_{DCS}$) nên phần chủ yếu của dòng sét sẽ đi qua cột (i_c) vào điện trở nối đất của cột để tản vào đất, còn phần nhỏ theo dây chống sét đi đến bộ phận nối đất của cột điện kế cận, về hai phía của cột bị sét đánh.



Hình 5.7: Phân bố dòng sét khi sét đánh vào đỉnh cột

Điện áp tác dụng lên chuỗi cách điện đường dây tại cột điện bị sét đánh gồm các thành phần sau:

a) Điện áp giáng trên điện trở tản xung của nối đất cột điện bị sét đánh:

$$U_R = i_c R_x$$

Thành phần này cùng dấu với cực tính dòng sét.

b) Thành phần điện áp cảm ứng từ, U_{cu}^t : gồm hai thành phần gây nên bởi dòng chạy qua cột tác dụng lên điện cảm của cột $L_c^{DD} di_c / dt$

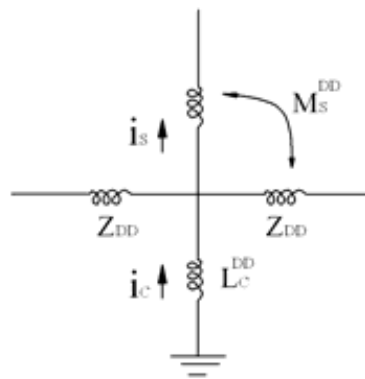
$$U_{cu}^t = L_c^{DD} \cdot \frac{di_c}{dt} + M_s^{DD} \cdot \frac{di_s}{dt} \quad (5.20)$$

với: L_c^{DD} - điện cảm của cột điện tính từ mặt đất đến độ treo cao dây dẫn

M_s^{DD} - hồ cảm giữa khe sét và mạch vòng kín “dây dẫn - đất”, tỉ lệ với độ treo cao dây dẫn và phụ thuộc vào thời gian, vì chiều dài khe sét tăng cùng sự phát triển của phóng điện ngược, có thể coi khe sét như một thanh dẫn thẳng có độ dài thay đổi và bằng vt.

Nhưng vì $vt \gg h_c$ nên trị số hồ cảm thay đổi theo t không nhiều, có thể tính toán $M_s^{DD} = 0,5h_c$.

Thành phần điện áp cảm ứng từ U_{cu}^t cùng dấu với cực tính của dòng sét.



Hình 5.8: Sơ đồ minh họa thành phần điện áp cảm ứng từ U_{cu}^d

c) Thành phần điện áp cảm ứng điện U_{cu}^d : do sự trung hoà điện tích trong khe sét trong giai đoạn phóng điện ngược, các điện tích ràng buộc trên dây dẫn (được tạo nên do cảm ứng trong giai đoạn phóng điện tiên đạo) được giải phóng chạy về hai phía của dây dẫn tạo nên thành phần điện áp cảm ứng điện, ngược dấu với cực tính dòng sét. Một cách gần đúng có thể nhận rằng khi không kể đến ảnh hưởng của dây chống sét thì $U_{cu}^d = h_{DD} \cdot di_s / dt$. Nếu kể đến ảnh hưởng của dây chống sét thì U_{cu}^d giảm; bởi trong giai đoạn phóng điện chủ yếu các điện tích dương (sét có cực tính âm) được giải phóng di chuyển trên dây dẫn, sẽ cảm ứng trên dây chống sét những điện tích âm, làm giảm điện thế của dây dẫn. Có thể chứng minh rằng nếu tích đến ảnh hưởng của dây chống sét thì:

$$U_{cu}^d = -1 \left(1 - k \frac{\bar{h}_{CS}}{\bar{h}_{DD}} \right) \bar{h}_{DD} \frac{di_s}{dt} \quad (5.21)$$

với: $\bar{h}_{DD}, \bar{h}_{CS}$ - độ treo cao trung bình của dây dẫn và dây chống sét

k- hệ số ngẫu hợp giữa dây dẫn và dây chống sét. Dấu “-“ để nói rằng điện áp cảm ứng trên dây dẫn có cực tính ngược với cực tính của dòng sét.

d) Thành phần điện áp cảm ứng (tĩnh điện) trên dây dẫn gây nên bởi dòng điện chạy trong dây chống sét. Nếu điện áp trên dây chống sét là U_{CS} thì thành phần này bằng $-K \cdot U_{CS}$ với k là hệ số ngẫu hợp giữa dây dẫn và dây chống sét. Do quá trình phản xạ nhiều lần của sóng áp từ các cột lân cận, làm giảm điện áp trên dây chống sét, nên điện áp trên dây dẫn có thể tính với hệ số ngẫu hợp tĩnh k.

U_{CS} bằng điện áp tại đỉnh cột bị sét đánh U_c , gồm điện áp giáng trên điện trở nối đất của cột và thành phần điện áp cảm ứng từ:

$$U_{CS} = U_c = R_x i_c + L_c^{cs} \frac{di_c}{dt} + M_s^{cs} \frac{di_s}{dt} \cong R_x i_c + L' h_{cs} \frac{di_c}{dt} + 0,5 h_{cs} \frac{di_s}{dt} \quad (5.22)$$

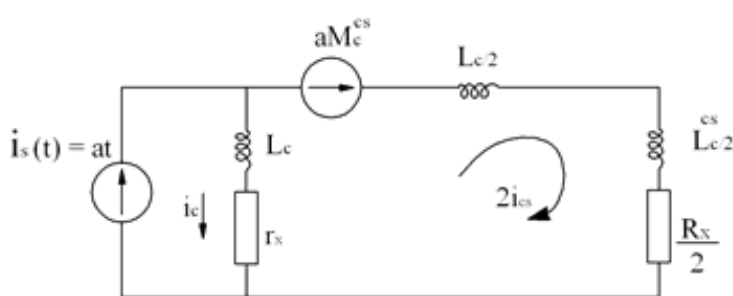
Với L' - điện cảm của một đơn vị chiều dài của cột điện

M_s^{cs} - hệ cảm giữa khe sét và mạch vòng “dây chống sét - đất” có thể tính gần đúng

$$M_s^{cs} = 0,5 h_{cs}.$$

Bốn thành phần điện áp kể trên là do sét gây nên, để xác định chúng cần phải biết phân bố dòng sét tại nơi sét đánh.

Dòng điện chạy qua cột i_c khi sét đánh vào đỉnh cột hoặc vào dây chống sét ở gần cột chiếm phần chủ yếu của dòng điện i_s và có thể xác định gần đúng theo sơ đồ thay thế hình 5.9. Trong sơ đồ đó có nguồn dòng sét $i_s = at$ và nguồn áp aM_s^{cs} là sức điện động cảm ứng trong mạch vòng kín “dây chống sét đất” gây nên bởi từ trường dòng sét ($M_s^{cs} = 0,5 h_{CS}$).



Hình 5.9: Phân bố dòng sét khi đánh vào đỉnh cột

Trong phạm vi đầu sóng của dòng sét, theo sơ đồ thay thế xác định được dòng chạy qua cột từ hệ phương trình mạch vòng sau:

$$\left. \begin{aligned} i_c + 2i_{cs} &= i_s = at \\ aM_s^{cs} + \frac{L_{CS}}{2} \cdot \frac{2di_{CS}}{dt} + \frac{L_c^{cs}}{2} \cdot \frac{2di_{CS}}{dt} + \frac{R_x}{2} 2i_{CS} - i_c R_x - L_c^{DD} \frac{di_c}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.23)$$

Kết quả cho nghiệm gần đúng của $i_c(t)$ và $\frac{di_c(t)}{dt}$ như sau:

$$\left. \begin{aligned} i_c &= at \left(\frac{0,5L_{CS} - 0,5h_{CS}}{0,5L_{CS} + L_C^{cs}} \right) \frac{1 - e^{-at}}{at} \\ \frac{di_c}{dt} &= a \left(\frac{0,5L_{CS} - 0,5h_{CS}}{0,5L_{CS} + L_C^{cs}} \right) e^{-at} \end{aligned} \right\} \quad (5.24)$$

với $a = R_x / (0,5L_{CS} + L_C^{cs})$

Điện cảm của dây chống sét: $L_{CS} = \frac{Z_{CS}}{v} \cdot l$

Với l là chiều dài khoảng vượt.

e) Điện áp làm việc của dây dẫn

Ngoài bốn thành phần điện áp do sét gây ra đã kể trên, đối với cách điện của các đường dây điện áp cao còn phải kể đến thành phần điện áp làm việc do nguồn gây ra U_{lv} .

$$U_{lv} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}} \sin \omega t dt = \frac{2}{T} U_{p \max} = \frac{2}{\pi} \frac{U_{\max} \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cong 0,5 U_{\max} \quad (5.25)$$

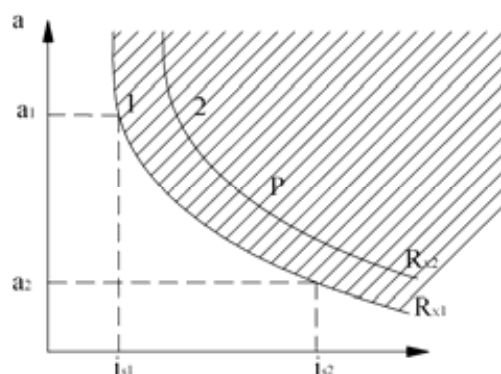
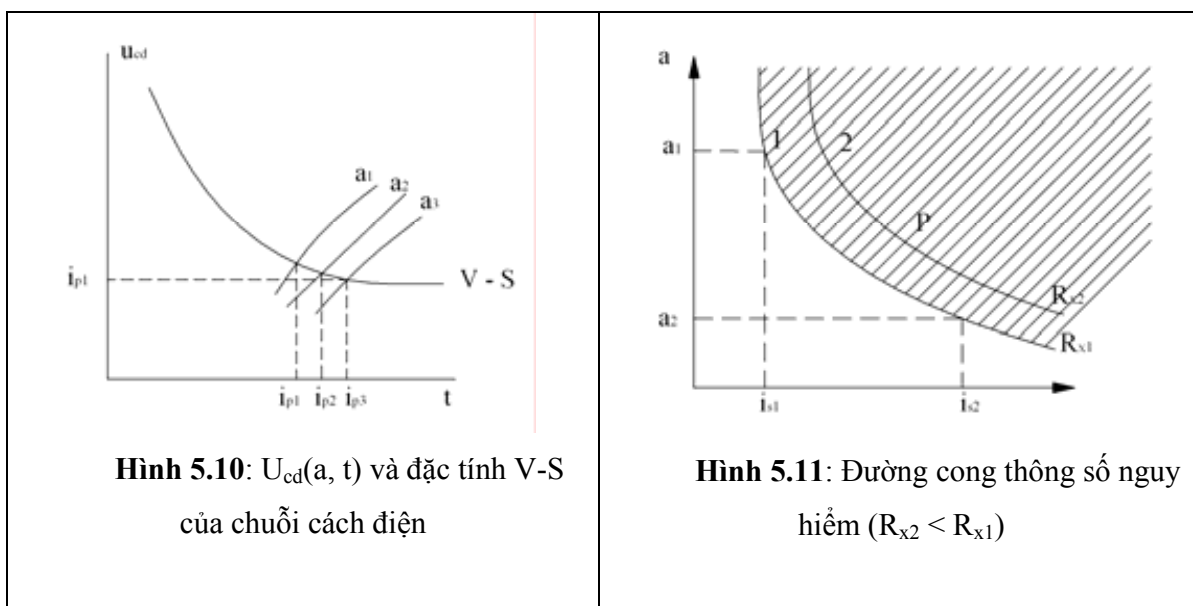
lấy U_{lv} bằng trị số trung bình trong nửa chu kỳ điện áp pha và ngược dấu với điện thế xung của cột đê có trường hợp nguy hiểm nhất (điện áp tác dụng lên chuỗi cách điện lớn nhất).

• Tổng của năm thành phần điện áp đã trình bày trên cho điện áp trên chuỗi cách điện:

$$\begin{aligned} U_{cd} &= U_c - U_{DD} = \\ &= i_c R_x + L' h_{DD} \frac{di_c}{dt} + 0,5 \bar{h}_{DD} a - a \left[-\bar{h}_{DD} \left(1 - k \frac{\bar{h}_{cs}}{\bar{h}_{DD}} \right) \right] - (-U_{lv}) - k \left(i_c R_x + L' h_{cs} \frac{di_c}{dt} + 0,5 h_{cs} a \right) \\ &= (1-h) R_x i_c + (L_c^{DD} - k L_c^{cs}) \frac{di_c}{dt} + 0,5 (h_{DD} - k h_{cs}) a + (1 - k \frac{\bar{h}_{cs}}{\bar{h}_{DD}}) \bar{h}_{DD} . a + 0,5 U_{dm} \quad (5.26) \end{aligned}$$

Biểu thức này chỉ đúng trong khoảng thời gian đầu sóng dòng sét, vì sau thời gian đầu sóng thì các thành phần điện áp cảm ứng giảm và do đó điện áp tác dụng trên cách điện sẽ giảm theo. Vì vậy, hiện nhiên phóng điện trên cách điện chỉ có thể xảy ra trong thời gian đầu sóng dòng sét.

Nếu vẽ quan hệ của điện áp trên cách điện theo t : $U_{cd}(t)$, ứng với các độ đầu sóng khác nhau của sóng sét a_1, a_2, \dots, a_i thì giao điểm của chúng với đường đặc tính von – giây của chuỗi cách điện sẽ cho thời gian phóng điện $t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pi}$ (H.5.10)



Trị số dòng sét có độ dốc a_i , vào lúc xảy ra phóng điện bằng:

$$I_{si} = a_i \cdot t_{pi}$$

I_{si} là trị số dòng sét có độ dốc a_i gây nên phóng điện trên cách điện đường dây.

Quan hệ giữa biên độ và độ dốc dòng sét gây nên phóng điện trên chuỗi cách điện $i_s = f(a)$, gọi là đường cong thông số nguy hiểm. Tất cả các lần sét đánh có độ dốc a và biên độ i_s , nằm trên đường cong thông số nguy hiểm và trong vùng P bên trên nó đều dẫn đến phóng điện trên chuỗi cách điện,

Đường cong thông số nguy hiểm phụ thuộc vào điện trở nối đất R_x của cột. R_x càng bé thì điện áp tác dụng lên cách điện đường dây U_{cd} càng thấp (chuỗi cách điện có khả năng chịu dòng sét có tham số càng cao), vùng nguy hiểm P càng hẹp.

Xác suất phóng điện trên chuỗi cách điện là xác suất xuất hiện dòng sét đồng thời có độ dốc và biên độ nằm trong vùng nguy hiểm P.

$$v_p = \iint_{(P)} f(i, a) di \cdot da \quad (5.27)$$

Với $f(i_s, a)$ là hàm mật độ xác suất xuất hiện dòng sét có biên độ i_s và độ dốc a .

Tích phân được thực hiện trong toàn vùng nguy hiểm P.

Cho đến nay tất cả các đo đạc thống kê về thông số dòng sét cho thấy giữa biên độ i_s và độ dốc a không có một quan hệ toán học chặt chẽ, do đó cho phép coi gần đúng chúng như những biến số độc lập và tính xác suất phóng điện trên chuỗi cách điện bằng tích của xác suất xuất hiện những biến số ngẫu nhiên độc lập đó:

$$v_p = \int\int_{(p)} f_1(i_s) f_2(a) di_s da = \int_0^\infty f_1(i_s) di_s \int_0^\infty f_2(a) da = \int_0^1 dv_i \int_0^1 dv_a = \int_0^1 v_i dv_a = \int_0^1 v_a dv_i \quad (5.28)$$

Với $f_1(i_s)$ và $f_2(a)$ tương ứng là hàm mật độ xác suất xuất hiện dòng điện sét có biên độ i_s và độ dốc a .

Từ đường cong thông số nguy hiểm có thể có xây dựng đường cong xác suất xuất hiện dòng sét có thông số nguy hiểm như sau: ứng với mỗi điểm k trên đường công thông số nguy hiểm, $k(a_k, i_{sk})$ tính xác suất:

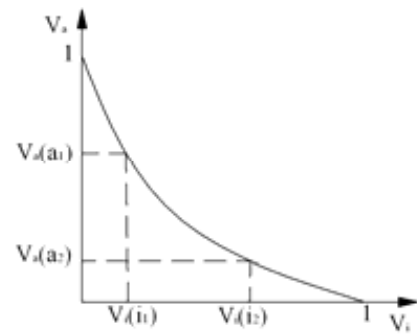
$$v_a = p\{a \geq a_k\} = e^{-a_k/15,7} = e^{-a_k/36}$$

$$v_a = p\{i_s \geq i_{sk}\} = e^{i_{sk}/26} = e^{i_{sk}/60}$$

sẽ xây dựng được đường cong xác suất: $v_a = f(v_i)$ (H.5.12)

Xác suất phóng điện của cách điện v_p , về trị số bằng diện tích giới hạn bởi đường cong $v_a(v_i)$ và hai trục tọa độ, tương ứng với tỉ lệ xích đã chọn.

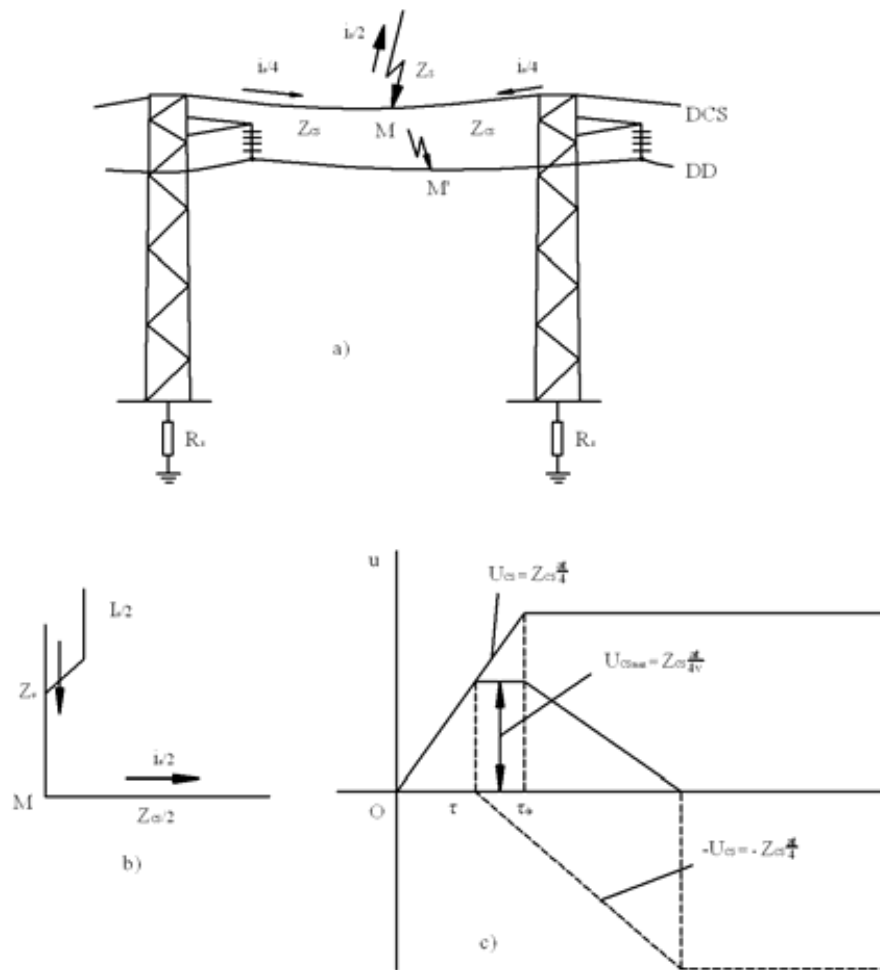
Sau khi đã xác định được xác suất phóng điện v_p thì quá trình tính toán suất cắt đường dây khi sét đánh vào đỉnh cột cũng tương tự như các trường hợp khác.



Hình 5.12: Đường cong xác suất $v_a = f(v_i)$

2. Sét đánh vào dây chống sét ở giữa khoảng vượt

a) Xét khả năng phóng điện trong khoảng cách không khí MM' (H5.13a)



Hình 5.13: Sét đánh vào DCS ở chính giữa khoảng vượt (a) và khả năng phóng điện trên khoảng cách không khí MM'

Khi sét đánh vào dây chống sét ở giữa khoảng vượt, điện áp tác dụng lên khoảng cách không khí S giữa dây chống sét và dây dẫn được xác định theo sơ đồ thay thế (H.5.13.b), trong đó chấp nhận giả thiết gần đúng là tổng trở sóng khe sét Z_s bằng nửa tổng trở sóng dây chống sét $Z_s = Z_{CS}/2$ và bỏ qua điện trở nối đất của dây chống sét vì $R_x \ll Z_{CS}$.

Đường cong biến thiên điện áp trên dây chống sét tại điểm M giữa khoảng vượt được trình bày trên hình 5.13c. KHI chưa có sóng phản xạ từ điện trở nối đất của các cột điện lân cận trở về ($t < \tau = l/v$) điện áp trên dây chống sét được tính gần đúng theo:

$$U_{cs}(t) = Z_{cs} \frac{i_s(i)}{4} = Z_{cs} \frac{at}{4} \quad (5.29)$$

Sau khoảng thời gian $\tau = l/v$ tại điểm M đồng thời xuất hiện sóng phản xạ âm toàn phần từ điện trở nối đất của hai cột điện lân cận trở về ($r_x \ll Z_{cs}$) và điện áp trên dây chống sét đạt đến trị số cực đại xác định theo:

$$U_{cs \max} = \frac{aZ_{cs} l}{4v} \quad (5.30)$$

Trị số điện áp cực đại này chỉ phụ thuộc độ dốc dòng sét và không đổi khi $t \leq \tau_{ds}$ sau đó giảm dần đến 0 khi $t > \tau_{ds}$

Dưới tác dụng của sóng truyền trên dây chống sét, trên dây dẫn sẽ xuất hiện điện áp cảm ứng $U_{DD} = -k_d U_{cs}$ và điện áp tác dụng lên khoảng cách không khí S giữa dây chống sét và dây dẫn được tính gần đúng theo:

$$U_{MM'} = U_{cs} - U_{DD} = (1 - k_d)Z_{cs} \frac{al}{4v} \quad (5.31)$$

Trong (5.31) bỏ qua các thành phần điện áp cảm ứng và điện áp làm việc, vì chúng nhỏ hơn nhiều so với điện áp do sét đánh trực tiếp.

Điều kiện để xảy ra phóng điện trên khoảng cách không khí S là:

$$U_{MM'} = (1 - k_d)Z_{cs} \frac{al}{4v} \geq U_{0,5}^{(k)} = E_x^{(k)} \cdot S \quad (5.32)$$

với $E_x^{(k)}$ là cường độ điện trường phóng điện xung của không khí (trong khoảng thời gian đầu sóng) có thể tính gần đúng bằng 700kV/m.

Giả thiết lấy gần đúng $Z_{cs} = 400\Omega$, $k_d = 0,3$ thì có thể xác định được độ dốc đầu sóng dòng sét nguy hiểm tức là điều kiện phóng điện theo:

$$a \geq a_{nh} \approx \frac{E_x^{(k)} 4.v.S}{(1 - k_d)Z_{cs} l} = \frac{700 \times 4 \times 300}{(1 - 0,3).400} \cdot \frac{S}{l} = 3000 \frac{S}{l} \quad (5.33)$$

Từ đó suy ra xác suất phóng điện: $v_p = v_{a_{nh}} = e^{-a_{nh}/15,7} = 10^{-a_{nh}/36}$ (xác suất phóng điện v_p trong cách tính gần đúng này cũng chính là xác suất xuất hiện dòng sét có độ dốc bằng và lớn hơn độ dốc nguy hiểm $v_{a_{nh}}$).

Thực tế khả năng cắt điện do phóng điện khoảng cách không khí giữa dây chống sét và dây dẫn ở giữa khoảng vượt rất ít xảy ra, vì khoảng cách này khá lớn, có $U_{0,5}$ cao và xác suất hình thành hồ quang ổn định rất bé.

Ví dụ: đường dây 220kV có $S = 8$ m, gradient điện áp làm việc trung bình:

$$\bar{E}_{lv} = \frac{220}{\sqrt{3.8}} = 16kV/m \Rightarrow \eta = 1,5(\bar{E}_{lv} - 4) \cdot 10^{-2} \cong 0,2$$

Nếu tính với chiều cao cột $h_c = 25m$ góc bảo vệ $\alpha = 20^\circ$ ($v_\alpha = 0,0013$), chiều dài khoảng vượt $l = 350m$ thì suất cắt đường dây qua vùng sét hoạt động mạnh với $n = 100$ ngày, $m = 0,1$ lần/km²/ngày được tính như sau:

$$a_{nh} = 3000 \frac{S}{l} = 3000 \frac{8}{350} = 68,6kA/\mu s \Rightarrow v_p = 10^{-\frac{68,6}{36}} = 0,0125$$

Suất cắt điện đường dây do sét đánh vào DCS ở chính giữa khoảng vượt và gây phóng điện trên khoảng cách không khí S bằng:

$$\begin{aligned} n_c^{kv} &= (1 - v_\alpha) \left(1 - \frac{4h_c}{l}\right) 0,6h_c \cdot n \cdot m \cdot v_p \cdot \eta \\ &= (1 - 0,0013) \left(1 - \frac{4,25}{350}\right) \times 0,6 \times 25 \times 100 \times 0,1 \times 0,0125 \times 0,2 = 0,267 \end{aligned}$$

b) Khả năng phóng điện tại chuỗi sứ

Khi sét đánh vào đường dây chống sét ở giữa khoảng vượt, còn phải xét khả năng phóng điện trên chuỗi sứ khi sóng truyền đến cột điện. Điện áp tác dụng lên chuỗi sứ gồm các thành phần chủ yếu sau:

- Điện áp giáng trên điện trở nối đất của cột điện.

Dòng sét chạy về mỗi phía của dây chống sét bằng $i_s(t)/4$, tại điện trở nối đất của cột do $R_x \ll Z_{CS}$, coi như sóng (dòng) phản xạ dương toàn phần, do đó: $U_R = i_s(t) \cdot R_x/2$

- Điện áp cảm ứng từ, chủ yếu là thành phần điện áp tạo nên bởi dòng điện sét chạy qua

điện cảm của thân cột: $U_{cu}^t = \frac{1}{2} L_c^{cs} \frac{di_s}{dt}$, còn điện áp cảm ứng gây nên bởi dòng điện

trong khe sét ($M_s^{cs} \cdot \frac{di_s}{dt}$) thực tế không đáng kể vì khe sét ở cách xa cột.

Cũng với lý do như vậy, có thể bỏ qua thành phần điện áp cảm ứng điện.

- Điện áp ngẫu hợp trên dây dẫn:

$$U_{DD} = -k_d U_{cs} = -k_d \left(\frac{i_s(t) \cdot R_x}{2} + \frac{1}{2} L_c^{cs} \cdot \frac{di_s}{dt} \right)$$

- Điện áp làm việc, cần tính toán đến đối với đường dây các cấp điện áp cao từ 220kV trở lên.

Tóm lại, điện áp tác dụng lên chuỗi sứ trong trường hợp này bằng:

$$U_{cd} = U_c - U_{DD} = \left(\frac{i_s(t)}{2} R_x + \frac{1}{2} L_c^{cs} \frac{di_s}{dt} \right) (1 - k_d) + U_{1v} \quad (5.34)$$

Với dòng sét $i_s = at$ tính và vẽ các đường cong $u_{cd}(t)$ với các độ dốc khác nhau. So sánh với đặc tính von – giây của chuỗi sứ xác định được thời điểm xảy ra phóng điện t_{pi} tương ứng với độ dốc α_i , từ đó xác định được trị số dòng sét lúc phóng điện $i_{si} = \alpha_i t_{pi}$. Từ đó xây dựng được đường cong thông số nguy hiểm $i_s = f(\alpha)$, đường cong xác suất phóng điện $v_i = f(v_\alpha)$. Cuối cùng xác định được xác suất phóng điện v_p (tương tự như đã tính trong trường hợp sét đánh đỉnh cột).

Thực tế, cũng như kết quả tính toán cho thấy suất cắt điện đường dây trong trường hợp này cũng rất bé, nói chung chỉ cần chú ý đến khi điện trở tản xung của nối đất cột điện lớn.

3- Suất cắt tổng của đường dây có dây chống sét

Tổng hợp suất cắt của cả ba trường hợp sét đánh vào đường dây có dây chống sét đã trình bày ở trên ta có:

$$n_c = 0,6 \bar{h}_{cs} . n.m. \left\{ v_\alpha . \eta_1 . v_{p1} + (1 - v_\alpha) \left[\frac{4h_c}{l} v_{p2} \eta_1 + \left(1 - \frac{4h_c}{l} \right) (v_{p3} \eta_2 + v_{p4} \eta_1) \right] \right\} \quad (5.35)$$

đối với đường dây có một dây chống sét.

Trong đó: \bar{h}_{cs} - độ treo cao trung bình của dây chống sét

H_c - độ cao cột; l - chiều dài khoảng vượt

v_α - xác suất sét đánh vòng vào dây dẫn

v_{p1} - xác suất phóng điện trên chuỗi sứ khi sét đánh vòng vào dây dẫn.

v_{p2} - xác suất phóng điện trên chuỗi sứ khi sét đánh vòng vào đỉnh cột

v_{p3} - xác suất phóng điện khoảng cách không khí giữa dây chống sét và dây dẫn khi sét đánh vào dây chống sét ở giữa khoảng vượt

v_{p4} - xác suất phóng điện trên chuỗi sứ khi sét đánh vào dây chống sét ở giữa khoảng vượt

η_1 - xác suất hình thành hồ quang ổn định khi phóng điện trên chuỗi sứ.

η_2 - xác suất hình thành hồ quang ổn định khi phóng điện trên khoảng cách không khí giữa khoảng vượt

* Chỉ tiêu chống sét của đường dây: $M = 1/n_c$: khoảng thời gian trung bình giữa hai lần cắt điện đường dây liên tiếp do sét đánh gây nên trong một năm trên 100km đường dây.

CHƯƠNG 6

THIẾT BỊ CHỐNG SÉT (TBCS)

6.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Trạm phân phối ngoài trời, nhà máy điện, hoặc các thiết bị đặt tập trung, có thể được bảo vệ chống sét đánh trực tiếp một cách khá an toàn bằng các cột thu sét (chương 3). Nhưng việc truyền tải công suất từ các nhà máy và các trạm phân phối đến các phụ tải ở xa, chủ yếu là bằng các đường dây trên không, cho nên vẫn tồn tại khả năng sóng quá điện áp khí quyển, xuất hiện trên các đường dây truyền vào trạm hay nhà máy và tác dụng lên các thiết bị đặt trong đó. Mà cách điện trong của các thiết bị điện có độ bền xung nhỏ hơn độ bền điện xung của cách điện đường dây, cho nên sóng quá điện áp khí quyển truyền theo đường dây vào có khả năng gây phóng điện xuyên thủng cách điện trong của các thiết bị điện. Do đó, cần phải có những TBCS đặt ở những vị trí thích hợp - thiết bị chống sét - đặt ở những vị trí hợp lý để giảm sóng quá điện áp truyền từ đường dây vào trạm hoặc nhà máy điện xuống dưới trị số nguy hiểm cho cách điện của thiết bị đặt trong đó.

Để có thể làm được nhiệm vụ trên, thiết bị chống sét phải thoả mãn yêu cầu sau:

1. Do đặc tính von-giây của cách điện của MBA điện áp cao, thiết bị quan trọng nhất và đắt tiền nhất của trạm, tương đối bằng phẳng nên đặc tính V-S của thiết bị chống sét cũng phải tương đối bằng phẳng và nằm toàn bộ dưới đặc tính V-S của TBĐ được bảo vệ, với độ dự trữ khoảng $15 \div 25\%$. Nhưng mặt khác, điện áp phóng điện chống sét cũng không được nhỏ quá dẫn đến tác động nhầm khi có quá điện áp nội bộ (yêu cầu này đối với chống sét van có khe hở và điện trở làm việc bằng vilit).

2. Thiết bị chống sét phải có khả năng tự dập tắt nhanh chóng hồ quang của dòng điện tần số công nghiệp kèm theo, trước khi role bảo vệ dòng tác động. Khi có quá điện áp khí quyển, thì thiết bị chống sét làm việc tản dòng điện sét xuống đất, như vậy chạy qua hồ quang đồng thời với dòng điện sét là dòng điện tần số công nghiệp, tạo nên ngắn mạch chạm đất một pha. Nếu quá điện áp chấm dứt mà hồ quang không bị dập tắt kịp thời có nghĩa là kéo dài tình trạng chạm đất thì bảo vệ role sẽ làm việc và cắt điện đường dây. (Yêu cầu này cũng đặt ra đối với loại chống sét van có khe hở).

3. Thiết bị chống sét phải có điện áp dư thấp hơn mức cách điện xung của TBĐ được bảo vệ. Khi thiết bị chống sét làm việc, dòng điện sét đi qua điện trở làm việc và điện

trở nổi đất của nó, gây nên trên đó một điện áp giáng, được gọi là điện áp dư của thiết bị chống sét. Chính điện áp dư này sẽ tác dụng lên cách điện của thiết bị điện được bảo vệ. Do đó để không xảy ra phóng điện xuyên thủng cách điện của thiết bị, điện áp dư của thiết bị chống sét phải thấp hơn mức điện xung của thiết bị điện với một độ dự trữ khoảng 20÷30%. (Yêu cầu này được đặt ra đối với mọi loại chống sét van).

4. Thiết bị chống sét phải làm việc ổn định trong mọi điều kiện thời tiết tức là điện áp phóng điện của chúng không được quá tản mạn, gây khó khăn cho sự phối hợp cách điện. (Yêu cầu này cho loại chống sét van có khe hở)

Theo cấu tạo và nguyên lý làm việc, từ đơn giản đến phức tạp, có thể chia ra bốn loại thiết bị chống sét như sau:

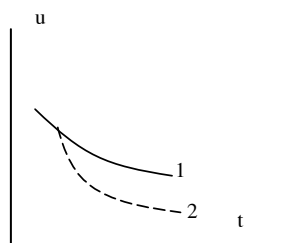
- Khe hở bảo vệ
- Thiết bị chống sét kiểu ống
- Thiết bị chống sét kiểu van có khe hở và không có khe hở.

6.2. KHE HỖ BẢO VỆ

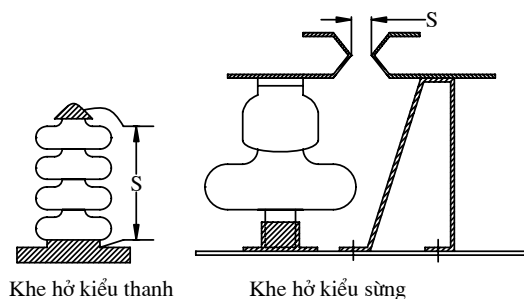
Khe hở không khí giữa các điện cực dạng thanh, sừng, hình xuyên, hình cầu... là loại thiết bị chống sét đơn giản nhất. Nó được đấu song song với thiết bị cần bảo vệ: một cực nối với dây dẫn hoặc đầu vào thiết bị, còn cực kia nối đất. (H.6.2)

Khe hở bảo vệ có ưu điểm là cấu tạo đơn giản và rẻ tiền, nhưng không đáp ứng được phần lớn các yêu cầu kỹ thuật do các nhược điểm sau:

1. Trước hết, do điện trường giữa các điện cực không đồng nhất, đặc tính V-S của khe hở bảo vệ rất dốc trong phạm vi thời gian bé. Trong khi đặc tính V-S của cách điện trong của TBĐ thường tương đối bằng phẳng. Như vậy khi sóng quá điện áp ps khí quyển truyền vào trạm có biên độ và độ dốc lớn có khả năng gây phóng điện xuyên thủng cách điện của thiết bị điện được bảo vệ trong giai đoạn đầu sóng (H.6.1)



Hình 6.1: Đặc tính V-S của cách điện được bảo vệ (1) và của khe hở (2)



Hình 6.2: a) Khe hở kiểu thanh
b) Khe hở kiểu sừng.

2. Khe hở bảo vệ không có khả năng tự dập tắt hồ quang của lưới có dòng điện ngắn mạch vừa và lớn do vậy dễ dẫn đến cắt điện đường dây, không đảm bảo liên tục trong cung cấp điện.

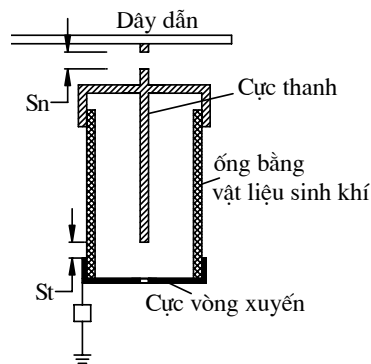
Ngoài ra sự thay đổi điều kiện khí tượng có ảnh hưởng đến trị số điện áp phóng điện của khe hở bảo vệ, có nghĩa là điện áp phóng điện của nó tản mạn, đặc tính bảo vệ không ổn định.

Do những nhược điểm cơ bản kể trên, khe hở phóng điện không được dùng để bảo vệ cách điện trong của các thiết bị trong trạm, mà chỉ dùng để bảo vệ cách điện đường dây, cách điện ngoài của thiết bị, ở những nơi có cách điện yếu trong hệ thống có dòng ngắn mạch chạm đất bé (hệ thống có trung tính cách điện hoặc là trung tính nối đất qua cuộn dập hồ quang) hoặc khi phối hợp với các thiết bị tự đóng lại để bảo đảm cung cấp điện liên tục.

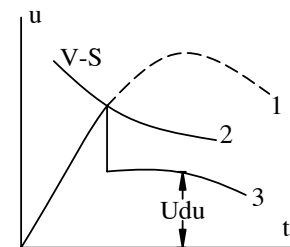
6.3 THIẾT BỊ CHỐNG SÉT KIỂU ỚNG

1. Cấu tạo

Sơ đồ nguyên lý cấu tạo và lắp đặt của chống sét ống được trình bày ở hình 6.3.



Hình 6.3: Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của chống sét ống



Điện áp dư trên chống sét ống

Hình 6.4: Điện áp dư trên chống sét ống

Chống sét ống được cấu tạo gồm một khe hở phóng điện (s_i) được gọi là khe hở trong, đặt trong một ống cách điện. Đầu trên của ống được bịt kín bởi nắp kim loại giữ điện cực thanh, cách dây dẫn một khoảng không khí S_n , gọi là khe hở ngoài. Đầu dưới của ống được gắn với điện cực hình xuyên để hở và được nối đất.

Ống cách điện được làm bằng vật liệu rắn hữu cơ như phirobakelit hoặc bằng chất dẻo vinylplast là những chất sinh khí mạnh khi tiếp xúc với hồ quang.

2. Nguyên lý làm việc

Khi biên độ của sóng quá điện áp khí quyển truyền đến chỗ đặt chống sét ống vượt quá trị số điện áp phóng điện của khe hở ngoài và khe hở trong ($S_t + S_n$) thì các khe hở này bị phóng điện và dẫn dòng điện sét vào trong đất. Khi quá điện áp chấm dứt, hồ quang duy trì bởi dòng điện tần số công nghiệp kèm theo làm cho chất sinh khí bị nung nóng, sản sinh ra một lượng khí lớn làm cho quá áp suất trong ống tăng cao, hồ quang bị thổi phụt về phía đầu hở của ống và bị dập tắt khi dòng điện kèm theo đi qua trị số không.

Khi chống sét ống làm việc, dòng điện sét được dẫn qua bộ phận nối đất của nó và gây nên trên đó một điện áp giáng, đó chính là điện áp dư của chống sét ống, nó tác dụng lên cách điện của thiết bị được bảo vệ, do đó chống sét ống phải được nối đất tốt.

Khoảng cách khe hở trong (S_t) được chọn theo điều kiện dập tắt hồ quang (vì vậy còn gọi là khe hở dập hồ quang) và không điều chỉnh được. Còn khoảng cách của khe hở ngoài (S_n) được chọn theo điều kiện bảo vệ cách điện, nghĩa là đặc tính V-S của khe hở ngoài phải nằm hoàn toàn dưới đặc tính V-S của cách điện được bảo vệ, có tính đến khả năng là khi có quá điện áp nội bộ thì chống sét ống không được tác động. Ngoài ra, khe hở ngoài còn có tác dụng là cách ly chống sét ống với điện áp làm việc để tránh sự hình thành dòng điện rò tác dụng thường xuyên lên cách điện của chống sét ống. Khe hở ngoài có thể điều chỉnh trong một phạm vi nhất định.

Chống sét ống chỉ làm việc trong một phạm vi nhất định của dòng điện kèm theo (tức trị số của dòng điện ngắn mạch chạm đất đi qua chỗ đặt chống sét ống). Nếu dòng điện vào chống sét ống quá nhỏ, lượng khí sinh ra ít, áp suất trong ống không đủ lớn để thổi tắt hồ quang, làm kéo dài tình trạng ngắn mạch chạm đất. Ngược lại, dòng quá cao thì lượng khí sinh ra quá nhiều, gây ra áp suất tăng cao có thể làm nổ chống sét ống.

Giới hạn trên và dưới của dòng điện kèm theo phụ thuộc vào cấu tạo của chống sét ống: đường kính trong của ống bằng vật liệu sinh khí, chiều dài của khoảng cách trong (S_t) và độ bền cơ của chống sét ống. Giảm chiều dài của khoảng cách trong, tăng đường kính của ống cách điện ống được chế tạo cho những phạm vi khác nhau của dòng điện kèm theo. Điều quan trọng là phải đảm bảo dòng điện ngắn mạch chạm đất tại nơi đặt chống sét ống nằm trong phạm vi giữa hai giới hạn trên và dưới của dòng điện cắt cho phép đối với loại chống sét ống được chọn.

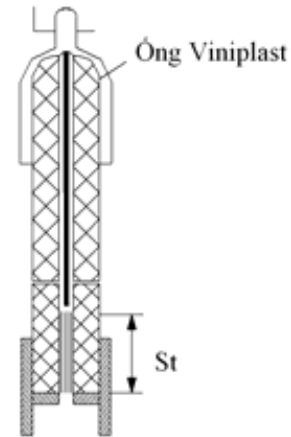
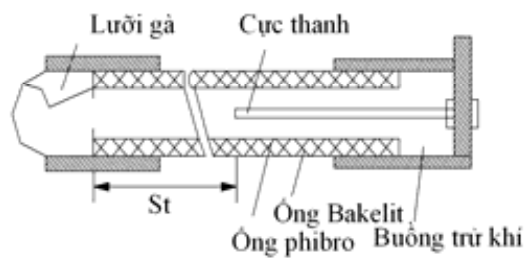
Khi chống sét ống làm việc nhiều lần, chất sinh khí bị tiêu hao dần, đường kính ống tăng lên làm thay đổi giới hạn của dòng điện cắt. Do đó, khi đường kính ống tăng quá 20 đến 25% so với ban đầu thì phải thay chống sét ống khác.

Khi làm việc, chống sét ống thải ra chất khí bị ion hoá, do đó khi lắp chống sét ống trên cột phải chú ý sao cho khí thoát ra không gây nên phóng điện giữa các pha hoặc phóng điện đến các bộ phận nối đất. Muốn thế, trong phạm vi thoát khí của chống sét ống đặt ở các pha khác. Chống sét ống có đặt tính vôn-giây tương tự như của khe hở, nghĩa là rất dốc trong phạm vi thời gian bé. Do nhược điểm đó cũng như do khó bảo đảm giới hạn dòng điện cắt, nên chống sét ống không được dùng làm thiết bị bảo vệ chính cho trạm. Tuy nhiên, do cấu tạo tương đối đơn giản và rẻ tiền, chống sét ống được dùng như là biện pháp hỗ trợ trong bảo vệ trạm (đặt trong các khoảng vượt tới trạm để hạn chế dòng điện sét qua chống sét van), hoặc để bảo vệ cho những trạm công suất bé, ít quan trọng và bảo vệ những nơi cách điện yếu của đường dây tải điện (như những nơi bắt buộc phải đặt dây chống sét và nối đất dây chống sét tại các cột điện trên đường dây cột gỗ...)

Nhược điểm của chống sét ống là phải tuân thủ nghiêm ngặt các giới hạn của dòng điện cắt. Như vậy một mặt phải chế tạo nhiều chống sét ống cho các giới hạn dòng cắt khác nhau, điều này làm phức tạp cho việc chế tạo; mặt khác cần phải kiểm tra định kỳ đường kính trong của ống vật liệu sinh khí, gây phức tạp cho việc chế tạo và vận hành.

Để bổ khuyết điểm trên, người ta đã nghiên cứu chế tạo loại chống sét ống không có giới hạn của dòng cắt. Nguyên lý cấu tạo của loại chống sét ống này như sau: đặt khí vào khe hở trong của chống sét ống, giữa các điện cực một ống đệm bằng cùng loại vật liệu sinh khí như vách của chống sét ống. Dòng sét do thời gian duy trì ngắn sẽ đi qua dễ dàng trong toàn bộ khe hở giữa ống đệm và vách chống sét ống, trong khi đó sự sinh khí mãnh liệt trong thể tích rất bé này làm cản trở sự đi qua dòng điện kèm theo. Như vậy, sự hao mòn của ống vật liệu sinh khí giảm rất nhiều, và chống sét ống có thể được đặt bất kỳ ở điểm nào cần thiết của lưới, không phụ thuộc vào trị số của dòng điện ngăn mạch.

Loại chống sét ống phibrô-bakêlit dùng vật liệu sinh khí là phibrô. Để tăng cường độ bền cơ, bên ngoài ống phibrô được quấn giấy tẩm bakêlit và ở mặt ngoài được quét sơn chống ẩm. Đặt điểm của loại chống sét phibrô-bakêlit là ở đầu bịt kín của ống có buồng trữ khí (H.6.5).



Hình 6.5: chống sét ống loại phibrrô-bakêlit **Hình 6.6:** Chống sét ống loại viniplast

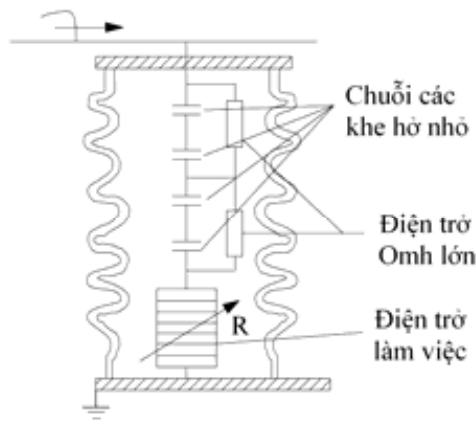
Trong thời gian có dòng điện đi qua, áp suất khí trong buồng tăng cao, khi dòng điện kèm theo qua trị số không, cường độ sinh khí giảm, khí từ buồng sinh khí sẽ phụt ra với tốc độ cao làm cho hồ quang bị cắt đứt và dập tắt dễ dàng. Đầu hở của ống còn có một lưới gà bằng lá kim loại, khi dập hồ quang luồng khí đồng thời làm bật lưới gà ra, báo hiệu chống sét ống đã làm việc.

Loại chống sét ống viniplast dùng vật liệu sinh khí nhựa viniplast-chlorvinil, có khả năng sinh khí tốt hơn, độ bền cơ cao hơn và không hút ẩm, do đó có cấu tạo đơn giản hơn (H.6.6) không cần lớp giấy tẩm bakêlit, không cần quét sơn chống ẩm và cũng không cần buồng trừ khí. Việc tăng áp suất khí được thực hiện ngay tại khe hở giữa điện cực thanh và vách trong của ống.

Loại chống sét ống phibrrô-bakêlit có khả năng dập hồ quang dòng điện kèm theo lớn nhất là 10kA, loại chống sét ống viniplast có thể cắt được dòng điện đến 15kA. Với việc tăng cường độ bền cơ của ống viniplast bằng cách quấn vải thủy tinh tẩm nhựa epoxy chịu được tác dụng của điều kiện khí quyển, người ta đã chế tạo được loại chống sét ống viniplast tăng cường có giới hạn của dòng điện cắt đến 30kA

6. 4. THIẾT BỊ CHỐNG SÉT VAN (CSV)

6.4.1. Nguyên lý cấu tạo và nguyên lý làm việc của CSV



Hình 6.7: nguyên lý cấu tạo CSV

Việc bảo vệ chống quá điện áp trong lưới điện cao áp được thực hiện bởi một tổ hợp nhiều biện pháp, một trong các biện pháp đó là đặt chống sét van tại trạm để hạn chế biên độ của quá điện áp, bảo vệ các thiết bị điện trong trạm chống sóng quá điện áp truyền theo đường dây tải điện vào trạm.

Phần chính của chống sét van gồm một chuỗi nhiều khe hở nhỏ nối tiếp nhau và ghép nối tiếp với một chồng nhiều đĩa điện trở không đường thẳng, còn gọi là điện trở làm việc.

Tất cả đặt kín trong một ống vỏ sứ bảo vệ.

Khi sóng quá điện áp truyền đến chỗ đặt chống sét van có biên độ vượt quá trị số điện áp xuyên thủng xung của chuỗi khe hở, tại đây xảy ra phóng điện và dòng điện xung chạy qua điện trở không đường thẳng R, qua bộ phận nối đất tản vào đất. Dòng điện xung gây nên trên điện trở không đường thẳng một điện áp giáng gọi là điện áp dư trên chống sét van. Chính điện áp dư này tác động lên cách điện của TBĐ được bảo vệ nên trị số của nó phải nhỏ hơn mức cách điện xung của thiết bị với một độ dự trữ nhất định (20% đến 30%) để chú ý đến sự gia tăng điện áp do khoảng cách truyền sóng giữa nơi đặt chống sét van và nơi đặt thiết bị được bảo vệ.

Khi dòng điện xung đã kết thúc tức là khi quá điện áp chấm dứt thì chạy qua chống sét van là dòng điện kèm theo gây nên bởi điện áp làm việc tần số công nghiệp, bản thân là dòng điện ngắn mạch chạm đất một pha. Hồ quang của dòng điện này phải được dập tắt khi nó đi qua trị số không lần đầu tiên. Điện trở không đường thẳng, lúc này có giá trị tăng rất cao do điện áp tác dụng lên CSV đã giảm nhỏ, nhờ đó giảm dòng điện kèm theo đến giới hạn mà khe hở có thể dập tắt hồ quang dễ dàng. Mặt khác khe hở được tạo nên bởi nhiều khe hở nhỏ nối tiếp nhau, nhờ đó hồ quang của dòng điện kèm theo bị chia thành nhiều đoạn ngắn tiếp xúc với nhiều điện cực, nguội nhanh nên khi dòng điện kèm theo qua trị số 0, tại các điện cực khe hở nhỏ quá trình

khử ion được thuận lợi làm cho khả năng cách điện của khe hở được phục hồi nhanh chóng, tạo điều kiện dễ dàng cho việc dập tắt hồ quang.

6.4.2 Các đặt tính cơ bản của CSV và phương hướng cải tiến

Trị số lớn nhất của điện áp tần số công nghiệp mà tại đó dòng điện kèm theo bị cắt đứt một cách an toàn, được gọi là điện áp dập tắt U_t và dòng điện kèm theo tương ứng được gọi là dòng điện dập tắt Dòng điện I_t .

Sự dập tắt hồ quang của dòng điện kèm theo có thể xảy ra trong điều kiện ngắn mạch chạm đất một pha, bởi vì trong thời gian cùng một cơn dông có thể xảy ra phóng điện trên cách điện của một pha và gây tác động CSV ở hai pha khác. Như vậy, điện áp dập tắt U_t phải bằng điện áp trên pha không sự cố khi có chạm đất một pha.

$$U_t = KU_{dm} \quad (6.1)$$

Trong đó: K - hệ số phụ thuộc phương thức làm việc của điểm trung tính của lưới (K = 0,8 đối với lưới chống sét ống trung tính nối đất trực tiếp và K = 1,1 đối với lưới có trung tính cách điện)

U_{dm} – điện áp định mức dây.

Tác dụng dập tắt hồ quang của chuỗi khe hở của CSV được đặt trưng bởi hệ số tắt K_t và tác dụng bảo vệ của điện trở không đường thẳng bởi hệ số bảo vệ K_{bv} như sau:

$$K_t = \frac{U_{pd}}{U_t} \quad (6.2)$$

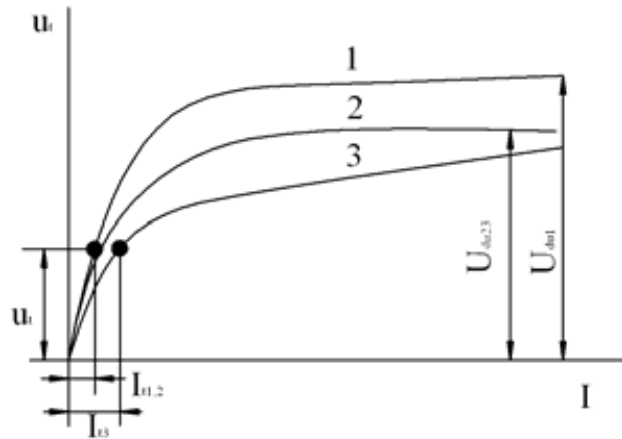
$$K_{bv} = \frac{U_{du}}{\sqrt{2}U_t} \quad (6.3)$$

với U_{pd} – là điện áp phóng điện xuyên thủng chuỗi khe hở ở tần số công nghiệp.

Để cải thiện tác dụng bảo vệ chống sét phải giảm hệ số bảo vệ K_{bv} , điều này có thể đạt được theo hai cách sau (H.6.8):

Cách 1: Tạo được đặt tính von – ampe bằng phẳng hơn (đường 2) bằng cách tính không đường thẳng của điện trở làm việc của CSV.

Cách 2: Nâng cao được dòng dập tắt I_t bằng cách cải thiện tính chất dập hồ quang của các khe hở, nhờ đó hạ thấp đặt tính V-A trên toàn bộ phạm vi dòng điện (đường 3).



Hình 6.8: Đặc tính của CSV và các biện pháp giảm U_{dtr}

CSV có một khả năng cho qua dòng điện nhất định, tức là trị số giới hạn của dòng mà CSV có thể cho chạy nhiều lần mà không làm thay đổi tính chất điện của nó. Khả năng cho qua dòng của CSV phụ thuộc vào tính chịu nhiệt của điện trở không đường thẳng. Trước đây khả năng cho qua dòng kèm nên CSV không được làm việc khi có QĐANB, tức là điện áp xuyên thủng phải cao hơn trị số cố QĐANB có thể xảy ra và CSV chỉ được dùng để hạn chế QĐAKQ. Nghiên cứu chế tạo điện trở không đường thẳng có đặc tính V-A rất dốc và có khả năng cho qua dòng đủ cao cũng như nghiên cứu áp dụng những nguyên tắc mới dập tắt hồ quang của dòng điện kèm theo, hiện nay đã chế tạo được những loại CSV vừa có tác dụng hạn chế QĐAKQ vừa có tác dụng hạn chế QĐANB có thời gian duy trì lâu hơn. Điều đó mở ra một triển vọng tiếp tục giảm thấp mức cách điện của trang thiết bị điện và nâng cao chỉ tiêu kinh tế của chúng.

6.4.3 Khe hở phóng điện

Sự làm việc của CSV bắt đầu bằng sự phóng điện xuyên thủng và kết thúc bằng sự dập tắt hồ quang của dòng điện kèm theo tại ngay các khe hở. Mỗi giai đoạn làm việc có những yêu cầu riêng đối với khe hở.

Giai đoạn phóng điện đòi hỏi khe hở phải có đặt tính Volt-giây tương đối bằng phẳng, có nghĩa là điện áp xuyên thủng U_{xt} ít biến thiên trong một khoảng thời gian rộng - từ micro - giây đến mili - giây - và ít tản mạn. Ngoài ra U_{xt} không được thay đổi sau nhiều lần cho qua dòng xung và dòng kèm theo định mức, cũng như khi có dao động nhiệt độ, hoặc chịu những tác dụng cơ như xóc lắc va đập và rung động. Khe hở phóng điện phải dập tắt hồ quang của dòng điện kèm theo khi qua trị số không lần đầu tiên.

Để thỏa mãn các yêu cầu này trong loại CSV đầu tiên dùng một chuỗi nhiều khe hở nối tiếp nhau. Do ảnh hưởng của điện dung ký sinh của chúng đối với đất làm cho

điện áp xung phân bố trên các khe hở không đều nhau, rất lớn ở về phía cực cao áp, điều đó dẫn đến sự phóng điện dây chuyền (tức là lần lượt kế tiếp nhau từ đầu cao áp trở đi) của toàn bộ các khe hở nhỏ ở một trị số điện áp bé hơn tổng điện áp phóng điện xung của từng khe hở nhỏ riêng rẽ. Ở điện áp làm việc tần số công nghiệp lớn nhất cho phép mỗi khe hở chịu tác dụng của một lượng điện áp từ $1,0 \div 1,7$ kV (trị số hiệu dụng).

Trong giai đoạn dập tắt hồ quang, khi dòng điện kèm theo qua trị số không, quá trình ion hoá trong các khe hở bị đình chỉ, quá trình khử ion được tăng cường. Nếu khả năng cách điện của khe hở được phục hồi nhanh hơn là tốc độ phục hồi điện áp làm việc thì hồ quang sẽ không bị cháy lại. Chính là nhờ cá điện trở tác dụng lớn nối song song với từng nhóm khe hở tạo điều kiện cho sự phục hồi điện áp đều đặn trên các khe hở, loại trừ khả năng hồ quang cháy lại.

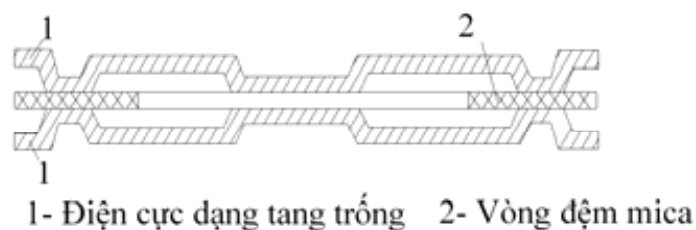
Các loại CSV thông dụng hiện nay có khe hở với các nguyên tắc dập hồ quang khác nhau như sau:

- * Với hồ quang của dòng điện kèm theo đứng yên ngay tại chỗ khe hở bị phóng điện xuyên thủng cho đến khi bị dập tắt (tương ứng loại PBC của Nga)

- * Với hồ quang chạy quanh trong một khe hở hình xuyên giữa các điện cực dưới tác dụng của từ trường, như loại PBM ($3 \div 35$ kV), PBMT ($110 \div 500$ kV) của Nga.

- * Với hồ quang được kéo dài chuyển dịch giữa các điện cực dưới tác dụng của từ trường, chiều dài của hồ quang tăng lên đáng kể (đến hàng trăm lần) như loại PBT và PBPE của Nga.

a) Khe hở nhỏ có hồ quang đứng yên được tạo nên giữa hai điện cực đối diện (H.6.9) dạng tang trống 1 bằng đồng thau, ngăn cách nhau bởi một vòng đệm hình xuyên 2 bằng mica (hoặc cacton điện) có bề dày $\delta = 0,5 \div 0,6$ mm.



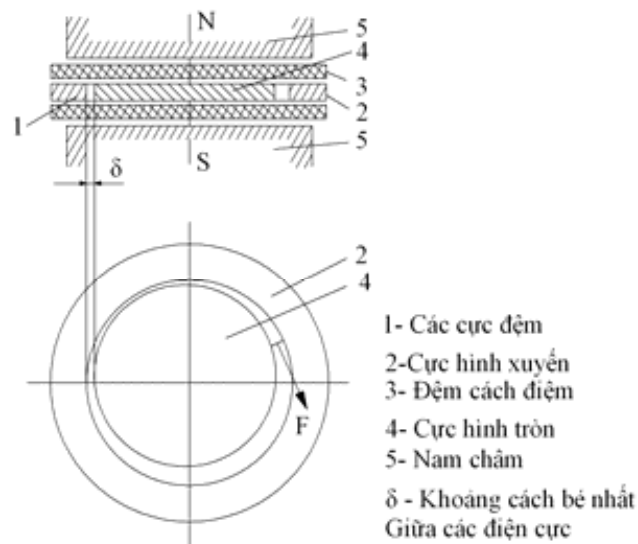
Hình 6.9: Khe hở nhỏ có hồ quang đứng yên khi xảy ra phóng điện xuyên thủng

Với dạng điện cực như vậy, điện trường trong khe hở nhỏ tương đối đồng nhất; mặt khác lớp khí mỏng tồn tại giữa vòng đệm mica và các điện cực chịu một cường độ điện trường cao hơn nhiều so với cường độ trường trên vòng đệm mica (do hệ số điện môi của không khí nhỏ hơn nhiều so với mica), nên quá trình ion hoá lớp khí sớm, cung

cấp điện tử cho khe hở khí đảm bảo cho sự phóng điện của khe hở với thời gian chậm trễ thống kê bé với hệ số xung gần bằng đơn vị.

Như vậy, ưu điểm của loại khe hở này là cấu tạo tương đối đơn giản và trường trong khi vực phóng điện đồng nhất. Nhược điểm của nó là sự dập tắt hồ quang trong khe hở cơ sở vào sự phục hồi tự nhiên độ bền điện giữa các điện cực, do đó giới hạn của dòng điện kèm theo được dập tắt đảm bảo tương đối bé, chỉ vào khoảng $I_t = 80 \div 100A$. Trong khi đó thì nếu tăng được dòng điện dập tắt sẽ cho phép giảm bớt trị số của điện trở không đường thẳng (giảm bớt số đĩa điện trở), cải thiện được đặc tính bảo vệ của CSV (giảm được $U_{đtr}$) và mở ra khả năng giảm được mức cách điện xung của trang thiết bị điện.

b) Khe hở nhỏ có hồ quang di chuyển đã cho phép nâng cao được giới hạn của dòng điện dập tắt đảm bảo lên đến 250A (được ứng dụng chế tạo các loại CSV xêri PBMГ và PBM của Nga). Nguyên lý cấu tạo của loại khe hở này cho trong hình 6.10.



Hình 6.10: khe hở với hồ quang quay

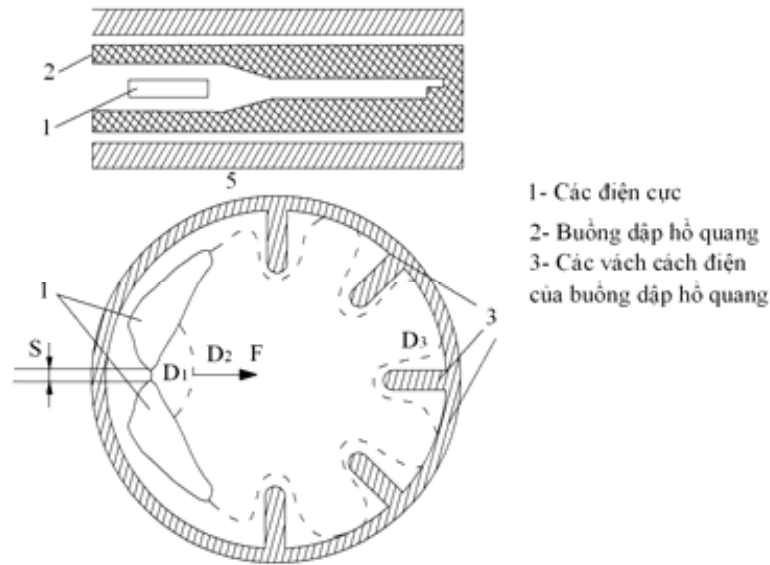
Một điện cực đĩa tròn 4 và một điện cực hình xuyên lệch tâm 2 tạo nên một khe hở không đồng đều nơi hẹp nhất bằng δ , toàn bộ nằm trong từ trường của một nam châm vĩnh cửu 5.

Khi khe hở phóng điện dưới tác dụng của lực F tạo ra bởi từ trường, hồ quang bị đẩy chạy tròn trong khe hở với tốc độ cao và bị làm nguội mãnh liệt, nhờ đó khi dòng điện kèm theo qua trị số không đều tiên thì hồ quang bị dập tắt dễ dàng và khe hở được phục hồi bền điện nhanh hơn nhiều so với loại khe hở có hồ quang tĩnh đã nêu trên.

Nhờ dập tắt được dòng điện kèm theo cao hơn nên cho phép giảm số đĩa điện trở không đường thẳng, do đó giảm được $U_{đtr}$ trên CSV và cải thiện rõ rệt hệ số bảo vệ của CSV (6.3).

Đối với CSV xêri PBC (khe hở với hồ quang tĩnh) $K_{bv} = 2,5 \div 2,7$ còn đối với CSV xêri PBMΓ (khe hở với hồ quang quay) $K_{bv} = 2$ có nghĩa là ở cùng một điện áp dập tắt U_t , điện áp dư của loại CSV sau giảm từ 20 ÷ 26%.

c) Khe hở với hồ quang bị kéo dài



Hình 6.11: Khe hở với hồ quang bị kéo dài

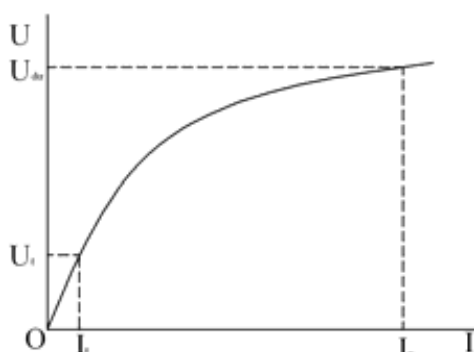
Một bước tiếp theo giảm nhỏ hệ số bảo vệ còn $K_{bv} = 1,7$ đã đạt được nhờ áp dụng loại khe hở phóng điện hạn chế dòng với hồ quang của dòng điện kèm theo bị kéo dài và nhờ tác dụng của từ trường dẫn nó vào trong những rãnh hẹp và bị khử ion mãnh liệt. Nguyên lý làm việc của loại khe hở được trình bày ở hình 6.11.

Hai điện cực 1 nằm giữa các vách của một buồng dập hồ quang 2 và trong từ trường của một nam châm vĩnh cửu (hoặc của một cuộn cảm). Khi khe hở S giữa hai điện cực bị phóng điện xuyên thủng, lực F của từ trường tác dụng lên hồ quang làm cho nó di chuyển và bị kéo dài dần ra từ vị trí D_1 cho đến vị trí cuối cùng D_3 len lỏi giữa những tấm vách cách điện 3 của buồng dập hồ quang, bị nguội đi và bị khử ion mãnh liệt tại đó. Lúc này điện trở của khe hở quang tăng lên, điện áp giáng ΔU trên khe hở phóng điện trở nên đủ cao. Trong điều kiện đó điện trở không đường thẳng phải hạn chế dòng điện kèm theo đến trị số I_t khi điện áp bằng $U_t - \Delta U$.

Dòng điện kèm theo cùng pha với điện áp làm việc của CSV. Vì vậy sau khi dòng điện kèm theo bị cắt khi qua trị số không thì điện áp trên khe hở cũng từ trị số không phục hồi dần theo dạng hình sin tần số công nghiệp và như vậy chậm hơn rất nhiều so với sự phục hồi độ bền điện của khe hở. Ở đây cần nhắc lại vai trò quan trọng trong quá trình dập hồ quang của dòng điện kèm theo là sự phục hồi điện áp đều đặn trên tất cả các khe hở nhỏ nối tiếp nhau. Để đạt được sự phân bố điện áp đều đặn này là nhờ các điện trở cao nối tất các nhóm khe hở như đã trình bày ở hình 6.7.

6.4.4 Điện trở không đường thẳng

Như đã nêu ở trên, chức năng của chổi đĩa điện trở nối tiếp với chuỗi khe hở là, một mặt trị số điện trở rất bé, khi qua nó là dòng xung lớn nhất cho phép để sao cho điện áp dư của CSV không vượt qua mức cho phép đối với cách điện của thiết bị được bảo vệ, mặt khác khi QĐA đã kết thúc, qua nó là dòng điện kèm theo thì nó phải có một trị số điện trở rất lớn để hạn chế dòng điện kèm theo đến trị số đủ bé để khe hở có thể dập tắt được hồ quang. Như vậy điện trở này phải có đặc tính von-ampe không đường thẳng (H.6.12). Ngoài ra nó phải có khả năng cho qua nhiều lần dòng điện xung và dòng điện kèm theo, tức là phải có khả năng chịu nhiệt đủ cao.



Hình 6.12: Đặc tính Von- ampe của điện trở làm việc của CSV

Để tạo được điện trở không đường thẳng thường dùng các vật liệu bán dẫn rắn có điện dẫn tăng rất nhanh khi tăng điện áp tác dụng. Trước đây chưa lâu, vật liệu được sử dụng vào mục đích này là cacbua silic SiC (cacborundum). Hạt SiC có điện trở suất khoảng $10^{-2} \Omega\text{m}$ và ổn định. Khi được đun nóng trên bề mặt hạt SiC phủ một lớp oxid silic SiO₂, dày khoảng 10^{-5}cm , có điện trở suất phụ thuộc không đường thẳng vào cường độ điện trường. Khi điện áp tác dụng bé, cường độ điện trường thấp thì điện trở suất của màng mỏng SiO₂ vào khoảng $10^4 \div 10^6 \Omega\text{m}$ và thực tế toàn bộ điện áp đặt lên màng mỏng đóm nhưng khi cường độ điện trường tăng cao, tức khi chịu tác dụng của

QĐA thì điện dẫn của màng mỏng tăng rất mạnh và trị số của điện trở làm việc được xác chỉ bởi điện trở bản thân hạt SiC.

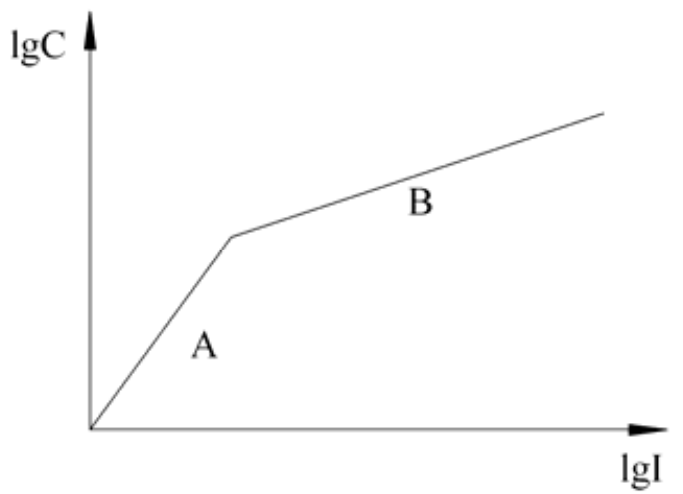
Để chế tạo đĩa vilit (dùng cho PBC) người ta trộn hạt SiC với chất kết dính là thủy tinh lỏng rồi nén lại thành đĩa và nung đến nhiệt độ lớn 300°C. Tính chịu nhiệt của vilit kém, nên khi dòng điện lớn đi qua trong một thời gian dài thì lớp màng mỏng SiO₂ có thể bị phá hủy. Do đó cần quy định giới hạn lớn nhất cho phép cũng như thời gian duy trì dòng điện. Ví dụ đối với đĩa vilit đường kính 100mm, nếu dòng xung dạng sóng 20/40μS đi qua thì giới hạn cho phép là 10kA, còn đối với dòng điện tần số công nghiệp với thời gian duy trì là nửa chu kỳ thì giới hạn cho phép không qua 100A. Điều đó chứng tỏ CSV có điện trở làm việc bằng chất vilit (PBC) không thể làm việc đối với phần lớn các loại quá điện áp nội bộ, mà thời gian duy trì của nó có thể kéo dài trong nhiều chu kỳ tần số công nghiệp. Một bước cải thiện điện trở làm việc là chế tạo đĩa tecvit (dùng trong CSV các loại PBMΓ và PNM) bằng cách trộn hạt SiC với chất kết dính là hỗn hợp thủy tinh lỏng và oxid nhôm (AL₂O₃) và nung nóng lên đến trên 1000⁰C. Ở nhiệt độ cao này một phần của các mang mỏng SiO₂ bị bốc hơi, điều đó làm xấu đi ít nhiều tính không đường thẳng của vật liệu, nhưng lại nâng cao rất nhiều khả năng cho qua dòng điện, ví dụ đĩa tecvit đường kính 70mm có thể cho qua dòng điện tần số công nghiệp lên đến 750A trong 2mS. Do đó CSV với đĩa tecvit có thể dùng vừa để bảo vệ chống QĐAKQ vừa để hạn chế QĐANB. Đặt tính V-A của một đĩa vilit hay tecvit có thể biểu diễn một cách gần đúng theo quan hệ.

$$U = C I^\alpha \quad (6.4)$$

$$\text{hoặc dạng lôgarait:} \quad \lg U = \lg C + \alpha \lg I \quad (6.5)$$

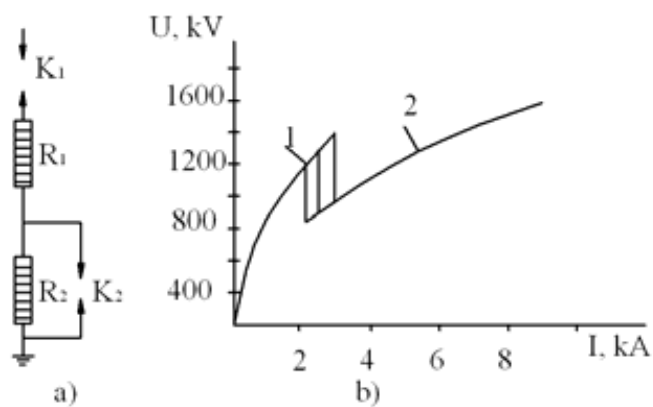
với :C- hằng số, tùy thuộc tính chất cấu vật liệu và kích thước của đĩa điện trở có trị số bằng điện áp giáng trên điện trở khi dòng qua nó bằng 1A

α - hệ số không đường thẳng của vật liệu, có giá trị khác nhau trong các phạm vi dòng điện bé và lớn. Hình 6.13 trình bày đặc tính V-A trong hệ tọa độ lôgarit: trong đó đoạn A tương ứng với phạm vi dòng điện bé - dòng điện kèm theo và phần lớn dòng của QĐA thao tác. Hệ số α của đoạn này đối với vilit bằng 0,28÷0,3, đối với tecvit bằng 0,35÷0,38. Đoạn B tương ứng với dòng lớn qua CSV do QĐAKQ. Hệ số α của đoạn này đối với vilit bằng 0,1÷0,2 còn đối với tecvit bằng 0,15÷0,25.



Hình 6.13: Đặc tính V-A của điện trở không đường thẳng gốc SiC

Như đã thấy tecvit có thể bảo vệ chống QĐANB khi dòng qua CSV có thể đến 1,5 kA thì khi QĐAKQ nếu dòng xung qua CSV đến 10kA thì điện áp dư qua cao, do hệ số không đường thẳng lớn, CSV khó có thể đảm bảo bảo vệ được cách điện. Để khắc phục nhược điểm này người ta thay đổi cấu trúc mạch của CSV như sau (H.6.14)



Hình 6.14: Sơ đồ mạch phức hợp (a) và đặc tính V-A của loại CSV phức hợp ứng (b) cấp $U = 500\text{kV}$

Điện trở không đường thẳng được chia thành hai nhóm R_1 và R_2 .

Khe hở K_1 đấu nối tiếp với R_1 .

Khe hở K_2 đấu song song với R_2

Điện áp phóng điện của CSV được quyết định bởi K_1 . Khi có QĐANB, K_1 làm việc dòng qua CSV thường ít khi vượt qua 2000A, cả R_1 và R_2 tham gia hạn chế dòng nên điện áp dư trên CSV được giữ trong giới hạn cho phép. Điện áp phóng điện xuyên thủng của khe hở K_2 được chọn cao hơn điện áp dư trên R_2 do đó K_2 không phóng điện dưới tác dụng của QĐANB.

Nhưng khi có QĐAKQ, dòng qua CSV cao, điện áp giáng trên nhóm điện trở R_2 vượt quá điện áp phóng điện xung của khe hở K_2 làm cho khe hở này phóng điện và nối tắt R_2 . điện áp dư trên CSV do đó được yêu cầu bảo vệ cách điện (đường 2 H.6.14).

Cấu trúc phức tạp này được áp dụng cho loại CSV xeri PBMK (của Nga) thường dùng trong lưới siêu cao áp, nơi CSV cần có khả năng cho qua dòng cao.

6.5 THIẾT BỊ HẠN CHẾ QĐA HAY CSV KHÔNG CÓ KHE HỖ

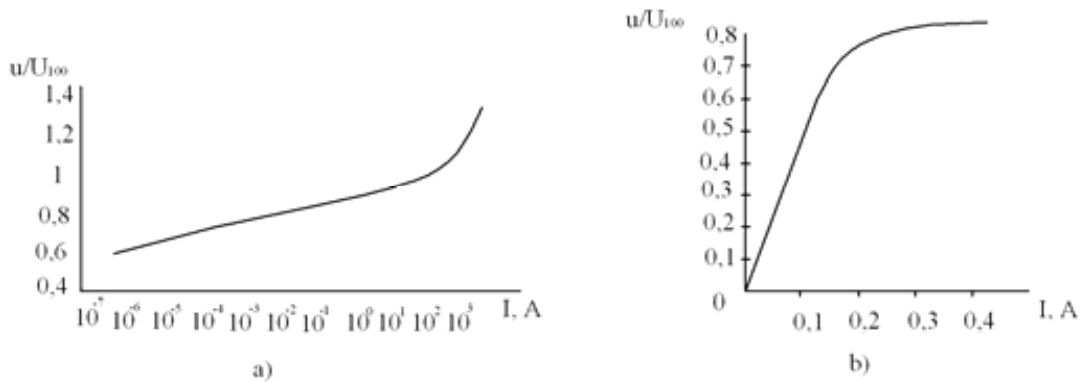
Sự nâng cao điện áp định mức của lưới chuyển tải và sự cần thiết phải giảm mức cách điện của trong thiết bị điện đòi hỏi phải có biện pháp hạn chế QĐA nhiều hơn nữa. Trong khi đó, cho đến nay với việc dùng các thiết bị CSV có điện trở không đường thẳng trên cơ sở cacbu silic, do nhược điểm của tính không đường thẳng của vật liệu, không thể giảm mức QĐA xuống thấp hơn $2U_p$. Muốn giảm thấp hơn nữa cần phải giảm điện trở không đường thẳng, điều này dẫn đến sự tăng đáng kể dòng điện kèm theo, vượt qua khả năng dập tắt hồ quang của khe hở phóng điện. Với vật liệu cacbua silic thì không thể bỏ khe hở phóng điện được, vì dưới tác dụng trực tiếp của điện áp làm việc pha, dòng tần số công nghiệp qua điện trở không đường thẳng qua lớn, một mặt gây tổn thất điện năng lớn, mặt khác chóng phá huỷ điện trở. Mà dùng khe hở, thì như đã biết, có nhiều khó khăn gắn liền với sự cần thiết phải giảm dòng điện kèm theo đến trị số mà khe hở có thể dập được hồ quang một cách chắc chắn, cũng như phải cấu tạo khe hở sao cho đặt tính von-giây của nó bằng phẳng.

Kết quả của hàng loạt công trình nghiên cứu của các nhà khoa học vật liệu vào cuối thập kỷ 70 và đầu thập kỷ 80 đã thay thế vật liệu bán dẫn gốc cacbua silic bằng vật liệu bán dẫn gốc oxid kim loại, chủ yếu là oxid kẽm ZnO, vừa có đặc tính von-ampe rất dốc trong phạm vi dòng bé và tương đối bằng phẳng trong một phạm vi biến đổi rộng của dòng điện lớn, vừa có khả năng cho qua dòng đủ cao. Với việc sử dụng ZnO làm điện trở không đường thẳng đã có thể cho phép loại bỏ khe hở phóng điện, làm cho cấu tạo thiết bị trở nên đơn gian, gọn nhẹ hơn; và quan trọng hơn cả là thiết bị vừa có thể

dùng để bảo vệ chống QĐAKQ vừa có thể dùng để hạn chế QĐANB, do đó nó được gọi là thiết bị hạn chế QĐA.

Ví dụ, ở Liên Xô cũ, đã chế tạo điện trở không đường thẳng gốc ZnO dưới dạng đĩa đường kính 28 mm, dày 8 mm (rất gọn, nhỏ so với đĩa vilit và tecvit) đặc tính von-ampe của nó cho ở hình 6.15, trong đó điện áp dư trên điện trở khi dòng qua nó bằng 100A.

Hệ số không đường thẳng của điện trở làm bằng ZnO rất bé, $\alpha = 0,015 \div 0,04$ bao trùm một phạm vi dòng điện rất rộng từ $10^{-6} \div 10^2$ A (H.6.15a).



Hình 6.15: Đặc tính V-A của điện trở không đường thẳng ZnO ở dòng một chiều và xung (a) và ở dòng xoay chiều tần số 50Hz (b)

Dòng điện điện trở vượt quá 500A sẽ làm tăng hệ số không đường thẳng lên rất nhiều ($\alpha \geq 0,1$) tức làm xấu đặc tính bảo vệ của điện trở, là điều không mong muốn. Sự phụ thuộc của α và CSV (xem công thức (6.4)) vào dòng qua điện trở không đường thẳng cho trong bảng 6.1.

Bảng 6.1: Trị số trung bình của các tham số CSV và α của điện trở ZnO

i, A	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	100	500	1500
U/U100	0,7	0,74	0,78	0,82	0,85	0,91	1	1,1	13
α	0,02				0,03	0,04	0,06	0,1	
C/U100	0,86					0,9	0,93	0,26	

Đặc tính Vật liệu-A của điện trở ZnO (H.6.15) cho phép trực tiếp thiết bị hạn chế QĐA vào dây dẫn mà không qua khe hở phóng điện. Tuy nhiên do không có khe hở nên thường xuyên chạy qua điện trở không đường thẳng dòng điện tần số công nghiệp ở điện áp làm việc, nếu trị số dòng điện tần số công nghiệp ở điện áp làm việc, nếu trị số dòng này vượt qua một giới hạn nào đó thì sẽ làm cho điện trở quá nóng có thể dẫn đến hư hỏng. Chính đây là nhược điểm của loại thiết bị hạn chế quá điện áp và việc nghiên cứu nâng cao khả năng chống già cỗi của loại vật liệu bán dẫn vẫn đang còn là vấn đề thời sự.

Dòng chạy qua thiết bị hạn chế QĐA ở chế độ bình thường gồm có thành phần điện dung và thành phần tác dụng, khi điện áp chưa vượt quá $0,7U_{100}$ thì thành phần dòng điện dung trội hơn (H.6.15b) không làm nóng điện trở. Lúc này tương ứng với gradient điện áp 1kV/cm . Khi gradient điện áp tăng nhanh làm tăng điện dẫn không đường thẳng và thành phần dòng tác dụng, do đó điện trở ZnO bị nóng lên đáng kể. Trị số tới hạn của gradient điện áp làm việc $1,0\text{ kV/cm}$ tương ứng với trị số dòng lớn nhất cho phép qua điện trở không đường thẳng khoảng 1mA , chủ yếu là dòng điện dẫn.

Khả năng cho qua dòng của thiết bị hạn chế QĐA phụ thuộc vào biên độ và thời gian duy trì dòng qua nó. Với xung dòng ngắn $8/20\mu\text{S}$, đặt trung cho QĐAKQ, thì điện trở không bị phá hủy ngay cả khi dòng xung tác dụng có biên độ đến $1000\div 1500\text{A}$

Nhưng khi dòng xung có độ dài sóng lớn hơn, đặc trưng cho tác dụng của QĐA thao tác thì điện trở bị nung nóng lên nhiều. Biên độ của dòng xung dạng này có thể dẫn đến hư hỏng điện trở, giảm xuống rõ rệt vào khoảng $80\div 120\text{A}$.

Thiết bị hạn chế QĐA có khả năng hạn chế QĐA thao tác ngắn hạn đến mức $1,8U_p$ và hạn chế QĐAKQ đến mức $(2\div 2,4)U_p$. Để cải thiện hơn nữa đặt tính bảo vệ của thiết bị hạn chế QĐA, tức là giảm mức QĐA thao tác xuống thấp hơn $(1,7\div 1,8)U_p$ có thể áp dụng các biện pháp sau:

- Làm mát cưỡng bức điện trở không đường thẳng
- Dùng khe hở phóng điện để nối tắt một phần của điện trở không đường thẳng khi QĐA vượt quá mức QĐA thao tác. Trong trường hợp này trong chế độ làm việc lâu dài và khi có QĐA thao tác, dòng được xác định bởi toàn bộ các đĩa

điện trở không đường thẳng, còn mức hạn chế QĐA tức là điện áp dư được xác định chỉ bởi phần các điện trở không bị nối tắt.

- Đầu thiết bị hạn chế QĐA các pha thành hình sao và giữa điểm trung tính của hình sao và đất lắp một khe hở phóng điện. Trong trường hợp này, dòng đi qua các điện trở không đường thẳng không chứa những sóng hài tần số cao, nhờ đó giảm được biên độ của thành phần dòng điện tác dụng trên 30%, cải thiện được điều kiện làm việc và nâng cao thời gian phục vụ của điện trở không đường thẳng.

Tóm lại, với việc sử dụng thiết bị hạn chế QĐA cho phép giảm mức cách điện của trang thiết bị điện, giảm được giá thành xây dựng lưới điện.

Chương 7

BẢO VỆ CHỐNG SÉT TRUYỀN VÀO TRẠM PHÂN PHỐI ĐIỆN

7.1 KHAI NIỆM CHUNG

Phóng điện ở cách điện trong trạm trong nhiều trường hợp dẫn đến sự cố trầm trọng trong hệ thống, nó có thể phá hủy nhiều thiết bị đắt tiền, gây ngắn mạch trên thanh góp ngay cả khi có hệ thống role bảo vệ hiện đại. Vì vậy, yêu cầu đối với việc bảo vệ chống sét cho trạm cao hơn nhiều so với đường dây.

Trạm phải được bảo vệ với độ an toàn rất cao, chống sét đánh thẳng bằng hệ thống thu sét (cột hoặc dây thu sét) như đã trình bày trong chương 3. Ngoài ra trạm còn phải được bảo vệ chống sóng quá điện áp do sét gây ra trên đường dây truyền vào trạm. Mức độ bảo vệ ở đây được tăng cường bằng những biện pháp đặc biệt so với bảo vệ chống sét cho đường dây. Tuy nhiên, chủ yếu vì lý do kinh tế không thể loại trừ hoàn toàn khả năng xảy ra sự cố ở trạm do sóng truyền theo đường dây vào, mà chỉ có thể hạn chế tới mức hợp lý kinh tế và kỹ thuật. Mức độ an toàn chịu sét của trạm được đặc trưng bởi chỉ tiêu chống sét của trạm – nó được định nghĩa bằng số năm trung bình vận hành an toàn, không xuất hiện quá điện áp nguy hiểm đối với cách điện trạm, với phương tiện bảo vệ ngày càng hoàn thiện, chỉ tiêu chống sét của trạm có thể đến hàng trăm năm. Để có một ý niệm đầy đủ về con số đó, ta nên nhớ rằng trong những hệ thống điện phát triển, số trạm phân phối, số nhà máy điện có thể đến hàng trăm, số máy biến áp (MBA) lên đến hàng ngàn, khả năng hư hỏng MBA và thiết bị trong toàn hệ thống do sét gây nên do đó có những trị số đáng kể.

7.2 BIỆN PHÁP VÀ YÊU CẦU ĐỐI VỚI BẢO VỆ CHỐNG SÉT TRUYỀN VÀO TRẠM

Như đã trình bày trong chương cách điện của trạm, (chương 11 - kỹ thuật điện cao áp 1) theo yêu cầu của phối hợp cách điện, 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 sóng quá điện áp khí quyển truyền theo đường dây vào có thể gây nguy hiểm cho cách điện của trạm, vì biên độ của chúng thường lớn hơn mức cách điện xung của trạm. Ví dụ, cách điện trong của MBA 110kV có điện áp thử nghiệm xung khoảng 460kV, trong khi đó trị số điện áp phóng điện xung bé nhất của chuỗi sứ đường dây 110kV cột thép tới 650kV tức là 40% cao hơn, nếu đường dây 110kV dùng cột xà gỗ thì mức cách điện xung của đường dây trên 1800kV tức là cao hơn nhiều lần so với mức cách điện xung của trạm.

Biện pháp chủ yếu để bảo vệ trạm chống sóng quá điện áp khí quyển truyền từ đường dây vào là dùng các thiết bị chống sét van hoặc thiết bị hạn chế quá điện áp đầu và thanh góp của trạm hoặc đầu trực tiếp ngay đầu vào của MBA công suất, phối hợp với tăng cường bảo vệ chống sét đánh trực tiếp cho đoạn đường dây trước khi đến trạm.

Nguyên lý bảo vệ như sau: Muốn cho chống sét van bảo vệ được một thiết bị nào đó thì đặc tính von-giây của nó, kể cả phạm vi tản mạn phải nằm toàn bộ dưới đặc tính von-giây của thiết bị được bảo vệ và điện áp dư trên chống sét van hoặc trên thiết bị hạn chế quá điện áp phải nhỏ hơn điện áp thử nghiệm xung của cách điện trong của thiết bị được bảo vệ.

Nhưng điện áp tác dụng lên cách điện của thiết bị được bảo vệ còn phụ thuộc vào vị trí đặt chống sét van và điện áp dư trên chống sét van lại phụ thuộc vào dòng điện xung qua nó. Do đó, việc bảo vệ bằng chống sét van chỉ an toàn khi thực hiện được hai điều kiện sau:

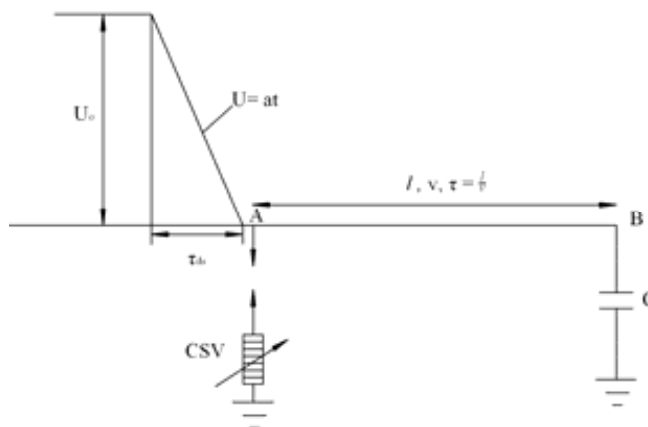
- Khoảng cách giữa chống sét van và thiết bị được bảo vệ phải nằm trong giới hạn cho phép và muốn mở rộng phạm vi bảo vệ của chống sét van phải có biện pháp giảm nhỏ độ dốc của sóng truyền vào trạm.
- Trị số dòng điện xung chạy qua chống sét van không được vượt trị số định mức tức dòng điện phối hợp (từ 5÷14kA tùy cấp điện áp và tùy loại chống sét van) của nó.

7.2.1 Ảnh hưởng của khoảng cách giữa chống sét van và thiết bị được bảo vệ đến điện áp tác dụng lên cách điện

Nếu chống sét van đặt trực tiếp tại đầu vào của thiết bị được bảo vệ thì điện áp tác dụng lên cách điện cũng bằng điện áp dư trên chống sét van. Do đặc tính von-giây của cách điện của thiết bị được bảo vệ nằm trên đặc tính von-giây của chống sét van nên cách điện được bảo vệ an toàn. Nhưng tại trạm 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 thiết bị cần bảo vệ có một khoảng cách nào đó, do đó cách điện còn chịu tác dụng một lượng điện áp gia tăng ΔU .

Quan hệ giữa ΔU với các thông số của sơ đồ trạm và của sóng được khảo sát qua một ví dụ đơn giản (H.7.1): sơ đồ bảo vệ một trạm cắt (để có trường hợp nguy hiểm nhất), trong đó khoảng cách giữa chống sét van và thiết bị cần bảo vệ (MBA) bằng l .



Hình 7.1: Sơ đồ bảo vệ một trạm cắt

Giả thiết sóng tới có dạng xiên góc $U = at$ với thời gian đầu sóng bằng τ_{ds} và độ dốc đầu

sóng $\alpha = \frac{U_0}{\tau_{ds}}$ ($U_0 = U_{50\%}$ của cách điện đường dây trong đoạn gần trạm).

Chọn gốc thời gian khi sóng đến chống sét van (điểm A) lần đầu tiên. Trong thực tế thường $\tau_{ds} > 2\tau = \frac{2l}{v}$ (τ là thời gian sóng phản xạ từ B và đến A) nên khi chống sét van làm việc thì điện áp phóng điện U_p của chống sét van sẽ bằng tổng sóng tới và sóng phản xạ và được biểu thị bởi biểu thức sau:

$$U_p = \alpha t_p + a(t_p - 2\tau) = 2at_p - 2a\tau \quad (7.1)$$

Từ (7.1) suy ra được thời gian từ lúc sóng tới đến vị trí chống sét van cho đến khi chống sét van làm việc bằng:

$$t_p = \frac{U_p + 2a\tau}{2a} \quad (7.2)$$

Bởi vì tại thời điểm t_p chống sét van làm việc cắt sóng tới ở trị số bằng at_p cho nên từ phía sau chống sét van sóng có biên độ at_p . Vì là trạm cắt cho nên khi truyền đến MBA, sóng

quá điện áp sẽ tăng lên gấp đôi (do phản xạ dương toàn phần), như vậy điện áp lớn nhất tác dụng lên cách điện của MBA sẽ bằng:

$$U_{cd\max} = 2at_p = U_p + 2a \frac{l}{v} \approx U_{du} + \Delta U \quad (7.3)$$

Từ (7.3) thấy rõ là điện áp tác dụng trên cách điện của MBA (U_{cd}) lớn hơn điện áp làm việc của chống sét van (U_p) một lượng bằng $\Delta U = 2a \frac{l}{v}$. ($U_p = U_{du}$) do đặc tính von-giây của CSV tương đối bằng phẳng).

Khoảng cách l và độ dốc đầu sóng a càng lớn thì lượng điện áp gia tăng ΔU càng cao, điện áp tác dụng lên cách điện được bảo vệ càng lớn. Nhưng trong mọi trường hợp, để bảo vệ an toàn, điện áp xung lớn nhất tác dụng lên cách điện của thiết bị được bảo vệ không được vượt quá trị số điện áp thử nghiệm xung của nó $U_{cd} \leq U_{mx}$. Áp dụng vào (7.3) sẽ suy ra được khoảng cách lớn nhất cho phép giữa chống sét van và thiết bị được bảo vệ:

$$U_p + 2a \frac{l}{v} \leq U_{mx} \text{ hay } l_{cp} \leq \frac{(U_{mx} + U_p)v}{2a} \quad (7.4)$$

với U_{mx} là điện áp thử nghiệm xung của cách điện của thiết bị được bảo vệ.

Từ (7.4) thấy rõ rằng, trị số của khoảng cách lớn nhất cho phép l_{cp} tỉ lệ nghịch với độ dốc của sóng tới: muốn tăng phạm vi bảo vệ cho phép l_{cp} của chống sét van cần phải giảm độ dốc của sóng truyền vào trạm. Để thực hiện được điều này thì cần phải có biện pháp hạn chế sự xuất hiện trên dây dẫn của đường dây ở gần trạm quá điện áp với biên độ và độ dốc lớn. Cụ thể là:

- Đối với đường dây được bảo vệ chống sét sét đánh thẳng bằng dây chống sét trên toàn tuyến thì trong khoảng cách từ 1÷3 km (tùy cấp điện áp) trước khi đến trạm., phải giảm nhỏ góc bảo vệ a để hạn chế khả năng sét đánh trực tiếp vào dây dẫn và giảm điện trở nối đất của cột điện để giảm xác suất xuất hiện phóng điện ngược trên cách điện đường dây, do sét đánh vào cột hoặc dây chống sét.

- Đối với đường dây không có dây chống sét trên toàn tuyến thì trong khoảng cách từ 1÷3 km trước khi tới trạm, phải đặt dây chống sét bảo vệ chống sét đánh thẳng vào đường dây một cách an toàn, đồng thời thực hiện nối đất cột điện tốt để tránh phóng điện ngược từ dây chống sét đến dây dẫn khi sét đánh vào cột hoặc dây chống sét. Như vậy sóng quá điện áp trong phần lớn các trường hợp chỉ có thể truyền từ đường dây vào trạm sau khi đã chạy qua

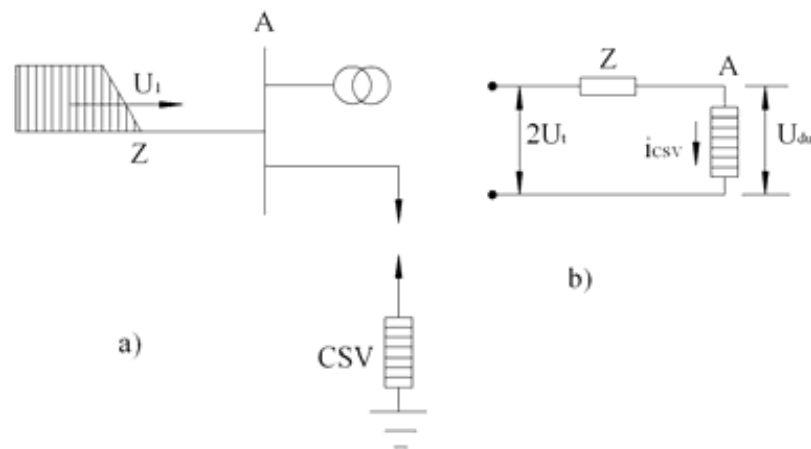
khoảng cách được tăng cường bảo vệ đó, và dưới tác dụng của vàng quang xung, đầu sóng sẽ bị kéo dài, tức độ dốc của nó sẽ giảm nhỏ không còn nguy hiểm cho cách điện của trạm nữa.

7.2.2 Ảnh hưởng của dòng điện xung qua chống sét van đến trị số điện áp dư của nó

Để đảm bảo điều kiện làm việc bình thường của chống sét van, như đã trình bày trong chương “Thiết bị chống sét“, cần phải hạn chế dòng điện sét qua nó không vượt quá dòng điện phối hợp ($5\div 14\text{kA}$ tùy thuộc cấp điện áp và tùy loại chống sét van). Dòng điện xung qua chống sét van lớn quá, một mặt gây nên trên điện trở làm việc của chống sét van một nhiệt năng vượt quá giới hạn cho phép và có thể phá hủy chống sét van, mặt khác sẽ làm cho điện áp dư của chống sét van tăng cao, nguy hiểm cho cách điện của thiết bị được bảo vệ.

Xét sơ đồ bảo vệ trạm (H.7.2).

- Sóng tới U_t do sét đánh ngoài đoạn tăng cường bảo vệ truyền vào trạm theo đường dây có tổng trở sóng Z , tại thanh góp của trạm có đặt bộ chống sét van để bảo vệ cho máy biến áp (H.7.2a)



Hình 7.2: Sơ đồ bảo vệ trạm để xét dòng qua CSV

Khi chống sét van làm việc, sơ đồ thay thế thoro quy tắc Petersen (H.7.2b) cho phương trình điện áp sau:

$$2U_t = I_{\text{CSV}}Z + U_{\text{du}} \quad (7.5)$$

Trong đó: U_t – biên độ sóng quá điện áp truyền tới trạm

U_{du} – điện áp dư trên chống sét van khi dòng điện xung qua nó bằng trị số dòng điện phối hợp ($5\div 14\text{kA}$)

I_{CSV} – dòng điện xung qua chống sét van

Z - tổng trở sóng đường dây.

từ (7.5) suy ra trị số dòng điện xung qua chống sét van:

$$I_{CSV} = \frac{2U_t - U_{du}}{Z} \quad (7.6)$$

Ví dụ: đặt ở trạm 110kV chống sét van loại PBC -110 có $U_{du} = 335\text{kV}$, tương ứng với dòng điện xung qua nó bằng trị số dòng phối hợp: 5kA. Tổng trở sóng của đường dây giả thiết bằng $Z = 400\Omega$. Biên độ sóng tới lấy bằng mức cách điện xung của cách điện đường dây. Với đường dây cột thép thì điện áp phóng điện xung bé nhất của chuỗi sứ $U_{50\%} = 650\text{ kV}$. Từ đó suy ra dòng điện qua chống sét van:

$$I_{CSV} = \frac{2 \times 650 - 335}{400} = 2,413\text{kA} < 5\text{kA}$$

Như vậy là hoàn toàn cho phép.

Nếu đường dây dùng cột gỗ mà đoạn tới trạm không đặt dây chống sét và nối đất dây chống sét tại các cột điện thì mức cách điện xung $U_{50\%} = 1700\text{kV}$.

(xem chương 5, mục 5.3)

$$\text{Như vậy: } I_{CSV} = \frac{2 \times 1700 - 335}{400} = 7,663\text{kA} < 5\text{kA} = I_{ph}$$

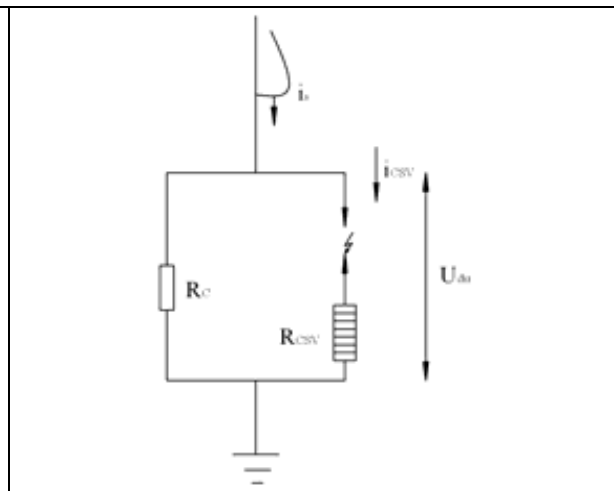
Dòng điện qua chống sét van đã vượt qua trị số dòng phối hợp.

Tuy nhiên, cũng với đường dây cột gỗ đó, nếu trên khoảng từ 1÷2km đến trạm đặt dây chống sét và nối đất dây chống sét tại cột thì $U_{50\%} = 850\text{kV}$, và như vậy dòng điện qua chống sét van sẽ bằng:

$$I_{CSV} = \frac{2 \times 850 - 335}{400} = 3,413\text{kA} < 5\text{kA}$$

Qua đó thấy rõ sự cần thiết phải có khoảng cách được tăng cường bảo vệ trước khi đến trạm. Nếu đường dây không được tăng cường bảo vệ ở đoạn tới trạm thì khi sét đánh vào cột, nơi đặt chống sét van, dòng điện sét phân bố giữa điện trở nối đất R_c của cột bị sét đánh và qua chống sét van như sau (H.7.3):

$$I_{CSV} = I_s - \frac{U_{du}}{R_c}$$



Hình 7.3: Phân bố dòng sét khi sét đánh ngay tại cột gần nơi đặt CSV

Ví dụ: Với PBC – 110 thì $U_{du} = 367$ kV tương ứng $I_{ph} = 10$ kA.

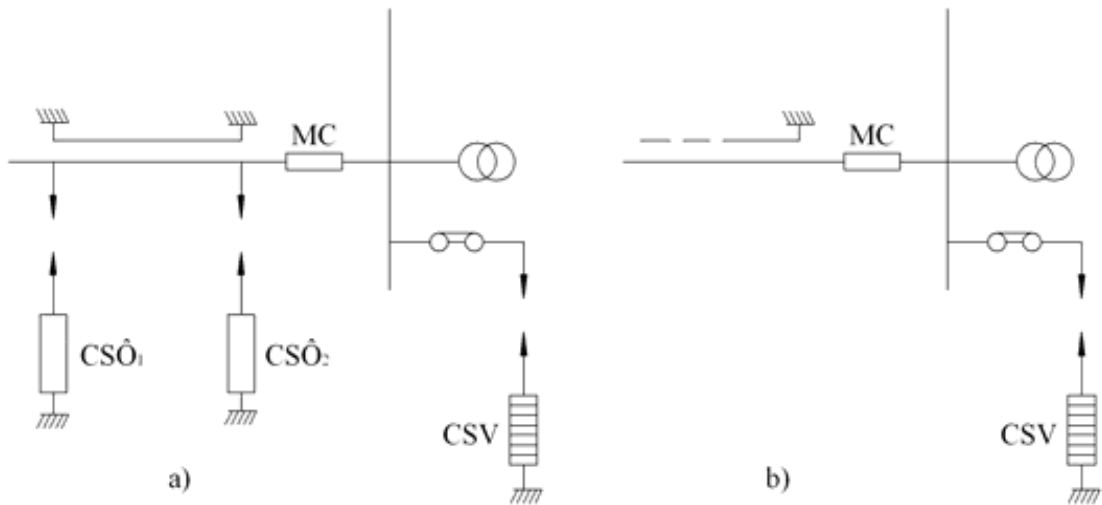
Nếu $I_s = 100$ kA, $R_c = 10 \Omega$ thì

$$I_{CSV} = 100 - \frac{367}{10} = 63,3 \text{ kA} \gg I_{ph} = 10 \text{ kA}$$

Như vậy, dòng điện qua chống sét van vượt qua xa giới hạn của dòng điện phối hợp. Hư hỏng chống sét van là điện khó tránh khỏi.

7.3 SƠ ĐỒ NGUYÊN LÝ BẢO VỆ TRẠM.

1- Đối với đường dây cột xà gỗ điện áp từ 35÷220kV, ở đoạn tới trạm phải đặt dây chống sét và nối đất tại các cột điện. Mức cách điện xung trong đoạn này giảm đi rất nhiều vì cột gỗ đã bị nối tắt bởi dây nối đất của dây chống sét. Ví dụ, đường dây 110kV khi treo dây chống sét, cách điện pha gồm chuỗi sứ và 2m xà gỗ, mức cách điện xung bằng khoảng 850kV, trong khi đó ở phần đường dây không treo dây chống sét, cách điện pha còn gồm cả phần lớn thân cột, mức cách điện xung có thể vượt 1700kV. Do đó đoạn tới trạm là nơi cách điện yếu của đường dây. Để hạn chế biên độ của sóng truyền vào trạm và bảo vệ cho cách điện đường dây phải đặt một bộ chống sét ống (CSÔ -1) ở đầu đoạn tới trạm (trên cột đầu tiên đặt DSC) (H.3.4a)



Hình 7.4: Sơ đồ nguyên lý bảo vệ trạm

Điện áp trên dây dẫn sau khi chống sét ống 1 làm việc được xác định bởi $U_{DD} = I_{csô} \cdot R_{csô}$ trong đó $I_{csô}$ là dòng điện qua CSÔ1 và $R_{csô}$ là điện trở tản xung nối đất của nó. Để hạn chế trị số của U_{DD} cần phải giảm thấp trị số điện trở nối đất của CSÔ-1. Theo quy phạm bảo vệ chống sét cho trạm thì:

$$R_{csô} < 10\Omega \text{ khi điện trở suất của đất } \rho \leq 10^3 \Omega m$$

$$R_{csô} \leq 10\Omega \text{ khi điện trở suất của đất } \rho > 10^3 \Omega m .$$

Bộ chống sét ống 2 đặt ở cuối đường dây có nhiệm vụ bảo vệ máy cắt điện đường dây trong trường hợp máy đã ở trạng thái cắt mà đường dây vẫn có quá điện áp. Trường hợp này có thể xảy ra:

Khi sét đánh lần thứ nhất vào đường dây có khả năng gây nên ngắn mạch chạm đất. Bảo vệ role làm việc mở máy cắt (MC) và đường dây hở mạch. Nếu sét đánh lần nữa vào đường dây, sóng điện áp truyền đến cuối đường dây hở mạch sẽ phản xạ dương toàn phần, điện áp tăng gấp đôi có thể xuyên thủng khoảng cách giữa các điện cực của máy cắt, của dao cách ly hoặc cách điện của tụ điện thông tin (phụ vụ cho thông tin vi ba). Đường dây cũng có thể ở tình trạng hở mạch khi nó làm nhiệm vụ dự trữ sự cố, nếu sét đánh vào đường dây thì cũng xảy ra nguy hiểm như trên.

Phải chỉnh định khoảng cách ngoài sao cho chống sét ống 2 (CSÔ-2) không được làm việc khi máy cắt đóng mạch. Nếu CSÔ -2 làm việc nhầm (phóng điện khi máy cắt đóng mạch) thì nó đưa sóng cắt có độ dốc rất lớn vào trạm, nguy hiểm cho chống sét dọc của máy biến áp, đồng thời có thể gây nên sự cố ngắn mạch ở thanh góp là một loại sự cố trầm trọng.

2- Đường dây cột thép (hoặc bê tông cốt thép) không treo dây chống sét trên toàn tuyến, ví dụ đường dây 35kV có sơ đồ bảo vệ ở đoạn tới trạm tương tự như trường hợp trên, song không đặt bộ CSÔ-1, biên độ của sóng truyền vào được giới hạn bởi mức cách điện xung của chuỗi sứ, chỉ cần giảm trị số điện trở nối đất của cột tới mức cần thiết theo qui phạm.

3- Đối với đường dây cột thép (hoặc bê tông cốt thép) được bảo vệ bằng dây chống sét trên toàn tuyến thì chỉ cần tăng mức an toàn trong đoạn tới trạm bằng cách giảm bảo vệ α (bè hơn 20°) và giảm trị số điện trở nối đất tới mức cần thiết (H.7.4b).

7.4 THAM SỐ TÍNH TOÁN CỦA SÓNG SÉT TRUYỀN VÀO TRẠM VÀ CÁCH TÍNH CHỈ TIÊU CHỊU SÉT CỦA TRẠM

7.4.1 Tham số của sóng truyền vào trạm

Để tính toán bảo vệ chống sét cho trạm cần phải biết dạng sóng truyền vào trạm, tức là biết các tham số chủ yếu của nó: biên độ và độ dốc đầu sóng.

- Biên độ của sóng truyền vào trạm lấy bằng mức cách điện xung của cách điện đường dây trong khoảng cách được tăng cường bảo vệ : $U_o = U_{50\%}$.

- Độ dốc đầu sóng chọn theo khả năng nguy hiểm nhất có thể xảy ra như là khi sét đánh vào cột hoặc vào dây chống sét và gây phóng điện ngược tới dây dẫn,. Như vậy qui ước độ dốc đầu sóng tính toán như sau:

Tại nơi sét đánh, sóng có dạng nguy hiểm nhất: đầu sóng vuông góc nhưng khi đến trạm độ dốc của sóng đã giảm thấp do tác dụng của vầng quang xung trong quá trình truyền qua khoảng cách được tăng cường bảo vệ. Có nghĩa là sau khi truyền qua khoảng cách trên, thời gian đầu sóng tại trạm bằng (xem mục 2.6)

$$\tau_{ds} = BU_o \frac{x}{c} \quad (7.8)$$

$$\text{Và độ dốc đầu sóng } \alpha = \frac{U_o}{\tau_{ds}} = \frac{c}{Bx} \quad (7.9)$$

Trong đó: B- hệ số biến dạng đầu sóng dưới tác dụng của vầng quang xung, tính theo 1/kV (xem hình 2.34)

U_0 - biên độ của sóng, bằng $U_{50\%}$ của cách điện đường dây trong khoảng cách được tăng cường bảo vệ, tính theo kV

x - khoảng cách giữa nơi bị sét đánh và trạm, km

$c = 0,3 \text{ km}/\mu\text{s}$, tốc độ ánh sáng; α - độ dốc đầu sóng, kV/ μs .

7.4.2 Tính chỉ tiêu chống sét của trạm do sóng truyền vào

Giả thiết với một trạm phân phối đã cho, đã xác định được vị trí đặt chống sét van, tức là đã biết khoảng cách l từ chống sét van đến thiết bị cần bảo vệ, bằng tính toán hay bằng nghiên cứu trên mô hình đã xác định được độ dốc đầu sóng cho phép α_{cp} .

Theo biểu thức (7.9) xác định được chiều dài tới hạn của khoảng cách tới trạm phải được tăng cường bảo vệ:

$$x_{th} = \frac{c}{\alpha_{cp} \cdot B} \quad (7.10)$$

Nếu sét đánh ngoài khoảng cách tới hạn, thì sau khi truyền qua khoảng cách x_{th} vào trạm, sóng đã bị vãng quang xung làm giảm độ dốc đầu sóng và không còn nguy hiểm cho cách điện của thiết bị trong trạm nữa. Còn mọi trường hợp làm xuất hiện điện áp trên dây dẫn trong khoảng cách tới hạn này đều xem như nguy hiểm vì nó đưa vào trạm sóng có độ dốc vượt số α_{cp} , tức là:

1- Nếu đường dây được bảo vệ bằng dây chống sét trên toàn tuyến hoặc chiều dài của phần đường dây được bảo vệ bằng dây chống sét lớn x_{th} , thì quá điện áp nguy hiểm cho trạm chỉ xuất hiện khi số sét đánh vòng qua dây chống sét vào dây dẫn và khi có phóng điện ngược từ cột tới dây dẫn khi sét đánh vào cột hoặc vào dây chống sét trong phạm vi x_{th} . Khả năng xuất hiện quá điện áp trên dây dẫn trong những trường hợp đó được đặc trưng bởi số lần phóng điện trên cách điện đường dây trong đoạn x_{th} trong một năm, tương tự cách tính toán số lần phóng điện trên cách điện đường dây (chương 5) như sau:

$$N_{pd} = 6 \bar{h}_{cs} \cdot m \cdot n \cdot x_{th} \cdot 10^{-3} \left\{ v_{\alpha} + (1 - v_{\alpha}) \left[\frac{4h_c}{l_{kV}} v_{p2} + \left(1 - \frac{4h_c}{l_{kV}}\right) (v_{p3} + v_{p4}) \right] \right\} \quad (7.110)$$

Với \bar{h}_{cs} - độ cao treo trung bình của dây chống sét, m

H_c - độ cao của cột, m; l_{kV} - chiều dài khoảng vượt, m

- m - mật độ sét trung bình ở khu vực đặt trạm, $1/\text{km}^2 \cdot \text{ngày}$ sét
 n - số ngày sét trong năm ở khu vực đặt trạm
 x_{th} - độ dài tới hạn của khoảng cách tới trạm, km
 v_{α} - xác suất sét đánh vòng qua dây chống sét vào dây dẫn
 v_{p2} - xác suất phóng điện trên chuỗi sứ khi sét đánh vào đỉnh cột
 v_{p3} - xác suất phóng điện trên khoảng cách không khí khi sét đánh vào dây chống sét giữa khoảng vượt
 v_{p4} - xác suất phóng điện trên chuỗi sứ khi sét đánh vào dây chống sét giữa khoảng vượt.

2- Nếu đường dây chỉ được bảo vệ bằng dây chống sét trên một đoạn có chiều dài $x < x_{th}$ trước khi đến trạm, thì số lần sét đánh nguy hiểm cho trạm ngoài số lần tính theo công thức (7.11) cho đoạn x , còn phải kể đến mọi trường hợp sét đánh vào dây dẫn trong đoạn $x_{th} - x$:

$$N_{pd} = 6 \bar{h}_{cs} \cdot m \cdot n \cdot x_{th} \cdot 10^{-3} \left\{ v_{\alpha} + (1 - v_{\alpha}) \left[\frac{4h_c}{l_{kV}} v_{p2} + \left(1 - \frac{4h_c}{l_{kV}}\right) (v_{p3} + v_{p4}) \right] \right\} + 6 \bar{h}_{DD} \cdot m \cdot n \cdot (x_{th} - x) \cdot 10^{-3} \quad (7.12)$$

Trong đó \bar{h}_{DD} - độ treo cao trung bình của dây dẫn đặt cao nhất (khi dây dẫn không căng trong một mặt phẳng ngang) trong phần đường dây không có dây chống sét.

Chỉ tiêu chịu sét theo khả năng quá điện áp do sóng truyền vào trạm của trạm đầu với m đường dây được xác định theo:

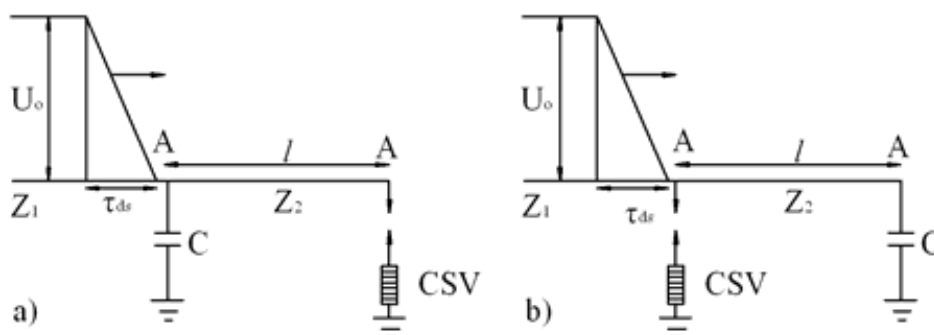
$$M = \frac{1}{\sum_{i=1}^m N_{pdi}} \quad (7.13)$$

với M là số năm bình quân xảy ra một lần quá điện áp do sóng truyền vào nguy hiểm cho cách điện của trạm.

7.5 ĐIỆN ÁP TRÊN CÁCH ĐIỆN CỦA TRẠM

Các sơ đồ bảo vệ của trạm thực tế rất khác nhau và phức tạp. Việc phân tích các sơ đồ đó thường được thực hiện trên mô hình hoặc bằng máy tính. Ở đây chỉ giới thiệu phương pháp phân tích 2 sơ đồ cơ bản, đơn giản, từ đó rút ra những quy luật chung nhất.

Trong các trạm phân phối, do số lượng chống sét van đặt có hạn nên thực tế theo hướng truyền sóng thường có một phần các thiết bị được bảo vệ nằm trước chống sét van (ví dụ dao cách ly, máy cắt đường dây) còn một phần nằm sau chống sét van (ví dụ MBA), tương ứng với các sơ đồ hình 7.5,b trong đó các thiết bị cần bảo vệ được thay thế bằng điện dung đầu vào của chúng (vì chỉ khảo sát sự phân bố điện áp ban đầu của quá trình sóng là trường hợp điện áp tác dụng lên cách điện của thiết bị lớn nhất).



Hình 7.5: Vị trí tương đối giữa CSV và thiết bị cần bảo vệ

Việc khảo sát các sơ đồ đơn giản này sẽ cho thấy ảnh hưởng của khoảng cách giữa chống sét van - thiết bị được bảo vệ, và độ dốc của sóng đến điện áp tác dụng lên cách điện của thiết bị được bảo vệ.

Vì đặc tính von-giây và von-giây của chống sét van là không đường thẳng nên để đơn giản sẽ dùng phương pháp đồ thị để khảo sát các sơ đồ.

7.5.1 Giới thiệu phương pháp đồ thị

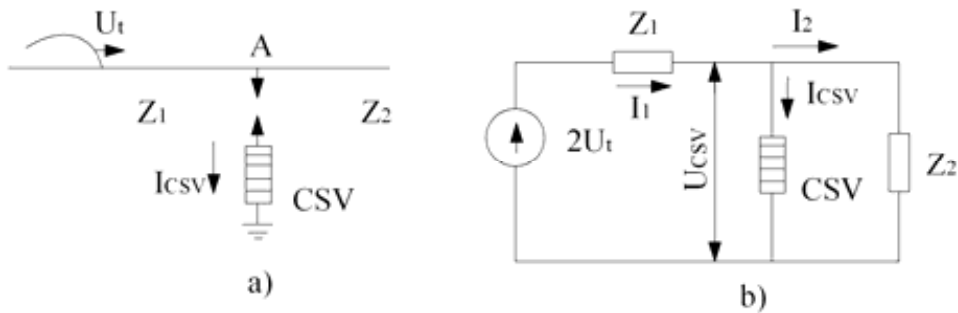
Trong các sơ đồ nói trên, giả thiết đường dây đưa sóng vào trạm có tổng trở sóng Z_1 . Đoạn thanh góp giữa nơi đặt chống sét van và thiết bị có chiều dài l , tổng trở sóng Z_2 . Đặt tính von-giây $U_{\text{csv}} = f(t)$ và đặc tính von-giây $U_{\text{CSV}} = f(I_{\text{CSV}})$ đã biết, tương ứng với chống sét van đã chọn. Sóng tới U_t trong trường hợp tổng quát có dạng bất kỳ đã cho. Khi chuỗi khe hở của chống sét van phóng điện, theo sơ đồ thay thế (H7.6b) viết được phương trình cân bằng điện áp:

$$2U_t = U_{c_{sv}} + \left(\frac{U_{c_{sv}}}{Z_2} + I_{c_{sv}} \right) \cdot Z_1$$

hoặc biến đổi dưới dạng:

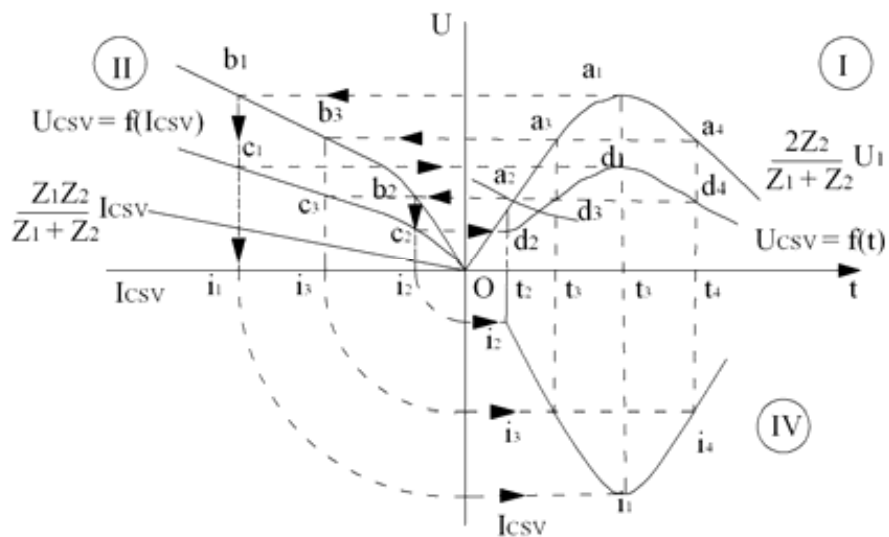
$$\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} U_t = U_{c_{sv}} + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} I_{c_{sv}} \quad (7.14)$$

Và giải bằng phương pháp đồ thị như sau:



Hình 7.6: a) Sơ đồ truyền sóng vào trạm; b) Sơ đồ thay thế

Chia mặt phẳng thành 4 phần bằng hệ thống trục thẳng góc. Ở góc thứ I vẽ trục (U, t) , ở góc thứ II vẽ trục (U, I) và góc IV vẽ trục (I, t) (H.7.7).



Hình 7.7: Phương pháp đồ thị xác định $U_{c_{sv}} = f(t)$ và $I_{c_{sv}} = f(t)$

Trong góc thứ I vẽ đặc tính von-giây của chống sét van ($U_{\text{CSV}} = f(t)$) và đường cong $\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} U_1$ biểu diễn về trái của (7.14).

Trong góc thứ II vẽ đường thẳng $\frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} I_{\text{CSV}}$ và đặc tính von-giây của chống sét van ($U_{\text{CSV}} = f(I_{\text{CSV}})$) sau đó cộng tung độ của hai đường cong này với nhau ta được cong

$$U(I) = U_{\text{CSV}} + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} I_{\text{CSV}}, \text{ đường cong này biểu diễn về phải của (7.14).}$$

Trước khi khe hở của chống sét van phóng điện, tức là trước khi đường cong $\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} U_t$ cắt đặc tính von-giây của chống sét van, đường biểu diễn điện áp tại điểm A trùng với đường cong $\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} U_t$, tức là điện áp khúc xạ tại điểm A với hệ số khúc xạ: $\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$

khi đường cong $\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} U_t$ cắt đặc tính von-giây, tức là khi khe hở của chống sét van phóng điện, điện áp tại điểm A được xác định theo phương trình (7.14). Cách xác định như sau:

- Ứng với thời điểm t_1 , có điểm α_1 trên đường cong $\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} U_t$ (phần bên trên đặc tính von-giây của chống sét van). Từ điểm α_1 vẽ đường ngang, nó cắt đường cong $U(I) = U_{\text{CSV}} + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} I_{\text{CSV}}$ tại điểm b_1 . Từ b_1 vẽ đường thẳng đứng nó cắt đặc tính von-giây của chống sét van tại điểm c_1 . Từ c_1 vẽ đường ngang, nó cắt đường thẳng đứng qua điểm a_1 tại điểm d_1 . Điểm d_1 chính là lời giải của phương trình (7.14): tung độ của d_1 cho giá trị của U_{CSV} tại thời điểm t_1 .

Trong góc IV vẽ đường ngang có tung độ bằng I_{CSV} (hoành độ của điểm C_1) nó cắt đường thẳng đứng qua a_1 tại điểm i_1 . Đó chính là dòng điện qua chống sét van tại thời điểm t_1 .

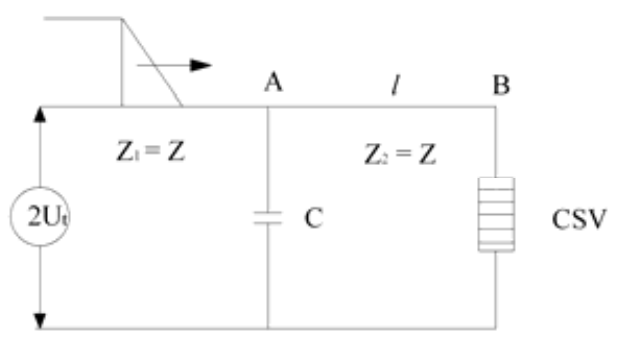
Cứ tiếp tục tương tự như vậy cho nhiều thời điểm khác nhau có thể xây dựng toàn bộ đường cong điện áp tác dụng lên chống sét van thời gian $U_{\text{CSV}} = f(t)$ và dòng điện qua chống sét van theo thời gian $I_{\text{CSV}} = f(t)$.

Do đặc tính von-giây của chống sét van tương đối bằng phẳng nên điện áp dư trên chống sét van thực tế không đổi trong một phạm vi rộng trong khi trị số dòng điện qua chống sét van thay đổi rất nhiều.

7.5.2 Trường hợp chống sét van nằm sau thiết bị được bảo vệ (H.7.5a)

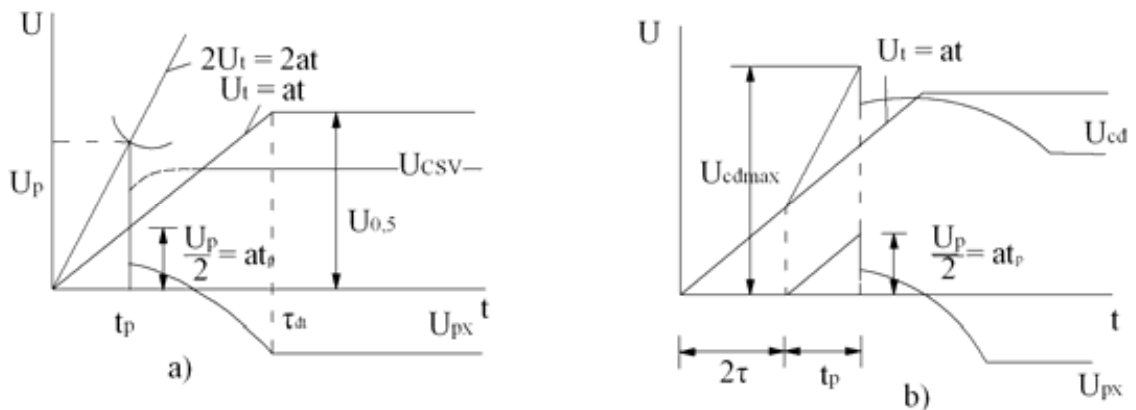
Trước tiên giả thiết $C = 0$ và tổng trở sóng của đoạn thanh góp chiều dài l giữa thiết bị và chống sét van bằng tổng trở sóng đường dây $Z_1 = Z_2 = Z$.

Sóng tới có dạng xiên góc $U_1 = at$ với $\tau_{ds} = U_{0,5} / a$ và $U_{0,5}$ là điện áp phóng điện xung bé nhất của cách điện đường dây có sóng truyền vào trạm.



Hình 7.5a: Sơ đồ thay thế khi CSV làm việc

Điện áp tại điểm A - điểm đặt thiết bị, tại một thời điểm bất kỳ gồm thành phần sóng phản xạ từ B trở về. Bằng phương pháp đồ thị như trên có thể xác định một cách dễ dàng điện áp tại điểm B tức là $U_{csv}(t)$. Điện áp phản xạ từ B trở về được xác định theo: $U_p = U_{csv} - U_t$ (H.7.8a).



Hình 7.8: Dạng điện áp trên CSV (a) và trên cách điện (b) khi $C = 0$

Sóng phản xạ này về đến điểm A sau một thời gian $2\tau = 2al/v$. Cộng tung độ các đường sóng tới điểm A và sóng phản xạ từ B về đến A sẽ được dạng điện áp tác dụng lên cách điện của thiết bị tại A (H.7.8b).

• Nếu $2\tau < \tau_{ds}$: đây là trường hợp xảy ra trong thực tế, thì điện áp cực đại trên cách điện có trị số bằng:

$$U_{cd\max} = a(t_p + 2\tau) + at_p = 2a.t_p + 2a\tau = U_p + 2a\tau \quad (7.15)$$

với t_p - thời điểm phóng điện của chống sét van

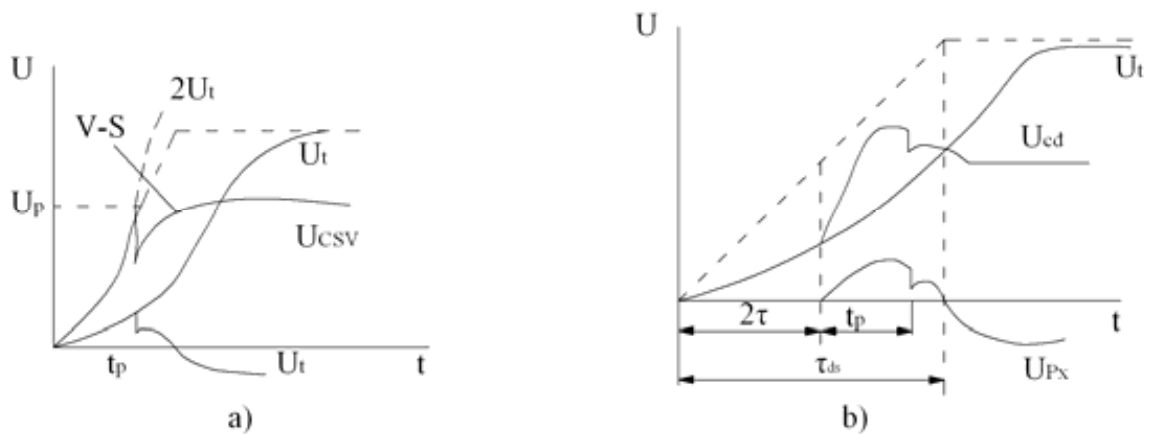
$U_p = 2at_p$ - điện áp phóng điện của chống sét van

Như vậy, trị số điện áp cực đại trên cách điện của thiết bị vượt quá trị số điện áp phóng điện của chống sét van một lượng là $\Delta U = 2a\tau = 2al/v$, tức là tỉ lệ với khoảng cách l và với độ dốc đầu sóng α

• Nếu $2\tau > \tau_{ds}$: thì trị số cực đại của điện áp tác dụng lên cách điện bằng:

$$U_{cd\max} = a\tau_{ds} + a.t_p = U_{0,5} + \frac{U_p}{2}$$

Trường hợp này không thể xảy ra trong các sơ đồ thức tế vì biên độ của sóng tới $U_{0,5}$ (bằng mức cách điện xung của đường dây) không thể nhỏ hơn điện áp tác dụng lên cách điện của trạm.



Hình 7.9: Điện áp trên CSV (a) và trên cách điện (b) khi kể đến điện dung C

Nếu điện dung $C \neq 0$ thì sóng đi qua điện dung độ dốc sẽ bị kéo dài, điện áp cực đại giảm ít nhiều (H.7.9), tuy nhiên vẫn có thể xác định gần đúng theo biểu thức (7.15).

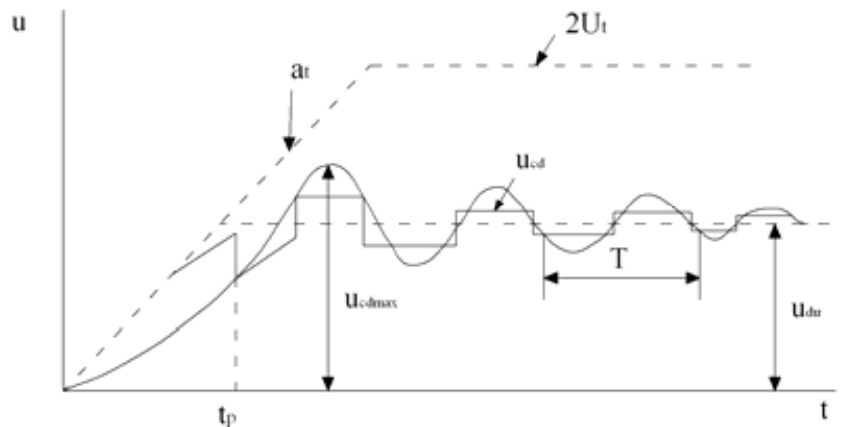
7.5.3 Trường hợp chống sét van nằm trước thiết bị được bảo vệ (H.7.5b)

Phương pháp giải đồ thị về nguyên tắc cũng tương tự như trường hợp trên. Song ở đây, khi chống sét van làm việc có sự phản xạ nhiều lần tại các điểm A và B nên cách tiến hành có phức tạp hơn.

Khi $C = 0$, sóng áp phản xạ từ B, dương toàn phần (cùng dấu và bằng biên độ sóng tới) và về lại đến điểm A nơi đặt chống sét van làm việc sóng áp phản xạ từ A về phía B ngược dấu (H.7.10). Tuy nhiên, do đặc tính von-ampe của chống sét van bằng phẳng nên điện áp tác dụng lên nó hầu như không thay đổi bao nhiêu do ảnh hưởng của sự phản xạ nhiều lần này.

Điện áp trên cách điện có dạng dao động xung quanh trị số điện áp dư của chống sét van với chu kỳ $T = 4\tau = 4l/v$. Điện áp cực đại trên cách điện có trị số bằng:

$$U_{cd\max} = U_p + 2a\tau \quad (7.16)$$



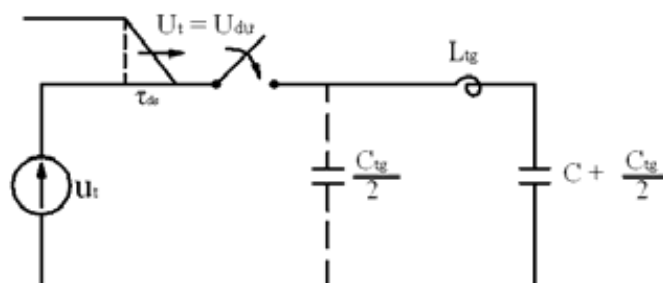
Hình 7.10: Điện áp trên CSV và trên cách điện

Điện dung C cũng có tác dụng, tương tự như trường hợp trên, làm giảm độ dốc của sóng và mài nhẵn các đỉnh nhọn của chúng.

Trong tính toán điện áp tác dụng lên cách điện, để đơn giản có thể thay dạng sóng tác dụng lên chống sét van bằng sóng xiên góc có độ dốc đầu sóng a và điện áp cực đại bằng điện áp dư trên chống sét van khi dòng điện xung qua nó bằng trị số định mức. Như vậy thời gian đầu sóng tính toán bằng: $\tau_{ds} = U_{du}/a$. Thay thế đoạn thanh góp chiều dài l bằng sơ đồ thay thế hình π với điện cảm $L_{tg} = Zl/v = Z\tau$ và điện dung mỗi nhánh:

$$\frac{C_{tg}}{2} = \frac{l}{Z \cdot v} \cdot \frac{1}{2} = \frac{\tau}{2Z}$$

Nhánh điện dung song song với chống sét van có thể bỏ qua vì khi chống sét van làm việc điện dung này được nối tắt bởi điện trở làm việc rất bé của chống sét van. Điện dung của nhánh cuối được xếp chồng lên điện dung C của thiết bị được bảo vệ (H.7.11)



Hình 7.11: Thay thế đoạn thanh góp bằng sơ đồ hình Π và giải bằng phương pháp giải tích

Như vậy ta có một mạch dao động L-C với tần số dao động riêng:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_{tg} \cdot C_{td}}} = \frac{1}{\sqrt{L_{tg} \left(C + \frac{C_{tg}}{2} \right)}}$$

Và chu kỳ dao động:

$$T = 2\pi \sqrt{L_{tg} \left(C + \frac{C_{tg}}{2} \right)} = 2\pi \sqrt{Z\tau \left(C + \frac{\tau}{2Z} \right)} = 2\pi \sqrt{\tau \left(T_c + \frac{\tau}{2} \right)} \quad (7.18)$$

với $T_c = ZC$ là hằng số thời gian của quá trình tích điện của điện dung C của thiết bị.

Bài toán về sóng xiên góc tác dụng lên mạch dao động được giải theo tích phân Duyhamen với kết quả có dạng:

$$\text{Khi: } t_p \geq \tau_{ds} \Rightarrow U_{cd} = 2U_{du} \left[1 + \frac{T}{\tau_{ds}} \left(1 - e^{-\frac{\tau_{ds}}{T}} \right) e^{-\frac{t}{T}} \right] \text{ thực tế ít xảy ra (7.19)}$$

$$t_p < \tau_{ds} \Rightarrow U_{cd} = 2U_{du} / \tau_{ds} \left[t - T \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right] \quad (7.20)$$

*Tóm lại từ việc khảo sát hai dạng sơ đồ cơ bản với vị trí tương đối giữa chống sét van và thiết bị được bảo vệ khác nhau theo chiều truyền sóng có thể rút ra các kết luận tổng quát sau:

- Về trị số: điện áp cực đại trên cách điện trong cả hai trường hợp đều tỉ lệ với độ dốc đầu sóng và khoảng cách l giữa chống sét van và thiết bị được bảo vệ.

- Về dạng sóng: Khi chống sét van nằm sau thiết bị, điện áp tác dụng lên cách điện có dạng một xung ngắn khoảng $1 - 3\mu s$ xếp chồng lên điện áp dư của chống sét van. Còn khi chống sét van nằm trước thiết bị thì điện áp tác dụng lên cách điện của thiết bị có dạng một dao động tắt dần quanh điện áp dư của chống sét van.

- Tác dụng của điện dung C của thiết bị được bảo vệ làm giảm đôi chút trị số cực đại của điện áp trong trường hợp chống sét van nằm sau thiết bị, ngược lại làm tăng ít nhiều trị số điện áp cực đại trên cách điện trong trường hợp chống sét van nằm trước thiết bị, nhưng không vượt qua hai lần điện áp dư của chống sét van.

- Nếu trạm đầu với n đường dây, trong đó sóng truyền theo một đường dây vào trạm thì tổng trở sóng $Z_2 = Z/(n-1)$ song song với chống sét van, có tác dụng làm giảm điện áp tác dụng lên cách điện của thiết bị của trạm trong cả hai trường hợp. Đó là một nhân tố thuận lợi trong việc hạn chế quá điện áp cho trạm.

Chương 8

BẢO VỆ CHỐNG SÉT CHO MÁY ĐIỆN QUAY

8.1 BẢO VỆ CÁCH ĐIỆN MÁY ĐIỆN QUAY CHỐNG SÓNG SÉT TRUYỀN VÀO THEO ĐƯỜNG DÂY TRÊN KHÔNG

Cũng giống như bảo vệ cách điện trạm, biện pháp chủ yếu để bảo vệ cho cách điện máy điện quay là dùng chống sét van. Nhưng vì mức cách điện xung của máy điện quay không cao như cách điện trạm nên phải dùng loại chống sét van đặc biệt có đặc tính bảo vệ tốt hơn. Đó là loại chống sét van có khe hở được nối song song với những điện dung và điện trở để cải thiện điều kiện làm việc của khe hở, có điện trở không đường thẳng bằng vilit phẩm chất cao (loại PBM) hoặc bằng tecvit có khả năng cho qua dòng điện cao hơn (loại PBT). Bảng 8.1 cho ta ý niệm so sánh về mức cách điện xung của cách điện chủ yếu của máy điện quay và của máy biến điện áp cũng như điện áp dư của các loại chống sét van cùng cấp điện áp dùng bảo vệ máy điện

Bảng 8.1

Đại lượng	Thiết bị	Điện áp định mức, kV		
		3	6	11
Độ bền xung đảm bảo của cách điện chủ yếu, (kV)	Máy biến áp	44	60	80
	Máy điện quay	7,6	15,2	25,2
Điện áp dư của chống sét van khi dòng điện xung bằng 3 kA (kV)	Loại PBM	9	17	28
	Loại PBT	7	14	23,5

Có thể thấy dễ dàng là trong trường hợp này, chỉ có chống sét van loại PBT với dòng điện phối hợp bằng 3kA mới có điện áp dư thấp hơn mức cách điện xung của máy điện quay, nhưng cũng với độ dự trữ rất thấp, dưới 10%.

Do khó khăn trên về sự phối hợp giữa đặc tính bảo vệ của chống sét van với độ bền xung của cách điện máy điện quay nên không cho phép đấu trực tiếp máy phát điện công suất lớn hơn 15000kVA và máy bù đồng bộ công suất lớn hơn 20000kVAr vào đường dây trên không.

Ngoài tác dụng lên cách điện chủ yếu, quá điện áp khí quyển còn tác dụng lên cách điện dọc (giữa các vòng dây) của máy điện và cách điện của trung tính, do đó để bảo vệ cách điện dọc cần có biện pháp giảm độ dốc sóng tới không quá trị số $5\div 6\text{kV}/\mu\text{s}$, và nếu để bảo vệ cả cho cách điện của trung tính của máy phát điện (trong trường hợp điểm trung tính đưa ra ngoài máy) phải giảm độ dốc sóng tới xuống dưới $2\text{kV}/\mu\text{s}$.

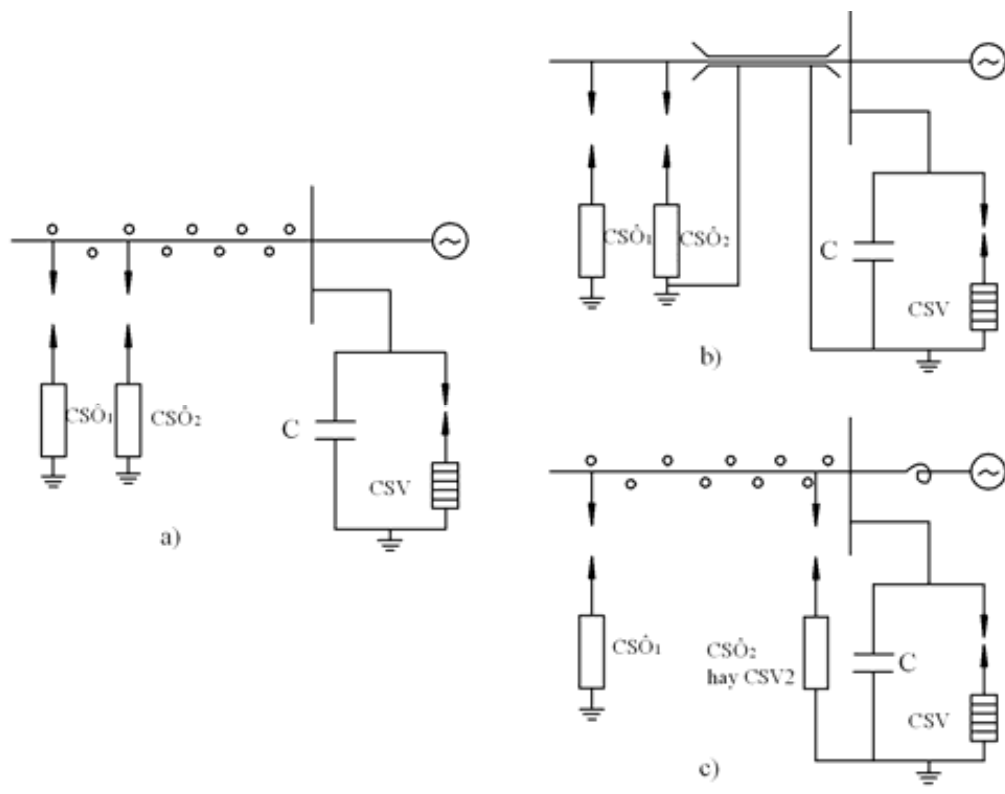
Để giảm độ dốc sóng tới cần đấu gần máy điện, song song với chống sét van nhưng tụ điện có điện dung C từ $0,25\div 0,5\mu\text{F}$ trên mỗi pha. Nếu trung tính máy điện đưa ra ngoài thì việc bảo vệ cách điện của nó được thực hiện bằng cách đấu vào đó một chống sét van và song song với chống sét van một điện dung khoảng $0,25\div 0,5\mu\text{F}$ để hạn chế độ dốc của sóng cắt. Trong trường hợp này để hạn chế độ dốc sóng tới chỉ cần tính theo điều kiện bảo vệ cách điện dọc nên chỉ cần đặt ở thanh góp (hoặc ở cực) máy điện trên mỗi pha một điện dung từ $0,1\div 0,25\mu\text{F}$.

Bảo vệ đoạn đường dây trên không trước khi tới máy điện

Trên một chiều dài khoảng 500-600m, trước khi tới thanh góp máy phát, đường dây trên không phải được bảo vệ tuyệt đối an toàn chống sét đánh thẳng vào dây dẫn. Mục đích việc tăng cường bảo vệ đoạn đường dây tới máy điện là:

- Loại trừ sét đánh trực tiếp vào dây dẫn gần máy điện.
- Hạn chế dòng điện qua chống sét van bảo vệ máy phát điện dưới trị số dòng điện phối hợp 3kA, tốt nhất là dưới 1,5KA, để đảm bảo dự trữ an toàn giữa điện áp dư của chống sét van và điện áp tác dụng cho phép trên cách điện của máy điện quay.

Sơ đồ nguyên lý bảo vệ máy điện quay cho ở hình 8.1.



Hình 8.1: Các sơ đồ bảo vệ cho cách điện của máy điện quay đầu vào đường dây trên không

Trên đoạn đường dây này, thường dùng cột thu sét đặt hai bên đường dây để chống sét đánh thẳng. Cũng có thể dùng dây chống sét, nhưng không được đặt dây chống sét trực tiếp trên cột điện nhằm tránh hiện tượng phóng điện ngược trong đoạn này.

Nếu đường dây đi men theo các công trình kiến trúc hoặc đường dây tải điện khác cao hơn, thì có thể không cần thêm biện pháp nào khác để chống sét đánh thẳng, vì xác suất sét đánh thẳng vào đường dây trong trường hợp này rất bé.

Ở đầu đoạn đường dây này đặt một bộ chống sét ống có điện trở nối đất càng nhỏ càng tốt (dưới 5Ω) để hạn chế dòng điện qua chống sét van không vượt quá 3kA . Nếu không thực hiện được nối đất nhỏ như vậy thì ở cột kế tiếp đặt thêm một bộ CSO_2 nữa (H.8.1a).

Trong thực tế, nhiều khi máy điện được nối vào đường dây trên không qua một đoạn cáp dài từ $50 - 100\text{m}$. Sự có mặt đoạn cáp này tạo điều kiện thuận lợi cho việc bảo vệ quá điện áp cho máy điện (H.8.1b).

Ở nơi chuyển tiếp từ đường dây trên không sang đoạn cáp đặt một bộ chống sét ống (CSO_1). Vỏ cáp nối liền với nối đất của chống sét ống và đầu kia vào đất của chống sét van và

nổi đất của nhà máy. Khi chống sét ống làm việc, lõi cáp và vỏ cáp nối với nhau nên chúng có cùng một điện thế đối với đất. Do hiệu ứng bề mặt, dòng điện sét truyền đi chủ yếu ngoài vỏ cáp. Nếu cáp đặt trực tiếp trong đất thì một phần dòng điện sét sẽ từ vỏ cáp tản vào đất trên đường truyền đến máy điện, phần còn lại sẽ được nối tắt qua mạch vòng nối đất của nhà máy điện. Về phía máy điện, điện áp giữa lõi cáp (nối với cuộn dây máy điện) và vỏ cáp (nối với vỏ máy điện và mạch vòng nối đất của nhà máy) sẽ bằng điện áp giáng trên điện trở tác dụng của vỏ cáp, có trị số thấp hơn nhiều so với mức cách điện xung của máy điện. Sơ đồ có đoạn cáp có độ an toàn bảo vệ cao nếu chống sét ống (CS \hat{O}_1) làm việc tin cậy, đảm bảo. Tuy nhiên, điều kiện này không phải luôn luôn được thực hiện vì hệ số khúc xạ ở điểm chuyển tiếp giữa đường dây trên không và đoạn cáp rất bé, vào khoảng 0,1 (tổng trở sóng đường dây khoảng 400÷500 Ω). Vì vậy chống sét ống (CS \hat{O}_1) chỉ có thể làm việc đảm bảo (phóng điện) khi sét đánh trực tiếp vào đường dây, hay khi sóng truyền từ đường dây trên không có biên độ cao (400÷500kV). Để đảm bảo cho CS \hat{O}_1 phóng điện cản dời CS \hat{O}_1 về phía trước hoặc đặt thêm trước nó, cách một khoảng vượt, một bộ CS \hat{O}_2 . Dùng hai bộ chống sét ống CS \hat{O}_1 và CS \hat{O}_2 nâng cao độ an toàn cầu sơ đồ.

Nếu trong sơ đồ đầu dây có đặt cuộn cảm để hạn chế dòng điện ngắn mạch, thì cuộn cảm cũng có tác dụng cải thiện điều kiện bảo vệ của sơ đồ chống sét cho máy điện (H.8.1c).

Cuộn cảm làm giảm độ dốc đầu sóng về phía cuộn dây máy điện và tăng cao điện áp về phía đường dây tạo điều kiện dễ dàng cho CS \hat{O}_2 hay CSV $_2$ phóng điện (dùng CSV $_2$ trong trường hợp khi không chọn được CS \hat{O} có khả năng cắt dòng điện ngắn mạch lớn ở thanh góp trạm).

Khi đồng thời dùng cả đoạn cáp và cuộn cảm thì khả năng bảo vệ chống sét của sơ đồ cao nhất.

Nói chung, do việc thực hiện sơ đồ chống sét với an toàn cao gặp nhiều khó khăn và tốn kém., nên đối với máy phát điện có công suất lớn không cho phép nối trực tiếp vào đường dây trên không. Trong trường hợp không tránh khỏi phải truyền tải công suất ở cấp điện áp máy phát sẽ dùng cáp hoặc máy phát đầu vào đường dây trên không qua máy biến áp chống sét có tỉ số biến đổi 1/1.

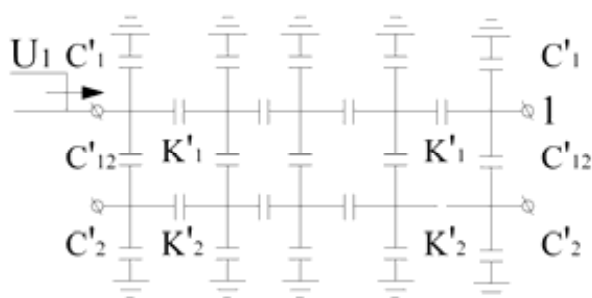
8.2 BẢO VỆ CHỐNG SÉT CHO MÁY ĐIỆN QUAY ĐẦU VÀO ĐƯỜNG DÂY TRÊN KHÔNG QUA MÁY BIẾN ÁP

Máy phát điện công suất lớn, đặc biệt trong các sơ đồ bộ, thường được nối vào đường dây trên không qua máy biến áp. Về phía cao áp, máy biến áp được bảo vệ như đã trình bày ở chương 7 nên sóng quá điện áp xuất hiện ở cuộn cao áp không vượt quá mức cách điện xung của nó (trong tính toán lấy bằng U_{du} của chống sét van khi có dòng xung bằng dòng phối hợp đi qua).

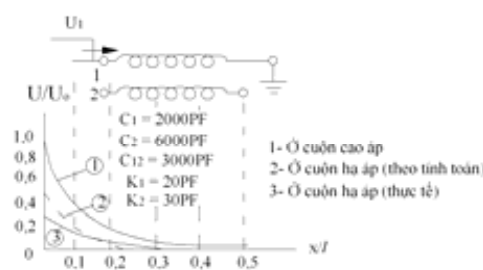
Khi bên cuộn cao áp có sóng tác dụng thì bên cuộn hạ áp cũng sẽ xuất hiện điện áp do giữa hai cuộn dây có liên hệ về điện (điện dung) và liên hệ về từ (điện cảm) với nhau, đó là sự truyền sóng theo điện dung và theo điện cảm.

8.2.1 Sự truyền sóng qua điện dung

Khi chịu tác dụng của điện áp xung, sự phân bố điện áp ban đầu dọc theo cuộn dây tương ứng với sơ đồ thay thế bằng điện dung của cuộn dây. Phân bố điện áp cho đến khi sóng đạt trị số cực đại (sau vài ba μs) vẫn gần giống như ban đầu, do vậy trong khoảng thời gian đầu sóng, có thể dùng sơ đồ thay thế gồm các chuỗi điện dung để khảo sát sự phân bố điện áp trong các cuộn dây của máy biến áp và máy điện quay. Sơ đồ thay thế của máy biến áp hai dây quấn trình bày ở hình 8.2.



Hình 8.2



Hình 8.3: Phân bố điện áp dọc các cuộn MBA

Trong đó K'_1, K'_2 là điện dung dọc (giữa các phần tử của cùng một cuộn dây) của cuộn cao áp 1 và cuộn hạ áp 2; C'_1 và C'_2 là điện dung đối với đất của cuộn 1 và 2; C'_{12} là điện dung giữa hai cuộn dây (các tham số này cho theo đơn vị chiều dài của cuộn dây).

Nếu bỏ qua điện dung K'_2 của cuộn hạ áp thì khi cuộn hạ áp hở mạch, điện áp tại một điểm bất kỳ của nó có thể xác định theo quan hệ sau:

$$U_{2(x)} = U_{1(x)} \frac{C'_{12}}{C'_2 + C'_{12}} = U_{1(x)} \frac{C'_{12}l}{C'_2l + C'_{12}l} \quad (8.1)$$

Thực tế điện dung dọc K'_2 vẫn tồn tại nên phân bố điện áp dọc theo cuộn hạ áp 2 có khác chút ít so với phân bố trong cuộn cao áp, nên biểu thức trên cho một phân bố gần đúng.

Khi cuộn hạ áp 2 nối liền với cuộn dây của máy phát điện, tức là song song với C_2 có điện dung C của cuộn dây máy phát và của thanh góp (hoặc của đường cáp) nối liền với máy biến áp thì trong trường hợp này điện áp ở đầu vào của máy phát bằng:

$$U_2 = U_1 \frac{C'_{12}l}{C'_{12}l + C'_2l + C} e^{-t/T} \quad (8.2)$$

Trong đó U_1 lấy bằng điện áp dư của chống sét van bảo vệ cuộn dây điện áp cao của máy biến áp, bỏ qua dao động cao tần xếp chồng lên điện áp dư vì chu kỳ dao động bé hơn nhiều so với hằng số thời gian T của sơ đồ, nói một cách khác, dao động cao tần này không truyền qua cuộn dây máy biến áp:

$$T = (C'_{12}l + C'_2l + C)Z$$

với Z là tổng trở sóng của cuộn dây máy phát.

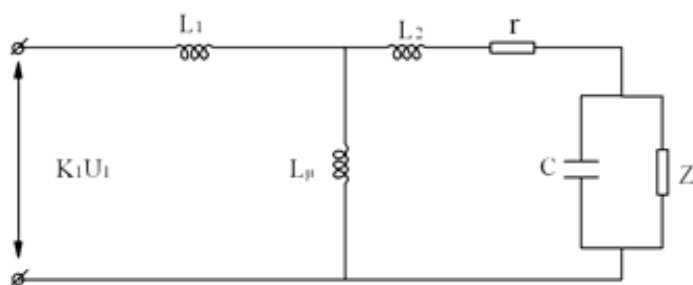
U_2 tính theo công thức này cho kết quả lớn hơn trong thực tế, do phân bố điện áp ban đầu (theo điện dung) rất không đồng nhất, điện áp giảm rất nhanh khi càng xa đầu vào của cuộn dây (nên có thể coi như chỉ có một phần nhỏ của điện dung C'_{12} và C'_2 tham gia vào việc truyền sóng). Hình 8.3 cho thấy điện áp chỉ có giá trị đáng kể trên khoảng 1/5 cuộn dây tính từ đầu vào, có nghĩa là thực tế chỉ khoảng 1/5 trị số của $C'_{12} + C'_2$ tham gia vào quá trình truyền sóng. Do đó ảnh hưởng của điện dung C đến việc giảm trị số U_2 lớn hơn theo công thức trên.

Ví dụ: nếu $C = C_{12} + C_2$ thì U_2 không phải chỉ giảm đi hai lần theo như công thức trên mà thực tế giảm đi gần 5-6 lần. Do đó trong loại sơ đồ này chỉ cần nối vào cực máy phát một đoạn cáp ngắn khoảng vài ba chục mét thì U_2 đã có thể giảm tới trị số tuyệt đối an toàn cho cách điện của máy biến áp.

Trong trường hợp máy phát đấu vào máy biến áp qua một đoạn đường dây trên không đã được bảo vệ an toàn chống sét đánh thẳng, thì vẫn còn tồn tại khả năng nguy hiểm cho cách điện máy phát do quá điện áp cảm ứng. Để giảm quá điện áp cảm ứng trong trường hợp này, người ta đấu song song với máy phát một tụ điện với điện dung từ 0,1 - 0,5 μ F, điện dung này có tác dụng giảm điện áp truyền theo đường điện dung.

8.2.2 Sự truyền sóng qua cuộn hạ áp theo đường điện từ

Sự truyền sóng theo đường điện dung quyết định sự phân bố điện áp dọc theo cuộn dây lúc ban đầu. Sau khoảng vài ba micro giây thì xuất hiện quá trình dao động riêng trong cuộn dây điện áp cao và tương ứng bên cuộn dây điện áp thấp sẽ xuất hiện điện áp do hiện tượng hỗ cảm giữa các cuộn dây, trong đó sóng điều hoà bậc một đóng vai trò chủ yếu.



Hình 8.4: Sơ đồ thay thế để phân tích quá trình truyền sóng theo đường điện từ qua các cuộn dây MBA

Như vậy, trong sơ đồ thay thế, điện cảm các cuộn dây là các thông số chủ yếu. Trong sơ đồ thay thế (H.8.4), L_1 và L_2 là điện cảm tản của các cuộn áp cao và áp thấp.

L_μ - điện cảm từ hoá ($L_\mu \gg L_1 + L_2$)

K_1 - hệ số biến đổi của các cuộn dây của máy biến áp

C- điện dung tổng phía áp thấp gồm cả điện dung C_2 của cuộn áp thấp và của mạch ngoài.

Z - tổng trở sóng của cuộn dây máy biến áp và của đoạn dây nối giữa máy phát điện và máy biến áp .

r- điện trở tác dụng, để tính đến các tổn hao trong sơ đồ.

Nếu điện dung $C = 0$ thì khi ở phía sơ cấp có sóng vuông góc biên độ U_1 tác dụng thì trên cuộn thứ cấp xuất hiện điện áp:

$$U_2 = K_1 \cdot U_1 (1 - e^{-t/T}) \text{ với } T = \frac{L_1 + L_2}{Z}$$

U_1 – cũng được lấy bằng điện áp dư của chống sét van, lý do như đã trình bày ở phần trên.

Điện cảm tản của máy biến áp tính đối về phía hạ áp theo:

$$L_1 + L_2 = \frac{e_{K\%} \times U_{dm}}{I_{dm} \cdot 31,4}$$

$e_{K\%}$ - điện áp ngắn máy biến áp mạch %; U_{dm} – điện áp định mức, kV

P_{dm} – công suất định mức, kVA

Ví dụ: máy biến áp : 121/11kV; $P_{dm} = 31500\text{kVA}$, có $L_1 + L_2 = 10^{-3}\text{H}$. Tổng trở sóng của máy phát điện cùng công suất $Z = 40\Omega$, do đó tính được $T = 25\mu\text{s}$. Điện áp ở đầu vào cuộn áp cao của máy biến áp lấy bằng U_{du} của chống sét van bảo vệ trạm.

Thực tế, $C \neq 0$ nên sẽ có dao động riêng với tần số $\omega = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2)C}}$ xếp chồng lên thành phần $K_1 U_1$. Điện áp lớn nhất theo lý thuyết có thể đạt tới $2K_1 U_1$. Tuy nhiên trong thực tế dao động riêng này tắt nhanh và nếu $Z < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C}}$ thì dao động riêng sẽ bị triệt tiêu hoàn toàn. Trong ví dụ trên điều kiện này được thực hiện khi:

$$C < \frac{L_1 + L_2}{4Z^2} = \frac{10^{-3}}{4 \times 16 \times 10^2} = 0,15 \mu\text{F}$$

Trong thực tế, phần lớn các trường hợp, điều kiện này được thỏa mãn dễ dàng, chỉ khi điện dung ở thanh góp điện áp máy phát quá lớn thì dao động mới phát triển và điện áp trên cực máy phát điện có trị số cao. Như vậy thường điện áp truyền theo đường điện từ xuất hiện trên cực máy phát ít khi vượt quá $K_1 U_1$.

Nếu dao động riêng trong cuộn hạ áp bị triệt tiêu hoàn toàn thì chỉ cần bảo vệ phía cao áp của máy biến áp bằng chống sét van thích hợp, còn phía máy phát không cần bất kỳ loại bảo vệ nào. Ví dụ máy biến áp 121/11 kV có $K_1 = 1/11$ nếu phía cao áp được bảo vệ bằng chống sét van từ có $U_{dur} = 265\text{kV}$ thì điện áp cực đại xuất hiện ở cuộn dây máy phát $U_{2\text{max}} = K_1 U_{dur} = 265/11 = 24\text{kV}$. Điện áp này không gây nguy hiểm cho cách điện máy phát điện.

Tóm lại, khi máy phát điện liên hệ với đường dây trên không qua máy biến áp, thì có thể không cần một biện pháp bảo vệ chống quá điện áp khi quyền riêng cho máy phát điện, trừ trường hợp máy phát điện có công suất bé (Z lớn) và điện dung thanh góp điện áp máy phát lớn mới cần bảo vệ bằng chống sét van thích hợp.

Chương 9

QUA ĐIỆN ÁP NỘI BỘ NHỮNG TÍNH CHẤT CHUNG CỦA QUÁ ĐIỆN ÁP NỘI BỘ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

9.1 PHÂN LOẠI QUÁ ĐIỆN ÁP NỘI BỘ

Quá điện áp nội bộ xảy ra khi có sự thay đổi chế độ làm việc trong hệ thống điện. Sự chuyển từ một chế độ làm việc này sang một chế độ làm việc khác gắn liền với sự phân bố lại năng lượng điện trường và từ trường tích lũy trong các điện dung và điện cảm của mạch, kèm theo quá trình dao động quá độ và gây nên quá điện áp.

Nguyên nhân trực tiếp làm phát sinh quá điện áp nội bộ có thể là những thao tác đóng cắt các phần tử của hệ thống trong chế độ làm việc bình thường (như đóng cắt một đường dây không tải, cắt một máy biến áp không tải), nhưng cũng có thể là do bản thân của những tình trạng sự cố khác nhau trong hệ thống điện như chạm đất, ngắn mạch, đứt dây...

Theo điều kiện làm việc của cách điện, thường có thể chia qua điện áp nội bộ thành 2 nhóm chính.

Nhóm I: Quá điện áp thao tác

Xảy ra khi đóng cắt các phần tử của hệ thống trong chế độ làm việc bình thường và sau sự cố cũng như khi xảy ra chạm đất bằng hồ quang. Nói chung, loại quá điện áp này đều có kèm theo sự xuất hiện hồ quang. Thuộc nhóm I có:

- 1- Quá điện áp khi cắt phụ tải điện dung như cắt đường dây dài không tải, cắt bộ tụ điện bù.
- 2- Quá điện áp khi đóng dây dài đặc biệt ở các máy cắt có bộ phận tự động đóng lại.
- 3- Quá điện áp khi cắt những dòng điện điện cảm bé, đặc biệt khi cắt máy biến áp không tải, động cơ không đồng bộ và máy bù.
- 4- Quá điện áp khi chạm đất bằng hồ quang không ổn định trong lưới có trung tính cách điện và trung tính nối đất cộng hưởng.

Nhóm II: Quá điện áp cộng hưởng

Gây nên bởi những dao động cộng hưởng trong hệ thống. Thuộc nhóm II có:

- 1- Quá điện áp cộng hưởng ở tần số làm việc (cộng hưởng điều hoà)
- 2- Quá điện áp cộng hưởng ở tần số cao
- 3- Quá điện áp cộng hưởng ở tần số thấp hơn tần số nguồn
- 4- Quá điện áp cộng hưởng tham số xảy ra do sự thay đổi chu kỳ tham số của mạch.

Quá điện áp nội bộ được đặc trưng bởi các tham số sau:

- Trị số cực đại, được đặc trưng bởi bội số của biên độ điện áp pha định mức
- Thời gian duy trì của quá điện áp (thay đổi trong một phạm vi rộng từ vài trăm micro giây (quá điện áp thao tác) đến hàng giây, thậm chí hàng chục (quá điện áp cộng hưởng).
- Tính lặp lại và mức độ lan truyền: cục bộ trong phần tử sự cố hay lan truyền toàn hệ thống.

Nói chung, quá điện áp nội bộ có thể duy trì tương đối lâu nên đối với cách điện của các trang thiết bị điện nó cũng không kém nguy hiểm so với các xung quá điện áp khí quyển trong thời gian rất ngắn, đặc biệt là đối với cách điện của các hệ thống siêu cao áp (330÷750kV) mà ở đó mức cách điện chỉ vào khoảng $(2,5\div 2)U_p$.

- Qua điện áp nội bộ là những sự kiện mà sự xuất hiện và diễn biến của nó chịu sự chi phối của nhiều yếu tố ngẫu nhiên, nên các thông số của nó mang tính chất thống kê.

Phương thức làm việc của điểm trung tính của hệ thống ảnh hưởng đến trị số của quá điện áp nội bộ.

Trong lưới có trung tính cách điện, chạm đất một pha trong phần lớn các trường hợp không phá hoại sự làm việc của hệ thống, nhưng điện áp của hai pha không chạm đất tăng lên điện áp dây. Quá điện áp nội bộ, do đó, có hệ số bội cao hơn so với trường hợp lưới có trung tính trực tiếp nối đất

Quá điện áp nội bộ có ý nghĩa quan trọng trong việc lựa chọn mức cách điện của đường dây, của các thiết bị trong trạm phân phối và trong sự phối hợp cách điện với các đặc tính của chống sét van bảo vệ.

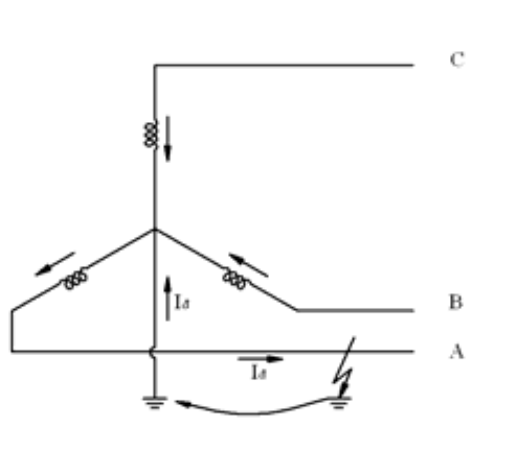
9.2 VẤN ĐỀ NỐI ĐẤT ĐIỂM TRUNG TÍNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Hệ thống điện có thể làm việc với các điểm trung tính của máy biến áp, máy phát điện được cách điện với đất hoặc được nối đất qua một cuộn điện cảm lớn (nối đất cộng hưởng) hoặc được nối đất trực tiếp.

Việc lựa chọn phương thức nối đất điểm trung tính phụ thuộc chủ yếu vào tình trạng của hệ thống khi có chạm đất một pha – là loại sự cố thường xảy ra nhất.

1- Trong hệ thống có điểm trung tính nối đất trực tiếp, chạm đất một pha là ngắn mạch một pha (H.9.1) với dòng điện ngắn mạch lớn, bộ phận rơ le bảo vệ tác động mở máy cắt điện, cách ly phần tử bị sự cố ra khỏi hệ thống. Vì bị cắt nhanh nên ở đây ngắn mạch một pha chạm đất không chuyển thành ngắn mạch hai hoặc ba pha, tác hại có tính chất cục bộ, không lan rộng trong hệ thống. Và trong phần lớn các trường hợp, phần tử bị sự cố có thể được đóng lại để làm việc nhờ thiết bị tự động đóng lại.

Khi chạm đất một pha, trong lưới có điểm trung tính trực tiếp nối đất, điện áp trên các pha không sự cố không vượt qua $0,8U_{dm}$, trong khi ở lưới có điểm trung tính cách điện, trị số đó có thể lên đến $1,15U_{dm}$.



Hình 9.1: Chạm đất một pha trong lưới có trung tính nối đất trực tiếp

Như vậy trong lưới có điểm trung tính trực tiếp nối đất, chống sét van có thể chọn theo điện áp làm việc lớn nhất bằng $0,8U_{dm}$, còn ở lưới có trung tính cách điện phải xuất phát từ điện áp làm việc lớn nhất bằng $1,15U_{dm}$. Như đã biết, trị số điện áp làm việc lớn nhất có ảnh hưởng trực tiếp đến trị số điện áp dư trên chống sét van, tức là đến mức cách điện của trang thiết bị điện.

Từ điều kiện dập tắt hồ quang của dòng điện kèm theo tần số công nghiệp trong chống sét van có thể viết:

$$U_{cp} = CI_{kt}^{\alpha_1}$$

Trong đó: U_{cp} – điện áp làm việc lớn nhất cho phép

I_{kt} – dòng điện kèm theo tần số công nghiệp qua điện trở không đường thẳng của CSV

α_1 - hệ số không đường thẳng của điện trở làm việc của CSV trong phạm vi dòng điện bé, tần số công nghiệp.

$$\text{Từ đó } C = \frac{U_{cp}}{I_{kt}^{\alpha_1}}$$

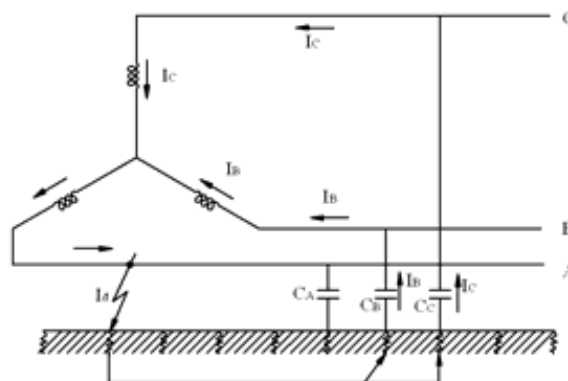
$$\text{Điện áp dư trên CSV bằng } U_{du} = CI_{kt}^{\alpha_2} = U_{cp} \frac{I_X^{\alpha_2}}{I_{kt}^{\alpha_1}}$$

với α_2 là hệ số không đường thẳng của điện trở làm việc của CSV trong phạm vi dòng điện xung trị số lớn.

Có nghĩa là với điện áp làm việc lớn nhất cho phép thấp thì điện áp dư của CSV (U_{du}) bé, do đó giảm nhẹ được mức cách điện của trang bị điện.

Nhược điểm của lưới có điểm trung tính trực tiếp nối đất là trong bộ phận có ngắn mạch một pha, do dòng ngắn mạch lớn, điều kiện làm việc của máy cắt nặng nề hơn và lực điện động trong cuộn dây máy biến áp lớn có thể làm hư hỏng cuộn dây máy biến áp, ngoài ra dòng chạm đất lớn còn gây nhiễu mạch đối với đường dây thông tin ở gần.

2- Đối với lưới có điểm trung tính cách điện thì chạm đất một pha chưa phải là ngắn mạch và trong nhiều trường hợp không yêu cầu phải cắt ngay bộ phận có sự cố. Dòng điện điện dung chạy qua chỗ chạm đất (H.9.2) có trị số được xác định bởi điện áp làm việc pha của lưới và điện dung đối với đất của các pha không sự cố: $I_d = 3\omega C_{up}$.



Hình 9.2: Chạm đất một pha trong hệ thống có trung tính cách điện

Khi dòng điện dung không lớn (tức lưới có công suất bé) thì hồ quang tại chỗ chạm đất tự dập tắt dễ dàng và nhanh chóng khi dòng điện chạm đất qua trị số không đầu tiên. Như vậy trong lưới công suất nhỏ có trung tính cách điện, khi chạm đất một pha, chế độ làm việc bình thường không bị phá hoại. Trong lưới công suất lớn thì dòng điện điện dung lớn (hàng chục, thậm chí hàng trăm ampe), hồ quang chạm đất có thể cháy lặp đi lặp lại gây nên quá điện áp đáng kể (xem mục 10.2, chương 10) và có thể làm hư hỏng cách điện.

Ngoài ra hồ quang chạm đất kéo dài ở các đường dây tải điện trên không có thể lan sang pha khác, dẫn đến ngắn mạch hai hoặc ba pha, bắt buộc hệ thống role bảo vệ phải cắt đường dây. Ở các đường dây cáp hồ quang giữa các lõi và vỏ kéo dài dẫn đến hư hỏng cách điện và gây ngắn mạch giữa các pha.

Có thể loại trừ nguyên nhân gây hồ quang chạm đất kéo dài bằng cách nối đất trung tính của máy biến áp qua một cuộn điện cảm lớn (nối đất cộng hưởng) để khử dòng điện điện dung. Như vậy nối đất cộng hưởng bảo đảm sự làm việc an toàn cho lưới có công suất tương đối lớn với dòng điện dung hàng chục đến hàng trăm ampe. Tuy nhiên trong những lưới công suất lớn, sự khử hoàn toàn dòng điện chạm đất và dập tắt hồ quang trở nên khó khăn, hơn nữa việc cắt chọn lọc phần tử sự cố cũng rất khó.

Nói chung, lưới 110kV trở lên thường được bảo vệ chống sét tốt, phóng điện trên cách điện đường dây dẫn đến chạm đất một pha cũng không thường xuyên xảy ra, nên điểm trung tính được nối đất trực tiếp. Ở đây tận dụng được các ưu điểm của nối đất trực tiếp điểm trung tính là, giảm nhẹ được mức cách điện, nhanh chóng cô lập phần tử bị sự cố, giảm được số lần ngắn mạch hai và ba pha.

Các lưới 35kV trở xuống làm việc với điểm trung tính cách điện hoặc nối đất cộng hưởng. Ở đây việc khử dòng điện điện dung của chạm đất một pha tương đối đơn giản, do đó khi chạm đất một pha, lưới vẫn làm việc bình thường. Việc nâng cao mức cách điện ở các cấp điện áp này không gây ra tốn kém nhiều như ở các lưới cấp điện áp cao hơn.

Các lưới 35kV trở xuống có dòng chạm đất một pha bé, hồ quang chạm đất có thể tự dập tắt nên không cần phải đặt cuộn dập hồ quang. Kinh nghiệm vận hành cho thấy, khi dòng điện chạm đất thỏa yêu cầu dây thì điểm trung tính của hệ thống có thể đặt cách điện với đất.

Điện áp, kV	6 ÷ 10	20 ÷ 35	35 ÷ 60
Dòng chạm đất, A	<30	<10	<5 ÷ 10

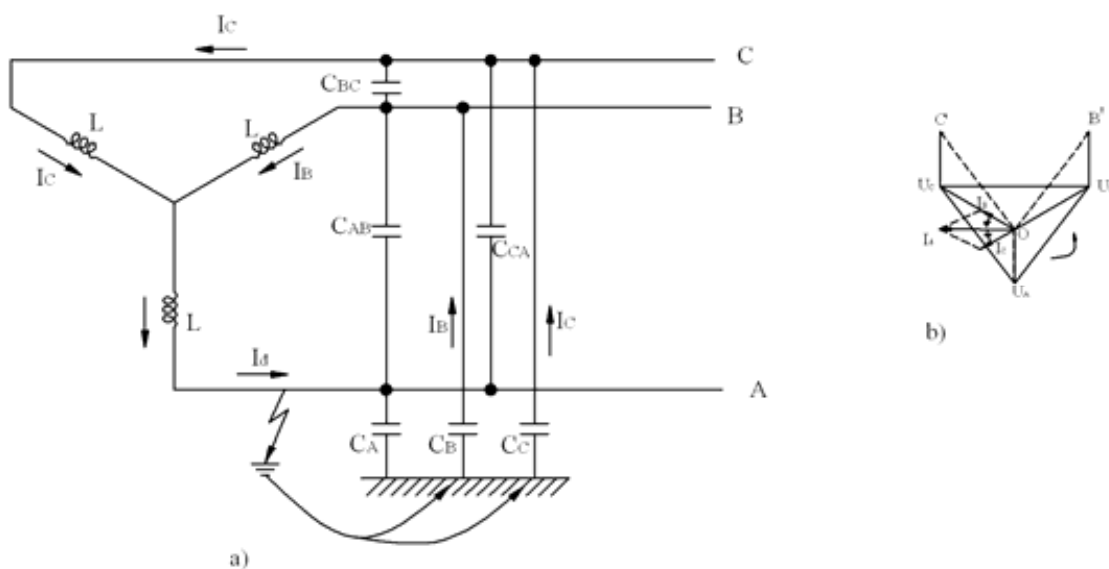
Đặc biệt với lưới điện áp máy phát, khi dòng điện chạm đất trên 5A cũng phải đặt cuộn cảm tại điểm trung tính của máy điện vì dòng điện quá lớn sẽ đốt cháy lõi thép máy điện.

Chương 10

QUÁ ĐIỆN ÁP KHI CHẠM ĐẤT MỘT PHA BẰNG HỒ QUANG TRONG LƯỚI CÓ TRUNG TÍNH CÁCH ĐIỆN

10.1 CHẠM ĐẤT MỘT PHA ỔN ĐỊNH

Loại sự cố thường xảy ra nhất trên đường dây là chạm đất một pha. Xét một hệ thống gồm một MBA có điểm trung tính cách điện và một đường dây (H.10.1)



Hình 10.1: Chạm đất một pha trong lưới có trung tính cách điện (a) và đồ thị véc tơ (b)

Để đơn giản cho tính toán, giả thiết là hệ thống đối xứng nên điện dung của các pha đối với đất bằng nhau $C_A = C_B = C_C = C$ và điện dung giữa các pha cũng bằng nhau $C_{AB} = C_{BC} = C_{CA}$.

Trong chế độ làm việc bình thường, điện thế của các dây dẫn đối với đất bằng điện áp pha. Khi một pha chạm đất thì sự đối xứng của điện áp không còn nữa. Đồ thị vectơ điện áp và dòng điện (H.10.1b) cho thấy điện thế của pha chạm đất (pha A theo hình vẽ) ở tình trạng xác lập của sự cố tăng lên bằng điện áp dây. Dòng điện chạy qua chỗ chạm đất bằng tổng hình học của dòng điện điện dung của các pha không sự cố (tức là các dòng điện qua điện dung C_B và C_C):

$$\dot{I}_d = \dot{I}_B + \dot{I}_C \quad (10.1)$$

Trị số tuyệt đối của dòng điện điện dung đó bằng:

$$I_B = I_C = \sqrt{3}U_p \omega C \quad (10.2)$$

Trong đó U_p là điện áp pha.

Như vậy trị số tuyệt đối của dòng điện chạm đất bằng:

$$I_d = 2I_B \cos 30^\circ = 2\sqrt{3}U_p \omega C \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 3U_p \omega C$$

Do trong hệ thống có điện dung và điện cảm, nên quá trình chuyển từ trạng thái ban đầu (chế độ làm việc bình thường) sang trạng thái xác lập của sự cố là một quá trình dao động quá độ, trong đó điện thế các pha không chạm đất vượt qua trị số lúc xác lập ($\sqrt{3}U_p$). Trong hệ thống ba pha, quá điện áp do chạm đất một pha bằng hồ quang ổn định có dạng những xung cao tần (chu kỳ ngắn), với biên độ vào khoảng $(2,1 \div 2,2)U_p$.

Quá trình sẽ trở nên phức tạp nếu chạm đất bằng hồ quang không ổn định, có nghĩa là hồ quang cháy tắt chập chờn. Khi đó quá trình dao động quá độ sẽ kéo dài và trị số quá điện áp phụ thuộc vào tương quan giữa tốc độ phục hồi điện áp ở pha sự cố và tốc độ phục hồi khả năng cách điện của khe phóng điện, khi dòng điện chạm đất qua trị số không (khi hồ quang tắt).

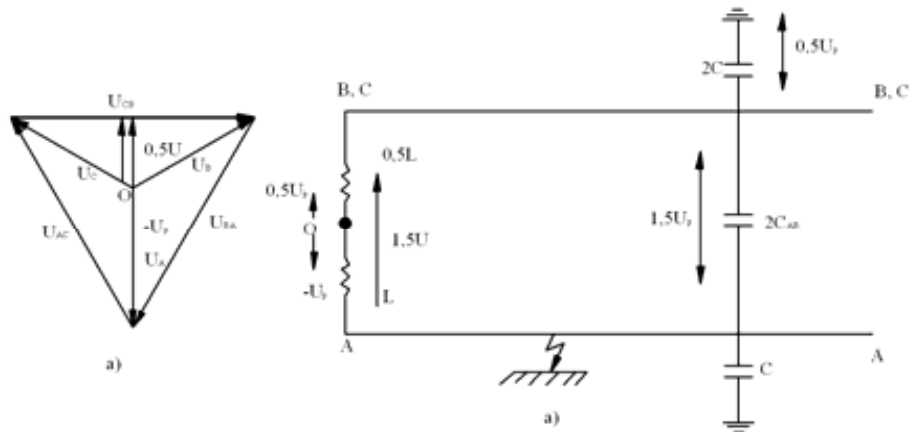
Sau đây sẽ nghiên cứu diễn biến của các quá trình này.

10.2 DIỄN BIẾN CỦA QUÁ TRÌNH CHẠM ĐẤT MỘT PHA

10.2.1 Hồ quang cháy lần thứ nhất

Để có trường hợp xấu nhất, tức quá điện áp có trị số lớn nhất, giả thiết hồ quang chạm đất pha A xảy ra vào lúc điện áp pha có trị số cực đại, ở đây lấy trị số âm $U_A = -U_p$.

Tại thời điểm đó, trị số tức thời của điện áp pha B và pha C bằng nhau và bằng $0,5U_p$ (H.10.2a) còn điện áp giữa các pha có trị số tức thời bằng: $U_{AB} = U_{AC} = 1,5U_p$



Hình 10.2: Đồ thị véctơ điện áp (a) và sơ đồ thay thế (b) vào thời điểm chạm đất pha A

Vì pha B và pha C lúc đó ở điều kiện hoàn toàn giống nhau nên trong sơ đồ thay thế (H.10.2b) chúng được ghép song song nhau. Như vậy, lúc xảy ra chạm đất, điện dung $2C$ chịu một điện áp bằng $0,5U_p$, còn điện dung $2C_{AB}$ chịu điện áp bằng $1,5U_p$. Như đã nói ở trên, ở trạng thái xác lập của sự cố, điện áp trên pha B và pha C tức điện áp trên điện dung $2C$ sẽ tăng lên bằng điện áp dây, tức bằng $1,5U_p$.

Nhưng để tiến tới trạng thái ổn định đó phải kinh qua một quá trình quá độ, quá trình này gồm hai giai đoạn:

Giai đoạn thứ nhất (t_1) tức thời khi xuất hiện hồ quang chạm đất, xảy ra sự phân bố lại điện tích giữa các điện dung $2C$ và $2C_{AB}$, lúc này đã song song với nhau (H.10.2b). Do đó điện áp trên các điện dung này được cân bằng ngay tức khắc và đạt trị số:

$$U_o^{(1)} = \frac{0,5U_p \cdot 2C + 1,5U_p \cdot 2C_{AB}}{2(C + C_{AB})} \quad (10.4)$$

$$U_o^{(1)} = 0,5U_p + kU_p$$

$$\text{với } k = C_{AB}/(C+C_{AB})$$

$U_o^{(1)}$ - điện áp ban đầu (0) trên các pha không sự cố lúc hồ quang quang cháy lần thứ nhất (1)

Như vậy tức thời lúc xảy ra chạm đất ở pha A, điện áp trên các pha không sự cố (B và C) nhảy vọt từ trị số $0,5U_p$ lên:

$$U_o^{(1)} = 0,5U_p + kU_p$$

Đối với lưới 110kV trở lên, thường $C = 4C_{AB} \Rightarrow k = 0,2$ nên điện áp trên pha không sự cố tức thời được nâng lên đến trị số $U_o^{(1)} = 0,7U_p$, còn trong lưới 35kV thường $C = 3C_{AB} \Rightarrow k = 0,25$, nên trên các pha không sự cố có thể đạt đến trị số $U_o^{(1)} = 0,75U_p$.

Giai đoạn thứ hai là quá trình dao động quá độ của điện áp trên các pha không sự cố (B,C) từ trị số ban đầu $U_o^{(1)}$ đến trị số xác lập của sự cố là trị số điện áp dây (trong trường hợp này là $1,5U_p$).

Biên độ của dao động được xác định bằng hiệu số của trị số điện áp lúc ổn định và lúc ban đầu: $U_{gd}^{(1)} = U_{o,d} - U_{bd} = 1,5U_p - U_o^{(1)}$

$$U_{gd}^{(1)} = 1,5U_p - (0,5U_p + kU_p) = (1-k)U_p \quad (10.5)$$

Tần số dao động được xác định theo các thông số của mạch dao động (sơ đồ thay thế hình 10.2b):

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_o C_o}}$$

với: $L_o = 1,5L$, $C_o = 2(C + C_{AB})$

L – điện cảm tản của cuộn dây MBA

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{3L(C + C_{AB})}} \quad (10.6)$$

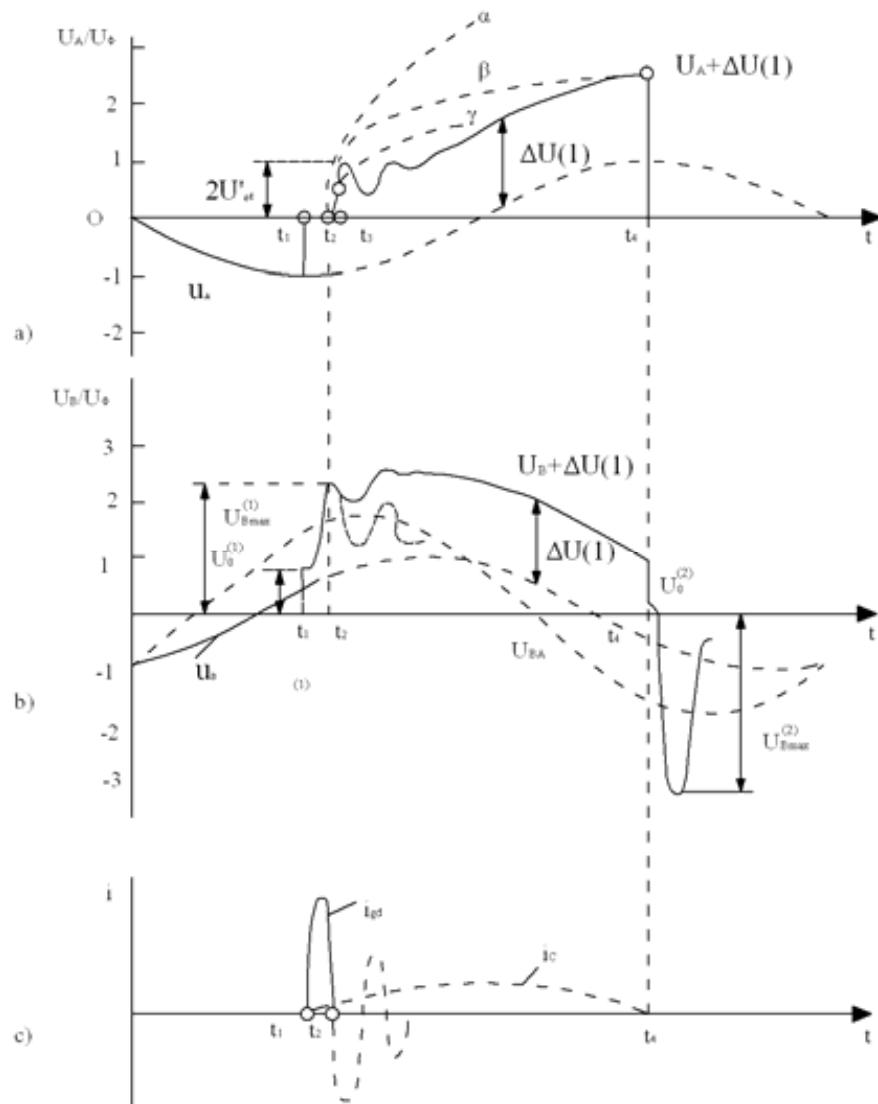
(Tần số của dao động tự do này lớn hơn tần số công nghiệp hàng chục lần)

Sự biến thiên theo thời gian của điện áp trên các pha không sự cố (B,C) được biểu thị bởi phương trình (H.10.3a).

$$U_{B,C}^{(1)}(t) = 1,5U_p - (1-k)U_p \cos \omega_1 t . e^{-\alpha t} \quad (10.7)$$

Trong đó α là hệ số tắt dần, do có tổn hao trên dây dẫn và trong MBA.

$\alpha \ll \omega_1$ vì trong thiết kế hệ thống phải chú ý sao cho tổn hao bé nhất có thể.



Hình 10.3: Biến thiên của điện áp trên pha chạm đất (a), trên pha không chạm đất (b) và dòng điện trong pha chạm đất (c)

Điện áp này đạt trị số cực đại vào giữa chu kỳ của dao động tự do, tức là lúc: $(\omega_1 t = \pi)$

$$t = t_2 = \frac{T_1}{2} = \frac{\pi}{\omega_1}$$

Vì $\omega_1 \gg \omega$ nên điện áp U_{AB} và U_{BC} tại thời điểm này (t_2) thực tế không thay đổi đáng kể, coi như bằng giá trị lúc xảy ra chạm đất, tức bằng $1,5U_p$ và nếu thay $\alpha t = \alpha\pi / \omega_1 = d$ với chú ý $\alpha \ll 1$ tức $d \ll 1$ thì trong tính toán gần đúng có thể thay $e^{-d} = 1-d$

$$\text{Do đó } U_{B,C \max}^{(1)} = 1,5U_p + (1-k)(1-d)U_p \quad (10.8)$$

Trị số điện áp lớn nhất trên các pha không sự cố B,C có thể đạt đến $2,22U_p$ (ứng với $\cos\phi = 0,2; d = 0,1$) ở lần cháy đầu tiên của hồ quang.

Dòng điện chạy qua chỗ chạm đất gồm hai thành phần xếp chồng lên nhau (H.10.3c).

- Thành phần xác lập (cường bức) $I_c = 3\omega CU_p \sin\omega t$

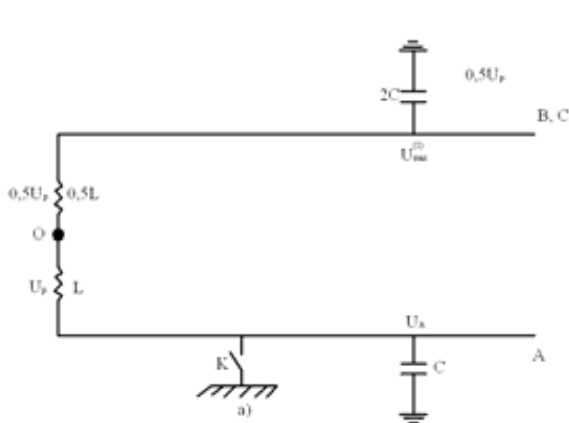
- Thành phần dao động tự dao động $I_{gd} = 3\omega_1(C+C_{AB})U_p \sin\omega_1 t$

Vì $\omega_1 \gg \omega$ nên biên độ $I_{gd} = I_c$, thành phần dao động tự do của dòng điện chạm đất qua trị số không gần vào lúc điện áp trên pha không sự cố đạt trị số cực đại $U_{\max}^{(1)}$ (lúc $t = t_2$ trên hình 10.3, vì là dòng điện điện dung nên nó vượt trước điện áp 90°). Khi dòng điện chạm đất qua trị số 0 thì hồ quang có khả năng bị dập tắt nên tốc độ phục hồi cách điện của khe hồ quang (tức quá trình khử ion trong khe hồ quang đủ mạnh) nhanh hơn tốc độ phục hồi điện áp trên pha sự cố (pha A).

Trường hợp hồ quang bị dập tắt

Nếu hồ quang tắt khi dòng điện dao động tự dao động qua trị số không lần thứ nhất, thì lúc đó trên các điện dung $2C$ của các pha không sự cố tồn tại một điện tích bằng $2C U_{\max}^{(1)}$ trong khi trên điện dung C của pha sự cố điện tích bằng không, như vậy lập tức có sự phân bố lại điện tích giữa chúng làm cho trên điện dung của cả ba pha xuất hiện một lượng gia tăng điện áp $\Delta U^{(1)}$, xếp chồng lên điện áp nguồn:

$$\Delta U^{(1)} = U_{\max}^{(1)} \frac{2C}{2C + C} = \frac{2}{3} U_{\max}^{(1)} \quad (10.9)$$



Hình 10.4: Sơ đồ thay thế khi hồ quang tắt (khoá K mở)

Điều này tương đương với sự xe dịch điện thế của điểm trung tính của hệ thống một lượng $\Delta U^{(1)}$.

Sự chuyển dịch điện tích từ điện dung của các pha không sự cố sang điện dung pha sự cố đi qua điện cảm của các cuộn dây của MBA, gây ra dao động với tần số.

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L(C + 3C_{AB})}} \gg \omega \quad (10.10)$$

ω_2 được xác định bởi thông số của sơ đồ thứ tự thuận, do khi hồ quang tắt sơ đồ trở lại đối xứng, ω_2 lớn gần gấp đôi so với ω_1

Khi hồ quang cháy, điện áp trên pha chạm đất (A) bằng không, khi hồ quang tắt và đạt tình trạng xác lập thì:

$$U_A = -U_p + \Delta U^{(1)} = -U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(1)} \quad (10.11)$$

Như vậy biên độ của dao động điện áp trên pha A sẽ bằng:

$$U'_{gd} = -U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(1)} - 0 \quad (10.12)$$

Hình 10.3a trình bày sự biến thiên của điện áp trên pha chạm đất (A) sau khi hồ quang tắt. Đỉnh đầu tiên có trị số bằng:

$$2U'_{gd} = 2(-U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(1)}) \quad (10.13)$$

thường được gọi là đỉnh tắt.

Tóm lại, giả sử hồ quang tắt lúc dòng điện dao động tự do qua trị số không đầu tiên thì điện áp trên pha sự cố (A) phục hồi đến trị số $2U'_{gd}$ với độ dốc khá lớn (do ω_2 lớn) tức là với tốc độ rất nhanh, điều đó nói lên là hồ quang khó có thể bị dập tắt ở thời điểm này.

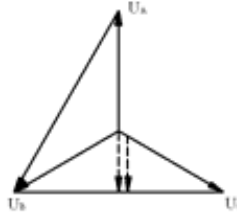
Điện áp trên các pha không sự cố (B,C) khi hồ quang tắt sẽ có trị số xác lập bằng:

$$U_{B,C} = 0,5U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(1)} \quad (10.24)$$

Như vậy, ở tình trạng xác lập sau khi hồ quang tắt, điện áp trên các pha gồm hai thành phần:

- Thành phần điện áp cung cấp bởi sức điện động của nguồn (thay đổi theo tần số nguồn)
- Thành phần điện áp gia tăng $\Delta U^{(1)}$ do sự phân bố lại điện tích giữa điện dung các pha không sự cố (2C) và điện dung pha sự cố C. Thành phần này không thay đổi cho đến khi hồ quang cháy lại.

10.2.2 Hồ quang cháy lần thứ hai



Hình 10.5: Đồ thị vécto của thành phần điện áp nguồn sau nửa chu kỳ tần số nguồn (tại thời điểm t_4)

Sau một nửa chu kỳ tần số công nghiệp, điện áp trên các pha có các trị số tức thời như sau:

$$U_A = U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(1)} \quad (10.15)$$

$$U_{B,C} = 0,5U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(1)} \quad (10.16)$$

Điện áp trên pha A khá lớn, do đó hồ quang có khả năng cháy lại. Khi hồ quang cháy lại, sơ đồ thay thế tương tự như hình 10.2, tức khắc có sự phân bố lại điện tích trên điện dung các pha không sự cố với điện tích trên điện dung giữa các pha. Điện áp trên các điện dung này ($2C$ và $2C_{AB}$) cân bằng ngay tức khắc và đạt trị số:

$$U_o^{(2)} = \frac{2C(-0,5U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(1)}) + 2C_{AB}(-1,5U_p)}{2(C + C_{AB})}$$

$$= 0,5U_p - kU_p + \frac{2}{3}(1-k)U_{\max}^{(1)} < U_o^{(1)} \quad (10.17)$$

$$= -(0,5 + k)U_p + 1,17U_p = 0,47U_p < 0,75U_p$$

với $k = 0,2$

Điện áp trên các pha không chạm đất sẽ xuất phát từ trị số ban đầu $U_o^{(2)}$ để đến trị số xác lập $-1,5U_p$ sau một quá trình dao động với biên độ

$$U_{gd}^{(2)} = -1,5U_p - U_o^{(2)} = -(U_p + 2/3U_{\max}^{(1)}) \cdot (1-k) > U_{gd}^{(2)} \quad (10.18)$$

Và tần số dao động ω_1 .

Trị số cực đại của điện áp trên các pha không chạm đất (B,C) sẽ bằng:

$$U_{B \max}^{(2)} = -1,5U_p + U_{gd}^{(2)}(1-d) = -1,5U_p - (1,5U_p + U_o^{(2)})(1-d) > U_{\max}^{(1)} \quad (10.19)$$

$$U_o^{(2)} < U_o^{(1)} \Rightarrow U_{gd}^{(2)} > U_{gd}^{(1)} \text{ nên } U_{\max}^{(2)} > U_{\max}^{(1)}$$

tức là khi hồ quang cháy lần thứ hai, điện áp trên các pha không sự cố lớn hơn khi hồ quang cháy lần thứ nhất.

Như vậy có thể khái quát hoá là, quá điện áp khi hồ quang cháy lần sau lớn hơn khi cháy lần trước.

Tuy nhiên sự gia tăng này có tính chất hội tụ, nghĩa là cuối cùng điện áp cực đại trên các pha không sự cố sẽ tiến đến một giới hạn nhất định. Về mặt bản chất vật lý, điều này có thể giải thích như sau: Sở dĩ điện áp trên các pha không sự cố tăng cao là do điện dung $2C$ của nó được nạp thêm điện tích mỗi khi hồ quang cháy lại, nhưng khi hồ quang tắt thì điện tích này phải san sẻ cho điện dung C của pha sự cố, để rồi khi hồ quang cháy lại, do điện dung C của pha sự cố bị nối đất, điện tích của nó theo khe hồ quang và mất đi trong đất. Khi hai lượng điện tích gia tăng và mất đi cân bằng nhau thì quá điện áp đạt trị số giới hạn.

10.2.3 Giới hạn của quá điện áp

Giả thiết khi hồ quang lần thứ $(n-1)$ vừa tắt, điện áp trên các pha có giá trị:

$$U_A = -U_p + \Delta U^{(n-1)}$$

$$U_B = 0,5U_p + \Delta U^{(n-1)}$$

với $\Delta U^{(n-1)}$ là lượng điện áp gia tăng do sự phân bố lại điện tích giữa điện dung C của các pha khi hồ quang lần thứ $(n-1)$ vừa tắt

$$\Delta U^{(n-1)} = 2/3U_{\max}^{(n-1)}$$

Như vậy sau nửa chu kỳ của nguồn, điện áp trên các pha sẽ là:

$$U_A = U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(n-1)}$$

$$U_B = -0,5U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(n-1)}$$

Khi hồ quang cháy lại (lần thứ n) sẽ có sự phân phối lại điện tích giữa các điện dung $2C$ và $2C_{AB}$, làm cho điện áp trên chúng cân bằng ngay tức khắc và đạt trị số:

$$U_o^{(n)} = \frac{2C(-0,5U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(n-1)}) - 2C_{AB}1,5U_p}{2(C + C_{AB})}$$

Xuất phát từ trị số ban đầu này, điện áp trên các pha không sự cố sẽ dao động với tần số ω_1 và biên độ:

$$U_{gd}^{(n)} = -1,5U_p - U_o^{(n)} = -(U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(n-1)}).(1-k)$$

Và trị số cực đại của điện áp trên các pha không sự cố bằng:

$$U_{\max}^{(n)} = -1,5U_p + U_{gd}^{(n)}(1-d) = -1,5U_p - (1-k)(1-d)(U_p + \frac{2}{3}U_{\max}^{(n-1)})$$

Khi qua điện áp đạt đến trị số giới hạn, có nghĩa là:

$$U_{\max}^{(a)} = U_{\max}^{(a-1)}$$

$$\text{Từ đó suy ra: } U_{\max}^{(a)} = U_p \frac{1,5 + (1-k)(1-d)}{1 - \frac{2}{3}(1-k)(1-d)} \quad (10.20)$$

với $k = 0,2 \div 0,25$, $d = 0,1 \div 0,3$ thì trị số lớn nhất của điện áp trên các pha không sự cố sẽ nằm trong phạm vi: $U_{\max} = (3,5 \div 4,3)U_p$.

Trị số đo được trong thực tế bé hơn so với kết quả tính toán và vào khoảng từ $(3 \div 3,5)U_p$ vì trong tính toán đã chọn các giá thiết theo các điều kiện nặng nề nhất

Tóm lại, quá điện áp do chạm đất một pha bằng hồ quang không ổn định trong lưới có trung tính cách điện có các đặc điểm sau:

- Về biên độ, trị số đo được thông thường vào khoảng $3U_p$, thỉnh thoảng bằng $3,5U_p$.
- Về dạng sóng là dạng dao động cao tần xếp chồng lên điện áp nguồn tần số công nghiệp (50Hz)

Thời gian duy trì của quá điện áp bằng thời gian tồn tại của hồ quang không ổn định.

Trong lưới có điểm trung tính cách điện, do bảo vệ role không cắt chạm đất một pha nên thời gian duy trì của quá điện áp có thể kéo dài hàng chục giây đến hàng phút. Do đó quá điện áp sẽ lan truyền rộng trong lưới có liên quan về điện và có thể gây nên phóng điện trên cách điện của các pha không sự cố ở bất kỳ nơi nào có cách điện yếu.. tức là xuất hiện chạm đất hai pha ở hai nơi khác nhau, gây khó khăn cho sự làm việc chọn lọc của hệ thống role bảo vệ.

Vì vậy khả năng pha hoại cách điện của loại quá điện áp do chạm đất một pha bằng hồ quang không ổn định rất lớn.

Để hạn chế trị số quá điện áp và thời gian duy trì của nó, biện pháp hợp lý nhất là giảm dòng điện chạm đất và giảm tốc độ phục hồi điện áp ở pha sự cố bằng cách nối vào trung tính của máy biến áp hay máy phát một cuộn điện kháng. Cuộn điện kháng này thường được gọi là cuộn dập hồ quang theo chức năng của nó, hoặc là cuộn Petersen theo tên gọi của người phát minh ra nó (kỹ sư Petersen - người Đức).

10.3 NỐI ĐẤT ĐIỂM TRUNG TÍNH QUA CUỘN DẬP HỒ QUANG

10.3.1 Tác dụng giảm dòng điện chạm đất

Như đã biết trong hệ thống đối xứng, điện dung đối với đất của các pha bằng nhau và điện thế của điểm trung tính trong chế độ bình thường bằng không, do đó không có dòng chạy qua cuộn dây, nhưng khi có ngắn mạch chạm đất một pha thì điện thế của điểm trung tính bằng điện áp thứ tự không, bằng U_p , và trong cuộn dây xuất hiện dòng điện.

$$\dot{I}_K = \frac{\dot{U}_P}{r_o + j\omega L_o} \cong \dot{U}_P \left[\frac{r_o}{(\omega L_K)_2} - j \frac{1}{\omega L_K} \right]$$

Vì $r_o \ll \omega L_o$ nên dòng chạy qua cuộn dây gần đúng bằng:

$$\dot{I}_K \cong \dot{U}_P \left[\frac{r_o}{(\omega L_K)_2} - j \frac{1}{\omega L_K} \right] \quad (10.21)$$

với L_o - điện cảm thứ tự không, thực tế bằng L_K :

$$L_o = L_K + \frac{L}{3} \cong L_K$$

r_o - điện trở tác dụng thứ tự không, thực tế bằng r_K :

$$r_o = r_K + \frac{r}{3} \cong r_K$$

Dòng điện chạm đất I_d trong thực tế gồm dòng điện điện dung và dòng điện tác dụng, do có tổn hao rò điện trên cách điện, tổn hao vàng quang đối với đường dây trên không và tổn hao điện môi đối với đường dây cáp.

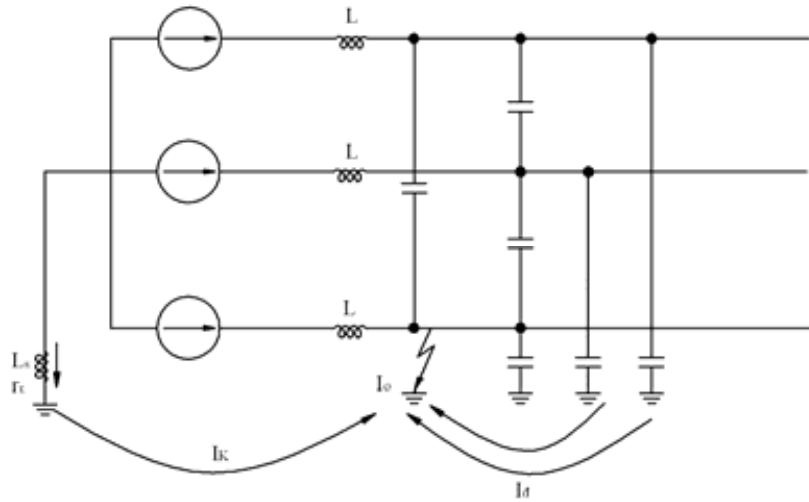
$$\dot{I}_d = \dot{U}_P (g + j3\omega C) \quad (10.22)$$

Như vậy dòng điện tổng qua chỗ chạm đất bằng:

$$\dot{I}_o = \dot{I}_d + \dot{I}_K = \dot{U}_p \left[\left(g + \frac{r_K}{(\omega L_K)^2} + j(3\omega C - \frac{1}{\omega L_K}) \right) \right] = \dot{I}_a + j(I_c - I_L) \quad (10.23)$$

$$I_o = \sqrt{I_a^2 + (I_c - I_L)^2}$$

với $I_a = U_p \left(g + \frac{r_K}{(\omega L_K)^2} \right)$; $I_L = U_p \frac{1}{\omega L_K}$; $I_c = U_p \cdot 3\omega C$



Hình 10.6: Chạm đất một pha trong lưới có trung tính nối đất qua cuộn điện kháng

Để có một khái niệm so sánh dòng điện qua chỗ chạm đất I_o khi có cuộn dập hồ quang và I_c khi chưa có cuộn dập hồ quang ở điểm trung tính, có thể viết biểu thức dòng điện qua chỗ chạm đất dưới dạng:

$$\dot{I}_o = j I_c \left(1 - \frac{I_L}{I_c} - j \frac{I_a}{I_c} \right) = j I_c (1 - q - j \delta) \quad (10.24)$$

với $q = \frac{I_L}{I_c} = \frac{1/\omega L_K}{3\omega C} = \frac{1}{3\omega^2 L_K C} = \frac{\omega_o^2}{\omega^2}$ là hệ số bù (10.25)

$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{3L_K C}}$ là tần số góc của dao động riêng của lưới có cuộn cảm ở điểm trung tính.

$$\delta = \frac{I_a}{I_c} = \frac{g + \frac{r_K}{(\omega L_K)^2}}{3\omega C} \approx \frac{g}{3\omega C} + \frac{r_K}{\omega L_K} \approx \frac{r_K}{\omega L_K} \quad (10.26)$$

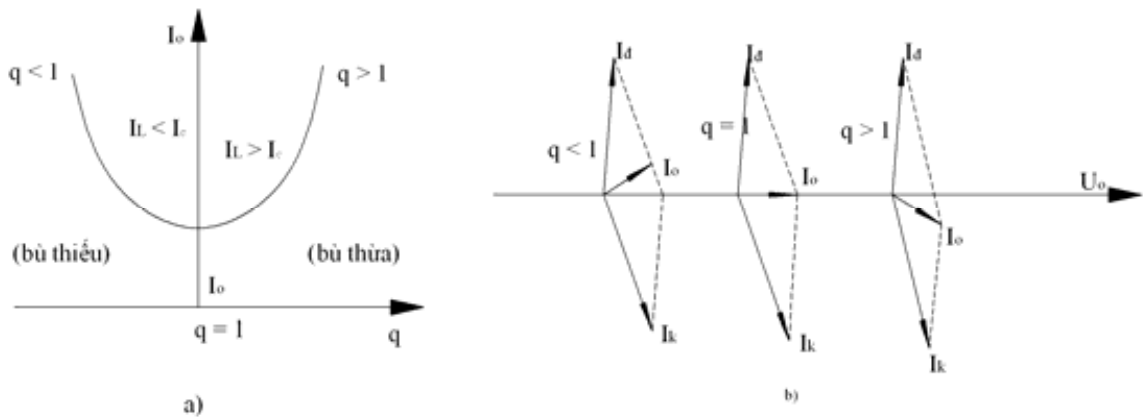
$$I_o = \sqrt{I_a^2 + I_c^2(1-q)^2} \quad (10.27)$$

- Khi $q < 1$ tức $I_L < I_C$, dòng điện qua chỗ chạm đất có tính chất điện dung, gọi là chế độ bù thiếu ($\omega_o < \omega$)

- Khi $q > 1$ tức $I_L > I_C$ dòng điện qua chỗ chạm đất có tính chất điện cảm, gọi là chế độ bù thừa ($\omega_o < \omega$)

- Khi $q = 1$ tức $I_L = I_C$ gọi là chế độ bù chính xác hay bù cộng hưởng, dòng điện qua chỗ chạm đất bé nhất và bằng thành phần tác dụng:

$$I_o = I_a = I_c \cdot \delta \cong \frac{I_c}{\omega L_K / r_k}$$



Hình 10.7: Các chế độ bù: a) Biểu diễn quan hệ $I_o = f(q)$ b) Đồ thị vectơ dòng điện ứng với các chế độ bù khác nhau

Như vậy cuộn dập hồ quang đã làm giảm dòng điện chạm đất một pha được ($\omega L_K / r_k$) lần so với khi không có cuộn dập hồ quang. Ví dụ trong hệ thống 35kV, cuộn dập hồ quang thường có $\omega L_K = 20r_k$, như vậy khi trung tính được nối đất qua cuộn dập hồ quang, dòng điện chạm đất một pha giảm 20 lần, tạo điều kiện dễ dàng cho sự dập tắt hồ quang.

Điều kiện để cho dòng điện chạm đất bé nhất cũng là điều kiện cộng hưởng dòng điện vì $\omega_o = 1/\sqrt{3L_K C} = \omega$. Vì thế, nối đất qua cuộn dập hồ quang cũng còn được gọi là nối đất cộng hưởng.

Trong điều kiện vận hành không phải luôn luôn có thể đạt được bù chính xác, nhưng dòng điện chạm đất trong trường hợp bù lệch chút ít so với chế độ bù chính xác cũng không

khác nhiều so với thành phần tác dụng I_a bởi vì I_a và $(I_c - I_L)$ đều dưới dạng tổng bình phương.

10.3.2 Tác dụng giảm tốc độ phục hồi điện áp trên pha chạm đất.

Trong lưới có cuộn dập hồ quang, khi hồ quang cháy lần thứ nhất, quá trình xảy ra cũng tương tự như trong lưới có trung tính cách điện, tức là cũng kèm theo quá trình dao động mà tần số và biên độ của dao động ít phụ thuộc vào sự có mặt của cuộn cảm, vì cuộn cảm có trở kháng lớn đối với dòng điện cao tần. Cũng do nguyên nhân đó, cuộn cảm không có ảnh hưởng đến thành phần cao tần của quá trình quá độ xảy ra sau khi hồ quang tắt, lúc dòng điện cao tần qua trị số không.

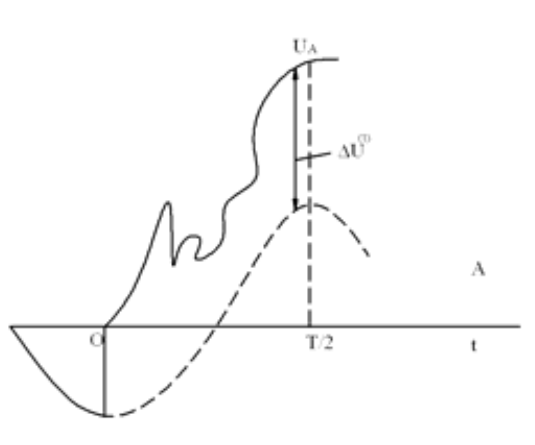
Như đã trình bày ở trên, khi thành phần cao tần của dòng điện chạm đất qua trị số không, hồ quang tắt. Lập tức có sự phân bố điện tích từ điện dung $2C$ của các pha không sự cố cho điện dung C của pha sự cố, tạo nên trên các pha (và trên trung tính) lượng gia tăng điện áp $\Delta U^{(1)}$ xếp chồng lên điện áp nguồn.

Khi không có cuộn dập hồ quang, điện áp trên pha sự cố (A) sau một nửa chu kỳ tần số công nghiệp bằng.

$$U_A = U_p + \Delta U^{(1)} = U_p + \frac{2}{3} U_{\max}^{(1)} \approx U_p + \frac{2}{3} \times 2,2 U_p \approx 2,5 U_p$$

tức là sau khoảng thời gian $\frac{T}{2}$ (0,01s), điện áp phục hồi trên pha sự cố (A) cao hơn $2U_p$

(H.10.8), do đó hồ quang dễ dàng cháy trở lại.

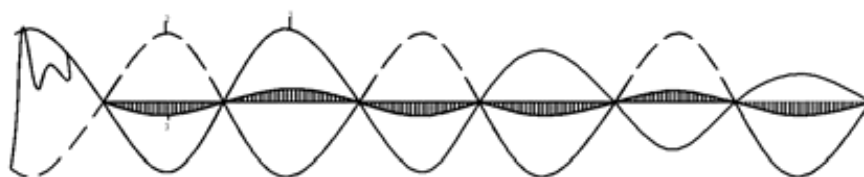


Hình 10.8: Phục hồi điện áp trên pha sự cố (a) khi không cuộn cảm ở trung tính

Khi có cuộn dây hồ quang ở điểm trung tính, điện tích phân bố lại trên các điện dung C dòng điện qua cuộn cảm gây nên dao động tắt dần với tần số riêng:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{(L_k + L/3)3C}} \approx \frac{1}{\sqrt{3L_k C}}$$

tức xấp xỉ tần số nguồn trong chế độ bù chính xác, nói khác đi, lượng gia tăng điện áp $\Delta U^{(1)}$ trong trường hợp này dao động tắt dần với tần số xấp xỉ tần số nguồn và đạt đến trị số không sau hành loạt nửa chu kỳ. Xếp chồng dao động này (H.10.9 - đường cong s) lên điện áp nguồn của pha chạm đất (đường 2) sẽ có được điện áp phục hồi (đường 3) trên pha này.



1- Dao động tự do; 2- Điện áp nguồn; 3- Điện áp tổng trên pha sự cố

Hình 10.9: Đường cong phục hồi điện áp trên pha sự cố khi hồ quang tắt lúc dòng cao tần qua trị số không.

Như vậy sau hàng loạt nửa chu kỳ, điện áp trên pha sự cố (A) mới phục hồi đến trị số U_p , trong thời gian đó khả năng cách điện của khe phóng điện đã được phục hồi, hồ quang không còn có khả năng cháy lại.

Khi bù không chính xác ($q \neq 1$) thì điện áp phục hồi có dạng phách với tần số đường bao bằng:

$$\Omega = \frac{|\omega_0 - \omega|}{2} = \frac{\omega(\sqrt{p} - 1)}{2} \approx \frac{\omega|q - 1|}{4} = \frac{2\pi(q - 1)}{4T}; (\omega = \frac{2\pi}{T})$$

$$\text{Và chu kỳ dao động: } T_\Omega = \frac{2\pi}{\Omega} = \frac{4T}{q - 1}$$

Như vậy, điện áp phục hồi sẽ đạt trị số cực đại sau một thời gian gần bằng $\frac{T_\Omega}{4}$ tức là sau

$\frac{1}{q - 1}$ chu kỳ tần số công nghiệp. Lúc này dao động tự do đã tắt một phần và trị số cực đại của điện áp phục hồi gần đúng bằng:

$$U_{\max} \cong U_p \left[1 + \exp\left(\frac{-\delta\omega t}{2(q-1)}\right) \right] = U_p \left[1 + \exp\left(\frac{-\delta\pi}{(q-1)}\right) \right] \quad (10.29)$$

Như vậy, bù càng không chính xác thì thời gian đạt đến điện áp phục hồi cực đại càng ngắn, tức là làm tăng tốc độ phục hồi điện áp và biên độ của nó, do đó tăng xác suất hồ quang cháy lại.

Tuy nhiên, ngay cả trong trường hợp này tốc độ phục hồi điện áp vẫn chậm hơn khi không có cuộn dập hồ quang.

Nhờ có tác dụng giảm tốc độ phục hồi điện áp trên pha sự cố, cuộn dập hồ quang có thể dập tắt được dòng điện lớn hơn nhiều so với dòng điện chạm đất trong hệ thống có điểm trung tính cách điện. Thực nghiệm cho thấy, khi chỉnh định cuộn điện cảm ở gần mức bù chính xác thì có thể dập tắt được cả dòng điện tác dụng tới 100 A trong hệ thống 220 kV. Bù không chính xác sẽ làm xấu rất nhiều điều kiện dập hồ quang. Vì vậy hiện nay thường dùng cuộn dập hồ quang có trang bị bộ phận điều chỉnh tự động để đảm bảo trạng thái bù gần chính xác (chênh lệch khoảng 5÷10%).

10.3.3 Tình trạng làm việc không đối xứng của hệ thống có cuộn dập hồ quang

Trước đây để đơn giản trong tính toán ta đã giả thiết hệ thống hoàn toàn đối xứng, tức là điện dung của các pha đối với đất bằng nhau. Do đó điện thế của điểm trung tính bằng không so với đất. Trong thực tế ít nhiều điện dung các pha có khác nhau: $C_A \neq C_B \neq C_C$. Như vậy, điện thế của điểm trung tính đối với đất có lệch chút ít. Độ lệch điện thế được tính theo công thức:

$$\dot{U}_o = \frac{\sum \dot{U}_i y_i}{\sum y_i} = \frac{\dot{U}_A y_A + \dot{U}_B y_B + \dot{U}_C y_C}{y_A + y_B + y_C} \quad (10.30)$$

Ví dụ khi ba pha của đường dây cùng nằm trên một mặt phẳng ngang thì điện dung của pha giữa nhỏ hơn hai pha bên khoảng 10% nên $U_o = 0,035U_p$. Trong một số trường hợp sự cố lớn hơn, ví dụ khi một pha đứt thì $C_1 = C_2$ còn $C_3 = 0$ và U_o có thể đến $0,5U_p$.

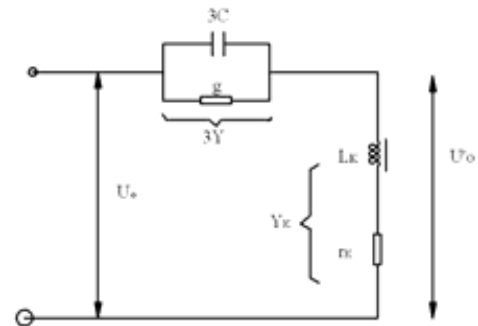
Khi có cuộn dập hồ quang, độ lệch điện thế của điểm trung tính sẽ tăng lên nhiều và được xác định theo:

$$\dot{U}_o' = \frac{\dot{U}_A y_A + \dot{U}_B y_B + \dot{U}_C y_C}{y_A + y_B + y_C + y_K} \quad (10.31)$$

với $y_K = \frac{r_K}{(\omega L_K)^2} - j \frac{1}{\omega L_K}$ Đặt $y_A + y_B + y_C = 3Y$

$$\text{thì } \dot{U}_o' = \dot{U}_o \frac{3Y}{3Y + y_K} \quad (10.32)$$

Công thức này tương đương với sơ đồ thay thế (H.10.10) gồm một sức điện động U_o đặt vào một mạch gồm điện dẫn $3Y$ ghép nối tiếp với điện dẫn y_K . Thực chất đây là một mạch ghép nối tiếp gồm điện dung đường dây với điện cảm cuộn dập hồ quang. Mạch dao động này có thể khiến cho độ lệch điện thế của trung tính \dot{U}_o' vượt quá rất nhiều so với \dot{U}_o khi không có cuộn dập hồ quang.



Hình 10.10: Sơ đồ thay thế xác định độ lệch của trung tính khi có cuộn dập hồ quang

Để tính toán gần đúng, ta thay điện dung của các pha bằng trị số trung bình của chúng :

$$C = \frac{C_A + C_B + C_C}{3}$$

Như vậy độ lệch của điểm trung tính có trị số gần đúng bằng:

$$\dot{U}_o' = \dot{U}_o \frac{g + 3j\omega C}{g + 3j\omega C + \frac{r_K}{(\omega L_K)^2} - j \frac{1}{\omega L_K}} \quad (10.330)$$

bỏ qua g tử số, chia tử số và mẫu số cho $3j\omega C$ ta có:

$$\dot{U}_o' = \dot{U}_o \frac{1}{1 - \frac{1}{3\omega^2 L_K C} - j \frac{g + \frac{r_K}{(\omega L_K)^2}}{3\omega C}} \quad (10.34)$$

biết rằng $\frac{1}{3\omega^2 L_K C} = \left(\frac{\omega_o}{\omega}\right)^2 = q$ và $\frac{g + \frac{r_k}{(\omega L_K)^2}}{3\omega C} = \delta$

$$\text{vậy } U'_o = U_o \frac{1}{(1-q) - j\delta} \quad (10.35)$$

Như vậy khi bù chính xác (cộng hưởng) $q = 1$ thì trị số tuyệt đối của độ lệch trung bình sẽ bằng: $U'_o = U_o \frac{1}{\delta} \cong U_o \frac{\omega L_K}{r_k}$

tức là khi cuộn dập hồ quang ở chế độ bù cộng hưởng, độ lệch điện thế của điểm trung tính sẽ tăng gấp $\frac{\omega L_K}{r_k}$ lần.

Tóm lại, ở chế độ bù cộng hưởng nếu cuộn dập hồ quang có tác dụng làm giảm dòng điện chạm đất $\frac{\omega L_K}{r_k}$ lần thì nó cũng làm tăng điện thế của điểm trung tính lên bấy nhiêu lần.

Khi hệ thống làm việc bình thường thì độ lệch trung tính này không gây nguy hiểm trực tiếp cho cách điện, ví dụ với $U_o = 0,35U_p$; $\frac{\omega L_K}{r_k} = 20$ thì $U'_o = 0,7U_p$. Lúc đó ở một pha điện

áp giảm $0,3U_p$ còn ở hai pha còn lại điện áp tăng lên gần bằng $1,5U_p$. Độ lệch lớn kéo dài như vậy không thể cho phép vì nó làm tăng tổn hao vàng quang và gây nhiễu mạnh đối với đường dây thông tin. Khi hệ thống có sự cố, như đứt một dây hoặc đóng cắt không đồng bộ, độ lệch của trung tính có thể vượt quá mức điện áp pha, gây nguy hiểm cho cách điện của các pha.

Vì vậy, trong hệ thống có cuộn dập hồ quang phải đặc biệt chú ý đến sự cân bằng điện dung của các pha đối với đất, bằng cách hoán vị dây dẫn.

10.3.4 Cách chọn chế độ làm việc của cuộn dập hồ quang.

Do khi làm việc ở chế độ bù cộng hưởng ($q = 1$) điện thế của điểm trung tính tăng lên nhiều, nên người ta thường chỉnh định điện cảm của cuộn dây theo chế độ bù thừa $q > 1$ nhưng cũng không quá $5 \div 10\%$. Không chọn theo chế độ bù thiếu vì nếu như vậy sẽ có khả năng xảy ra cộng hưởng, khi trong vận hành cần thiết phải cắt một hoặc vài đường dây của lưới, làm cho dòng điện điện dung giảm đi.

Cuối cùng, cần nhấn mạnh thêm rằng, không thể dùng cuộn dập hồ quang cho các hệ thống siêu cao áp (330kV trở lên) và ngay cả hệ thống 220kV khi chiều dài đường dây qua

300km. Trong các hệ thống này dòng điện vầng quang khá lớn. Dòng điện vầng quang cùng pha với điện áp nên không được bù, do đó hồ quang khó có thể dập tắt.

Cũng như ở hệ thống có trung tính cách điện, hệ thống có trung tính nối đất qua cuộn dập hồ quang cho phép tiếp tục làm việc kho một pha chạm đất, nhưng cần phát hiện và loại trừ nhanh chóng để tránh sự cố lan sang pha khác hoặc xảy ra ở một nơi khác, cũng như để giảm bớt ảnh hưởng gây nhiễu đối với hệ thống đường dây thông tin.

Chương 11

QUÁ ĐIỆN ÁP CỘNG HƯỞNG

11.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Hệ thống điện chứa rất nhiều phần tử có điện cảm lớn (như máy phát điện, máy biến áp, cuộn cảm ..) và điện dung lớn (như đường dây cáp tải điện, các tụ điện...) những phần tử đó tạo thành hàng loạt những mạch vòng dao động phức tạp. Trong chế độ làm việc bình thường của hệ thống, các mạch vòng đó được nối tắt bởi những phụ tải lớn và nối vào những nguồn công suất lớn nên các dao động tự do không thể phát triển được. Nhưng khi có một sự cố hoặc một thao tác nhất định nào đó khiến cho một phần các mạch vòng này bị tách ra khỏi phụ tải thì trong phần mạch đó sẽ xuất hiện dao động năng lượng do có sự phân bố lại năng lượng điện và từ trường giữa các điện dung và điện cảm của mạch. Những dao động đó trong điều kiện nhất định có thể phát sinh hiện tượng cộng hưởng. Dao động trong trạng thái cộng hưởng đưa đến quá điện áp gọi là quá điện áp cộng hưởng.

Do phần lớn các điện cảm trong hệ thống điện như cuộn dây máy biến áp, cuộn kháng điện có lõi thép với đặc tính từ hoá (đặc tính von-ampe) không đường thẳng nên quá trình dao động phức tạp và có thể xảy ra dao động cộng hưởng ở nhiều tần số khác nhau.

So với các loại quá điện áp nội bộ khác thì quá điện áp cộng hưởng có đặc điểm là tồn tại lâu, tần số cộng hưởng có thể bằng tần số nguồn hoặc là bội số hay ước số của tần số nguồn.

Theo tần số cộng hưởng có thể phân loại như sau:

- Cộng hưởng ở tần số nguồn, còn gọi là cộng hưởng điều hoà
- Cộng hưởng cao tần, thường ở tần số 2ω , 5ω (ω là tần số nguồn).

Không có cộng hưởng ở tần số 3ω vì chúng bị triệt tiêu trong cuộn dây nối tam giác của máy biến áp.

- Cộng hưởng tần số thấp, thường xảy ra ở tần số $\omega/3$ (khoảng 17 Hz) khi mạch có các tham số L, C rất lớn, tức là trong những hệ thống có công suất rất lớn.

- Cộng hưởng tham số xảy ra khi trong mạch có các tham số L, C tự thay đổi, ví dụ như điện kháng của máy phát huỷ điện luôn biến thiên từ X_d đến X_q . Nếu sự biến thiên của tham số

phù hợp với tần số nguồn (không nhất thiết phải bằng) thì có thể phát sinh cộng hưởng tham số.

Trong chương này chỉ đề cập đến loại cộng hưởng điều hoà vì tính chất điển hình và phổ biến của nó.

11.2 CỘNG HƯỞNG ĐIỀU HOÀ

Cộng hưởng điều hoà xuất hiện khi xảy ra các dạng sự cố hoặc thao tác đóng cắt không đồng pha các phần tử của hệ thống điện. Đó là trường hợp khi tiếp điểm các pha của máy cắt làm việc không đồng bộ, khi cầu chì một hay hai pha bị cháy, khi một dây dẫn của đường dây bị đứt và dây dẫn chạm đất...

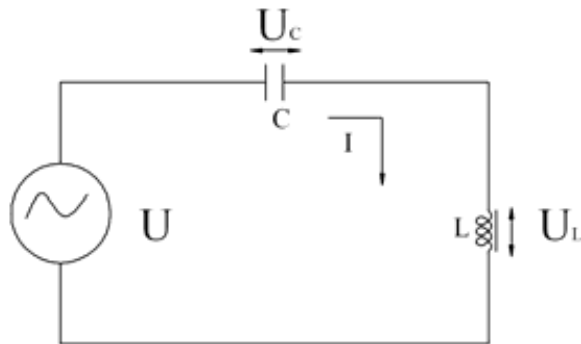
Trước hết, ta bắt đầu nghiên cứu hiện tượng dao động cộng hưởng trong sơ đồ một pha gồm điện dung Cộng hưởng, điện cảm không đường thẳng L và điện trở tác dụng R đấu vào một nguồn điện áp U . Các sơ đồ ba pha của hệ thống trong các tình trạng thao tác hoặc sự cố không đối xứng đã kể trên đều có thể thay thế bằng một sơ đồ một pha đẳng trị.

Trong cộng hưởng điều hoà, tần số riêng của mạch dao động bằng tần số nguồn, sóng điều hoà cơ bản đóng vai trò chủ yếu trong đường cong điện áp và dòng điện. Do đó cho phép trong tính toán coi điện áp và dòng điện. Do đó cho phép trong tính toán coi điện áp và dòng điện trên các phần tử của mạch có dạng hình sin và dùng phương pháp ký hiệu thông thường.

Vấn đề đặt ra là cần xác định sự biến thiên của điện áp trên điện cảm (u_L), khi điện áp nguồn thay đổi và khi điện dung C của mạch thay đổi.

11.2.1 Giả thiết bỏ qua điện trở tác dụng của mạch ($R = 0$)

Sơ đồ thay thế tương đương chỉ gồm có điện dung C và điện cảm không đường thẳng L đấu vào nguồn điện áp $U(t)$ (H.11.1)



Hình 11.1: Sơ đồ đẳng trị của mạch dao động với điện cảm không đường thẳng

Phương trình cân bằng điện áp của mạch dao động có dạng:

$$\dot{U} = \dot{U}_L + \dot{U}_C \quad (11.1)$$

Với U - điện áp của nguồn

U_L - điện áp trên điện cảm L , được đặc trưng bởi đường cong từ hoá:

$$U_L = f(I)$$

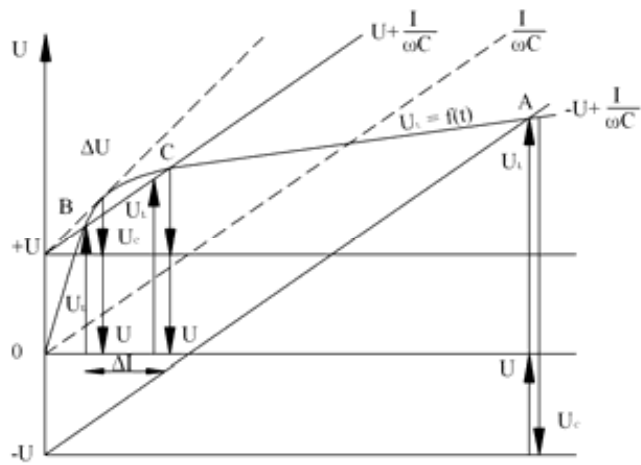
$$U_C = \frac{I}{\omega C} - \text{điện áp trên điện dung; } I - \text{dòng điện trong mạch.}$$

Vì rằng điện áp trên điện cảm U_L và trên điện dung U_C ngược pha nhau, nên đối với sơ đồ có thể viết ở dạng trị số tuyệt đối:

$$\pm U = U_L + U_C \text{ hay } U_L = f(I) = \pm U + \frac{I}{\omega C} \quad (11.2)$$

Trong đó dấu (+) ứng với trường hợp $U_L > U_C$ tức dòng điện trong mạch có tính chất điện cảm. Dấu (-) ứng với trường hợp $U_L < U_C$ tức dòng điện trong mạch có tính chất điện dung.

Do đường cong từ hoá $U_L = f(I)$ không đường thẳng nên dùng phương pháp đồ thị để giải phương trình (11.2) là đơn giản hơn cả. Vế phải của (11.2) được biểu thị bởi các đường thẳng song song, có được bằng cách cộng tung độ đường $I/\omega C$ với các đường $\pm U$.

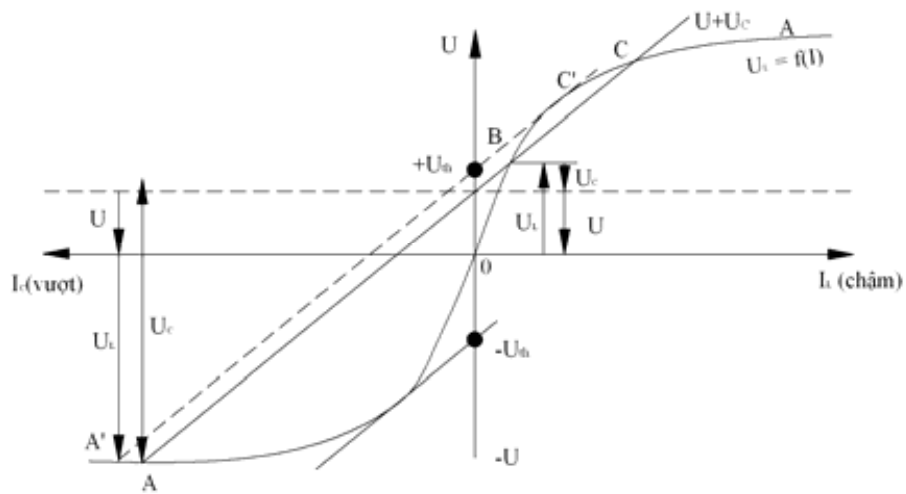


Hình 11.2: Phương pháp đồ thị để xác định quá điện áp U_L với giả thiết $R = 0$

Đường cong từ hoá $U_L = f(I)$ cắt các đường thẳng $\pm U + I/\omega C$ tại ba điểm A, B và Cộng hưởng (H.11.2) tung độ của chúng cho điện áp trên điện cảm U_L ở các trạng thái khác nhau, tức là ba nghiệm của bài toán. Nhưng trong ba trạng thái làm việc đó chỉ có hai trạng thái ổn định ứng với các điểm A và B. Còn trạng thái ứng với điểm Cộng hưởng không ổn định. Có thể nhận thấy dễ dàng điều này khi cho dòng điện trong mạch thay đổi một lượng nhỏ ΔI nếu hệ thống sau sự kích thích đó trở về trạng thái xuất phát thì đó chính là trạng thái ổn định.

Ví dụ, xét điểm B trong trạng thái này $U_L > U_C$: dòng điện trong mạch có tính chất điện cảm (chậm pha so với U) Điện áp nguồn U cùng pha với U_C . Khi cho I tăng một lượng nhỏ ΔI , U_L tăng nhanh hơn U_C . Như vậy $U < U_L - U_C$ nên dòng điện sẽ giảm, hệ thống trở lại tình trạng xuất phát (điểm B) (Thoả mãn phương trình (11.2)). Tình hình cũng xảy ra tương tự ở điểm A, chỉ có khác là ở trạng thái này $U_C > U_L$, dòng điện trong mạch có tính chất điện dung. Ở điểm Cộng hưởng, ứng với trường hợp $U_L > U_C$, dòng điện trong mạch có tính chất điện cảm. Khi cho dòng điện tăng thì U_C tăng nhanh hơn $U_L \Rightarrow U_L - U_C < U$ làm cho dòng điện tiếp tục tăng $U_C = U_L + U + \Delta U$, hệ thống sẽ bị mất cân bằng và chuyển sang trạng thái A. Còn khi giảm dòng điện thì $U_L - U_C > U$, làm cho dòng điện tiếp tục giảm, hệ thống chuyển sang điểm B.

Tóm lại, ứng với mỗi trị số của điện dung C, có thể có hai trạng thái cộng hưởng ổn định ở A và B, trạng thái nào xảy ra tùy thuộc vào điều kiện ban đầu: trị số tức thời của điện áp nguồn (U) lúc xảy ra sự cố và điện áp ban đầu trên điện dung.

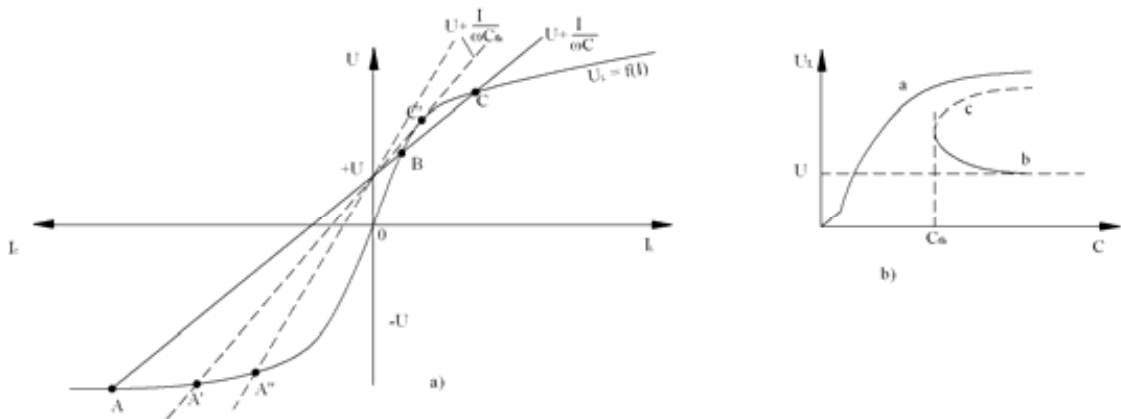


Hình 11.3: Sự thay đổi của U_L và U_C khi điện áp nguồn U thay đổi

Khi tăng điện áp nguồn U thì dòng điện trong mạch cũng như U_L và U_C đều tăng (H.11.3). Khi $U = U_{th}$ đường thẳng $U + U_C$ tiếp xúc với đường cong từ hoá $U_L = f(I)$ tại điểm C' . Một sự thay đổi nhỏ nào đó của chế độ làm việc đều chuyển về trạng thái A , có nghĩa là dòng điện sẽ tăng một cách đột ngột và thay đổi pha của nó 180° , tức là có hiện tượng đảo pha của dòng điện. Đồng thời điện áp trên điện cảm, U_L và trên điện dung, U_C cũng tăng lên nhiều, có nghĩa là xuất hiện quá điện áp.

Sự đảo pha của dòng sẽ xảy ra trong mỗi nửa chu kỳ của điện áp nguồn U khi $U > |U_{th}|$. Trị số dòng điện và quá điện áp càng lớn khi U càng lớn (và điện trở tác dụng R của mạch càng bé).

Khi thay đổi trị số của điện dung Cộng hưởng, độ dốc của đường thẳng $\pm U + I/\omega C$ sẽ thay đổi (H.11.4a) và tương ứng trên đồ thị sẽ xác định được những trạng thái làm việc mới của hệ thống. Hình 11.4b cho quan hệ của điện áp trên điện cảm U_L theo C nhánh a ứng với tính chất điện dung của dòng điện làm việc, nhánh b ứng với tính chất điện cảm và nhánh c ứng với trạng thái không ổn định. Khi $C < C_{th}$ (xác định bởi độ dốc của đường tiếp tuyến với đường cong từ hoá) thì hệ thống chỉ có một tình trạng vận hành ổn định. Từ đồ thị hình 11.4 thấy dễ dàng là điện áp trên điện cảm (U_L) có thể có những trị số vượt xa điện áp nguồn và xảy ra trong một phạm vi biến thiên rất rộng của điện dung C của mạch.



Hình 11.4: Sự thay đổi của U_L và U_C theo điện dung C

11.2.2 Nếu kể đến ảnh hưởng của điện trở tác dụng ($R \neq 0$)

Phương trình điện áp của mạch có dạng:

$$\dot{U} = \dot{U}_L + \dot{U}_C + \dot{U}_R \quad (11.3)$$

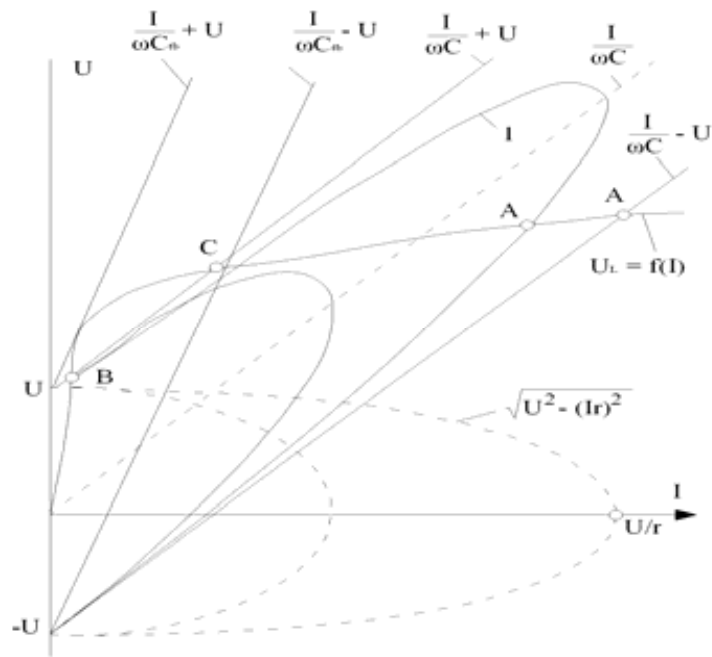
Vì $\dot{U} = \dot{I}R$ lệch pha với \dot{U}_L và \dot{U}_C một góc 90° nên có thể viết (11.3) dưới dạng trị số như sau:

$$U^2 = (U_L - U_C)^2 + (IR)^2 \quad (11.4)$$

$$\text{Hay } U_L = f(I) = \pm \sqrt{U^2 - (IR)^2} + \frac{I}{\omega C} \quad (11.5)$$

Phương trình (11.5) có thể giải bằng đồ thị (H.11.5)

Vẽ phải được biểu diễn bởi đường cong tạo nên bằng cánh cộng tung độ đường thẳng $I/\omega C$ với nửa hình êlip $\pm \sqrt{U^2 - (IR)^2}$ có tâm gốc toạ độ và các nửa trục là U và $I = U/R$. Giao điểm của đường cong $\pm \sqrt{U^2 - (IR)^2} + I/\omega C$ với đường cong từ hoá $U_L = f(I)$ cũng cho các nghiệm A, B, Cộng hưởng tương tự như trường hợp $R = 0$, trong đó Cộng hưởng ứng với trạng thái không ổn định.



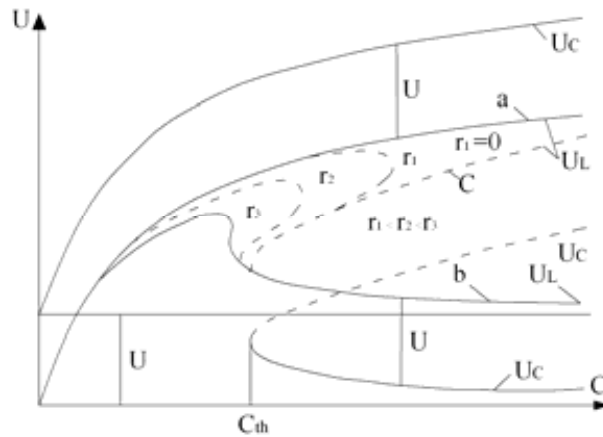
Hình 11.5: Phương pháp đồ thị để xác định quá điện áp U_L khi $R \neq 0$

Từ đồ thị hình 11.5 có thể thấy là khi R càng nhỏ, trục ngang của elip bị kéo dài ra và quá điện áp càng lớn và ở trường hợp giới hạn $R = 0$, đường elip biến thành hai đường song song $\pm U$ mà chúng ta đã xét ở trên. Khi R lớn, trục lớn của elip co lại, quá điện áp giảm và khi R rất lớn có thể không có quá điện áp. Hình 11.6 cho quan hệ của $U_L = f(c)$ ứng với các trị số khác nhau của điện trở tác dụng R .

Khi thay đổi C , điện áp trên điện cảm U_L cũng thay đổi theo (H.11.6).

Từ những nhận xét trên, có thể rút ra kết luận rằng:

Sự cố xảy ra trên máy biến áp không tải hay non tải là trường hợp nguy hiểm nhất vì trị số quá điện áp lớn.



Hình 11.6: Quan hệ $U_L = f(c)$ ứng với các trị số khác nhau của R

Để minh họa cho phương trình xác định quá điện áp cộng hưởng điều hoà đã trình bày, ta xét một trường hợp thực tế sau đây.

11.2.3 Dây dẫn một pha bị đứt và đoạn dây phía nguồn bị chạm đất trong hệ thống có điểm trung tính cách điện

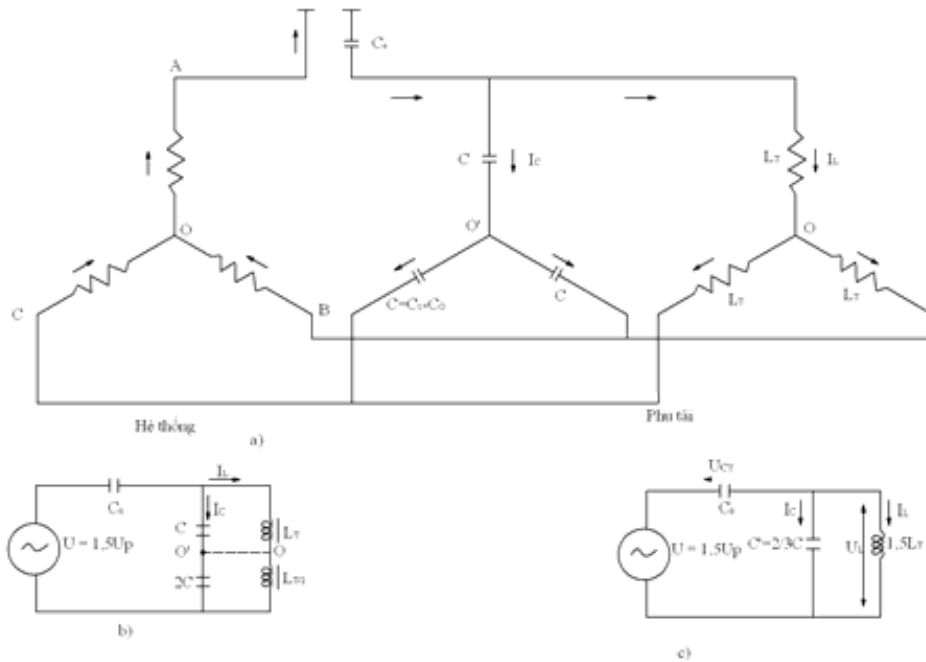
Để có trường hợp nguy hiểm nhất, giả thiết pha A bị đứt dây vào lúc U_A có trị cực đại bằng U_p . Như vậy trị số tức thời của điện áp trên các pha không có sự cố bằng $-0,5U_p$ và điện áp nguồn đẳng trị bằng $1,5U_p$.

Chiều dòng điện như trong hình 11.7a: dòng điện trong pha A chạy qua đầu dây bị chạm đất, trở về dây dẫn qua điện dung C_o (điện dung đối với đất của pha A, tính từ chỗ bị đứt về phía phụ tải) sau đó chia làm hai nhánh vào hình sao điện dung C giữa các pha và hình sao của các cuộn dây máy biến áp phụ tải. Và trước tiên cũng để có sự cố trầm trọng nhất, giả thiết máy biến áp (phụ tải) ở tình trạng không tải, tức bỏ qua điện trở tác dụng.

Sơ đồ một pha đẳng trị (H.11.7c) chỉ khác với mạch dao động đơn giản ở trên (H.11.1) ở chỗ điện cảm không đường thẳng $L' = 1,5L_T$ được ghép song song với điện dung $C' = 2/3C$ thì trị số của điện áp đặt trên điện dung C_o bằng:

$$U_{C_o} = -\frac{I_L + I_c}{\omega C_o} = -\frac{I_L - \omega C' U_L}{\omega C_o}$$

$$U_{C_o} = -\frac{I_L}{\omega C_o} + \frac{C' U_L}{C_o}$$



Hình 11.7: Sơ đồ thay thế ba pha và một pha đẳng trị cho trường hợp pha A bị đứt dây
Theo sơ đồ thay thế (H.11.7c) phương trình điện áp của sơ đồ đẳng trị:

$$\pm U = U_{C_o} + U_L = -\frac{I_L}{\omega C_o} + \frac{C'}{C_o} U_L + U_L$$

$$\pm U = -\frac{I_L}{\omega C_o} + \left(1 + \frac{C'}{C_o}\right) U_L$$

$$\text{Hay } U_L = f_L(I) = \pm \frac{U}{1 + \frac{C'}{C_o}} + \frac{I_L}{\omega C_o \left(1 + \frac{C'}{C_o}\right)} \quad (11.6)$$

Thay U bằng trị số tức thời là $1,5U_p$ và $C' = \frac{2}{3}C = \frac{2}{3}(C_1 - C_o)$ với C_1, C_o là điện dung

thứ tự thuận và thứ tự không của hệ thống ta sẽ có:

$$U_L = f_L(I) = \pm \frac{1,5U_p}{1 + \frac{2}{3} \frac{C_1 - C_o}{C_o}} + \frac{I_L}{\omega C_o \left(1 + \frac{2}{3} \frac{C_1 - C_o}{C_o}\right)}$$

$$U_L = f_L(I) = \pm \frac{1,5U_p}{\frac{1}{3} \left(1 + \frac{2C_1}{C_o}\right)} + \frac{I_L}{\frac{\omega C_o}{3} \left(1 + \frac{2C_1}{C_o}\right)} \quad (11.7)$$

Qua điện áp phụ thuộc vào đường cong từ hoá của máy biến áp (phụ tải) và các trị số điện dung C_1 và C_o .

Bài toán đưa về dạng tổng quát tương tự như phương trình (11.2). Điều cần chú ý là đối với đường dây tải điện, điện dung C_o thường biến thiên trong phạm vi $C_1/2 < C_o < C_1$

Các trường hợp giới hạn $C_o = C_1$ thì:

$$U_L = f_L(I) = \pm 1,5U_p + \frac{I_L}{\omega C_1} = \pm 1,5U_p + I_L X_{C_1}$$

Khi $C_o = C_1/2$ thì $U_L = f(I) = \pm 0,9U_p + 1,2X_{C_1}I_L$

Người ta thường biểu thị trị số của C_1 thông qua tỷ số X_{C_1}/X_T trong đó X_T là điện kháng không tải của máy biến áp. Qua điện áp phụ thuộc vào tỷ số X_{C_1}/X_T của dung kháng đường dây ($X_{C_1} = 1/(\omega C_1)$) và cảm kháng không tải của máy biến áp (X_T).

$$X_T = 10^5 \frac{U_{dm}^2}{i_o \% S_{dm}} \quad (\Omega)$$

với $i_o\%$ - dòng điện không tải của máy biến áp tính theo phần trăm

S_{dm} - công suất định mức của máy biến áp, kVA

U_{dm} – điện áp định mức, kV.

Kết quả tính toán cho thấy khi $X_{C_1}/X_T > 6$ thì qua điện áp không vượt quá trị số $\sqrt{3}U_p$.

Để thoả mãn điều kiện đó thì đường dây không được dài quá giới hạn sau:

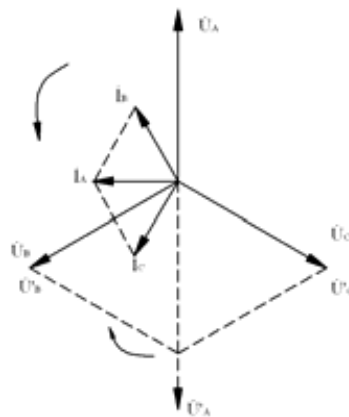
$$l_{gh} = \frac{1}{6\omega C_1 X_T} = \frac{i_o \% S_{dm}}{188 C_1 U_{dm}^2} \quad (11.8)$$

C_1 - điện dung thứ tự thuận của 1km chiều dài đường dây. Nên lấy trung bình $i_o\% = 5\%$, $C = 0,009\mu F/km$ thì:

$$l_{gh} = 3 \frac{S_{dm}}{U_{dm}^2} \quad (11.9)$$

Ví dụ, máy biến áp có công suất $S_{dm} = 3200$ kVA, nếu ở cấp điện áp $U_{dm} = 35$ kV thì $l_{gh} = 8$ km, ở $U_{dm} = 110$ kV thì $l_{gh} = 0,8$ km. Điều đó chứng tỏ việc hạn chế quá điện áp bằng cách giới hạn chiều dài đường dây là không thực tế.

Đối với đường dây dài, qua điện áp có thể vượt quá trị số $3U_p$ và gây nguy hiểm cho cách điện. Mặt khác do thời gian tồn tại qua điện áp kéo dài, nên nếu các chống sét van làm việc thì có thể bị cháy. Ngoài ra, quá điện áp cộng hưởng có thể dẫn đến hiện tượng đảo pha điện áp phía phụ tải gây nguy hiểm cho thiết bị và người phục vụ.



Hình 11.8: Đồ thị vector mô tả hiện tượng đảo pha

Về phía nguồn (tức hệ thống) điện áp trên các pha theo thứ tự $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ ngược chiều kim đồng hồ (H.11.8). Dòng điện trong các pha B và C là các dòng điện dung, tương ứng chúng vượt trước \dot{U}_B và \dot{U}_C một góc 90° . Về phía phụ tải, điện áp \dot{U}'_A là do dòng điện $\dot{I}_A = \dot{I}_B + \dot{I}_C$ gây nên trên điện dung C_0 , do đó \dot{U}'_A sẽ chậm hơn \dot{I}_A một góc 90° , trong khi điện áp \dot{U}'_B và \dot{U}'_C được cố định bởi nguồn (vì dây không đứt). Như vậy thứ tự pha về phía phụ tải bị đảo: $\dot{U}'_A, \dot{U}'_B, \dot{U}'_C$, theo chiều kim đồng hồ.

Hiện tượng này làm cho động cơ công suất lớn bị hãm lại và các động cơ công suất bé quay ngược chiều, gây nguy hiểm cho thiết bị và người phục vụ.

Trong trường hợp dây dài chỉ có thể giảm xác suất xuất hiện quá điện áp bằng cách hạn chế các thao tác cắt các pha không đồng thời, như không dùng cầu chì, không dùng máy cắt điện có bộ phận truyền động riêng từng pha... Ngoài ra cần hạn chế trường hợp vận hành máy biến áp không tải hay non tải.

11.2.4 Quá điện áp cộng hưởng sắt từ do thao tác không đồng pha khi trung tính của máy biến áp phụ tải cách điện

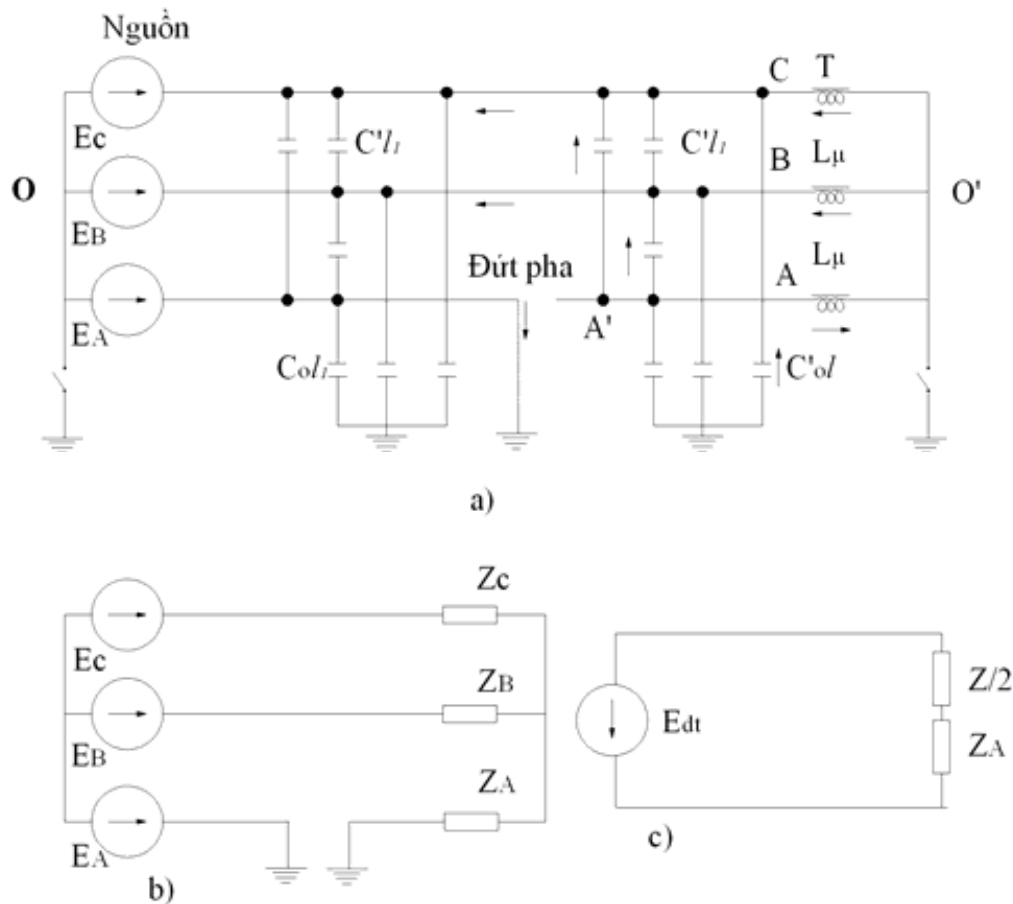
Nguồn cung cấp (hệ thống) có công suất vô cùng lớn so với máy biến áp tiêu thụ. Trong sơ đồ $C'_0 l_1$ và $C'_0 l$ đặt trung cho điện dung đối với đất của dây dẫn trước và sau chỗ xảy ra sự cố, còn $C' l_1$ và $C' l$ là điện dung giữa các pha. l và l_1 là chiều dài của hai đoạn đường dây về hai phía của nơi xảy ra sự cố.

Điểm trung tính của hệ thống và của máy biến áp tiêu thụ có thể nối đất trực tiếp hoặc cách điện.

Để việc phân tích quá điện áp được dễ dàng thường biến sơ đồ ba pha không đối xứng thành sơ đồ một pha đẳng trị. Khảo sát sơ đồ hình 11.9b có các phụ tải không đối xứng Z_A , Z_B và Z_C . Để xác định dòng và áp trong pha A thì thay thế pha B và C bởi mạch đẳng trị một pha, trong đó sức điện động của nguồn và điện trở tương ứng như sau:

$$\dot{E}_{B,C} = \frac{\dot{E}_B \cdot Y_B + \dot{E}_C \cdot Y_C}{Y_B + Y_C} = \frac{\dot{E}_B + \dot{E}_C}{2} \quad (11.10)$$

$$Z_{B,C} = \frac{Z_B \cdot Z_C}{Z_B + Z_C} = \frac{Z}{2} \quad (11.11)$$



Hình 11.9: Sơ đồ để nghiên cứu quá điện áp cộng hưởng do thao tác hoặc sự cố không đồng pha (a) và biến đổi từ sơ đồ ba pha (b) sang sơ đồ một pha đẳng trị (c)

Sức điện động tổng của nguồn đẳng trị bằng

$$\dot{E}_{dt} = \dot{E}_A - \frac{\dot{E}_B + \dot{E}_C}{2} = 1,5 \dot{E}_A \quad (11.12)$$

Điện trở đẳng trị của phụ tải bằng

$$Z_{dt} = Z_A + \frac{Z}{2} \quad (11.13)$$

Đây là các thông số của mạch đẳng trị một pha tương ứng với hình 11.9c.

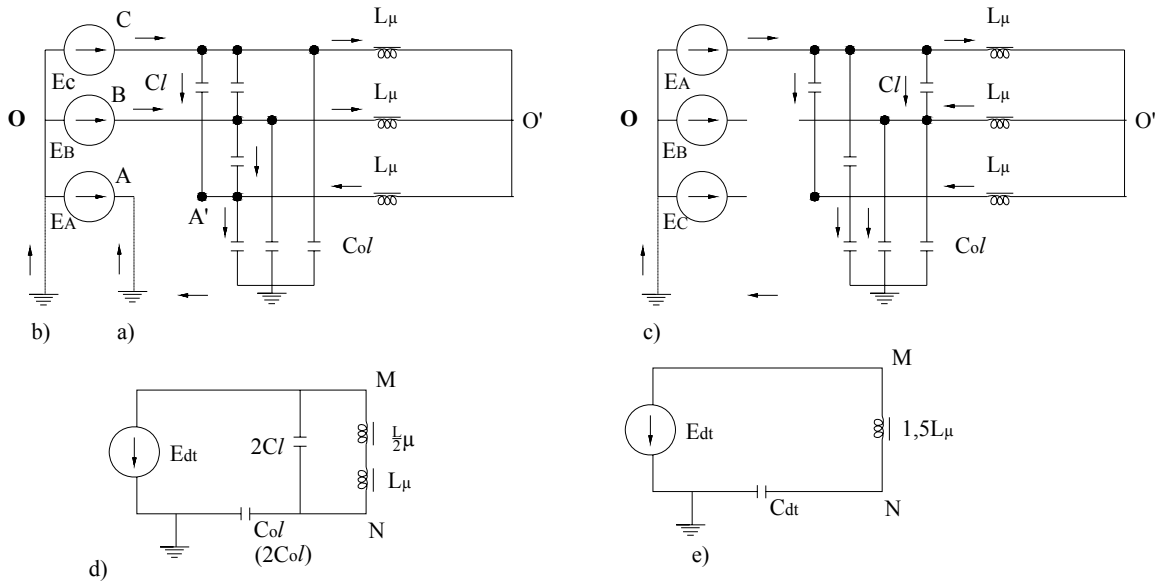
Hình 11.10 cho sơ đồ đặc trưng cho các tình trạng sự cố không đồng pha.

Sức điện động của nguồn đẳng trị một pha có thể được xác định bằng cách thay vào (11.10) các trị số như sau:

- Đối với sơ đồ hình 11.10a

$$\dot{E}_A = U_p; \dot{E}_B = a^2 U_p; \dot{E}_C = a U_p$$

$$E = U_p - 0,5(a^2 U_p + a U_p) = U_p + 0,5 U_p = 1,5 U_p \quad (11.14)$$



Hình 11.10: Sơ đồ thay thế một pha cho các chế độ không đồng pha khi MBA phụ tải có trung tích cách ly

- Đối với sơ đồ 11.10b

$$E_A = 0 \text{ (đứt pha A); } E = 0,5 U_p \quad (11.15)$$

- Đối với sơ đồ hình 11.10c

$$- E_A = U_p; E_B = 0; E_C = 0 \text{ (đứt pha B và C); } E = U_p \quad (11.16)$$

Trên các sơ đồ có các mũi tên chỉ chiều dòng điện chạy trong mạch. Trên sơ đồ hình 11.10a,b, dòng điện chạy từ nguồn qua các điện cảm đầu song song của máy biến áp ở các pha không sự cố ($L_\mu/2$), điện cảm L_μ và điện dung C_{0l} của pha sự cố. Trong sơ đồ hình 11.10c dòng điện từ nguồn qua điện cảm của pha không sự cố rồi qua điện cảm và điện dung đầu song song của các pha bị đứt dây (thực ra do mạch từ không đường thẳng nên khi dòng điện khác nhau chạy qua thì điện cảm của cuộn dây máy biến áp cũng khác nhau. Vì vậy cho điện cảm của hai pha đầu song song nhau bằng một nửa điện cảm của pha còn lại là không chính

xác. Tuy nhiên, sai số trong phạm vi chấp nhận được và cũng không có ảnh hưởng đến kết quả định tính của quá trình).

Đc từ hoá tổng của máy biến áp trong sơ đồ thay thế hình 11.10d nối tắt các điện dung giữa pha sự cố và các pha không sự cố. Điện dung $C_o l$ của các pha không sự cố được tính đến vì chúng được đấu song song với nguồn công suất lớn (vô tận).

Sơ đồ hình 11.10d có thể biến đổi thành sơ đồ còn đơn giản hơn (H.11.10e) theo lý thuyết về mạng hai cực có nguồn (tác dụng) nếu như nhánh điện cảm được coi là phụ tải. Theo lý thuyết này, sức điện động đẳng trị E_{dt} trong sơ đồ hình 11.10e bằng điện áp giữa các điểm M và N khi không có phụ tải còn tổng trở đẳng trị bằng tổng trở đối với các điểm M và N khi nối đất nguồn và cắt phụ tải. Như vậy trong sơ đồ tối giản của hình 11.10e có các thông số sau:

- Đối với sơ đồ sự cố không đối xứng hình 11.10a và b

$$E_{dt} = E \frac{C_o}{C_o + 2C}; C_{dt} = (C_o + 2C)l \quad (11.17)$$

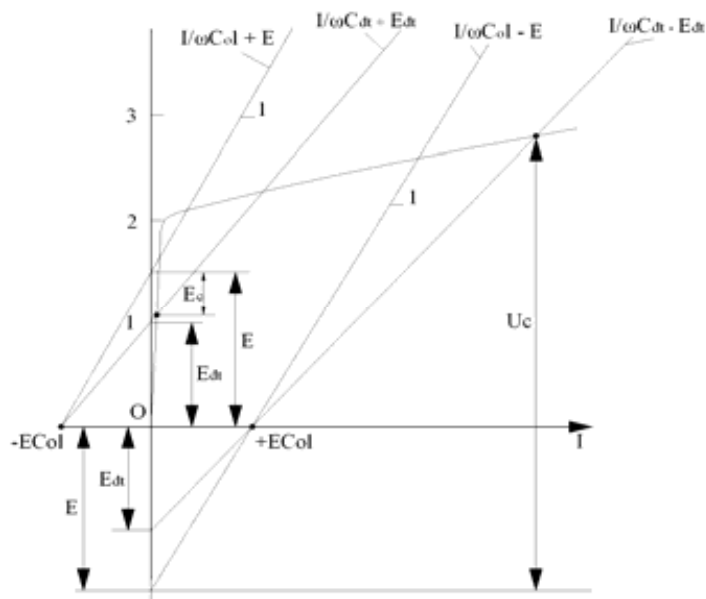
- Đối với sơ đồ sự cố hình 11.10c

$$E_{dt} = E \frac{2C_o}{2C_o + 2C} + E \frac{C_o}{C_o + C}$$

$$C_{dt} = 2(C_o + C)l \quad (11.16)$$

Như vậy các sơ đồ sự cố không đối xứng đều có thể đưa về các mạch dao động không đường thẳng cơ bản ở hình 11.1.

Để xác định điện áp trên điện dung cũng dùng phương pháp phân tích đồ thị như đã trình bày ở trên.



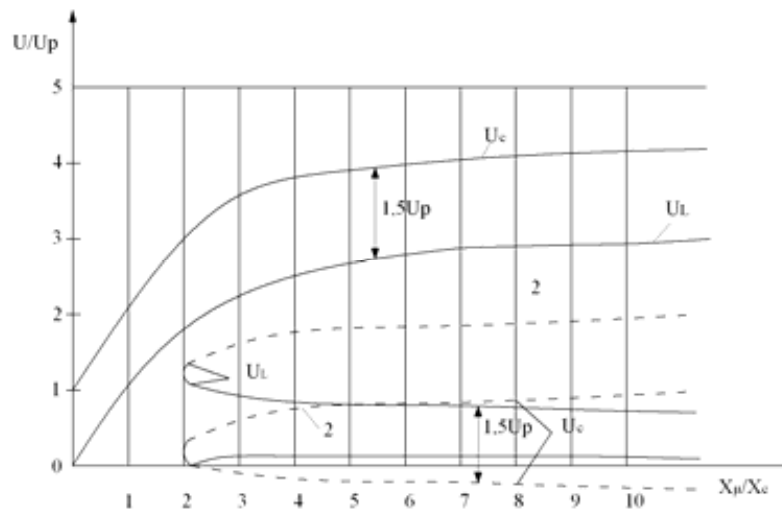
Hình 11.11: Xác định bằng đồ thị điện áp theo sơ đồ 11.10a có chú ý đến điện dung giữa các pha

Hình 11.11 biểu diễn đồ thị tương ứng với trường hợp điện dung giữa các pha $C = 0,25C_0$.

Các đường thẳng tương ứng với trường hợp $C=0$. Từ các biểu thức (11.16) và đồ thị suy ra rằng điện dung giữa các pha C làm giảm E_{dt} so với $1,5U_p$ nhưng đồng thời cũng làm giảm độ dốc của các đường thẳng $U \pm E_{dt}$. Đối với mọi giá trị của C , các trục này cắt trục hoành ở các điểm có trị số bằng:

$$\pm E\omega C_{dt} = \pm E \frac{C_0}{C_0 + 2C} \omega(C_0 + 2C)l = \pm EC_0l$$

Có nghĩa là không phụ thuộc vào trị số điện dung giữa các pha.



Hình 11.12: Sự phụ thuộc của điện áp U_L và U_C vào tỉ số X_μ/X_c cho tính trạng sự cố không đồng pha tương ứng với sơ đồ 11.10a.

X_μ là cảm kháng từ hoá của máy biến áp ở điện áp định mức, được xác định theo

$$X_\mu = \frac{U_{dm}^2}{Si_{kt}} \quad (\Omega)$$

với U_{dm} – điện áp định mức, kV; S – công suất máy biến áp, MBA

I_{kt} – Dòng điện không tải, đơn vị tương đối, %

X_c – dung kháng đường dây tính theo:

$$X_c = \frac{10^{12}}{\omega(C_o + 2C)l} \quad (\Omega)$$

Trong đó C và C_o tính theo pF/km và l tính theo km.

$$\text{Nhu vậy: } \frac{X_\mu}{X_c} = \frac{U_{dm}^2}{Si_{kt}} \omega(C_o + 2C)10^{-12}$$

Các đường cong cho trong hình 11.12 được xây dựng với các thông số: $U_{dm} = 35\text{kV}$; $I_{kt} = 0,05$; $C_o = 5200\text{pF/km}$; $C = 1200\text{pF/km}$.

Trong trường hợp này $X_\mu/X_c = 0,058\text{l/S}$. Điện áp trên điện dung (tức trên cách điện đường dây) được xác định bằng cách thêm $1,5U_p$ vào điện áp trên điện cảm U_L (hoặc trừ bớt).

Với các trị số của $U_L < 1,5U_p$ thì điện áp trên điện dung có dấu âm (đường cong 1).

Với đồ thị 11.12 có thể xác định điện áp trên điện dung của pha sự cố ở các điều kiện khác nhau.

Ví dụ: Khi $S = 3200 \text{ kVA}$, $l = 30\text{km} \Rightarrow X_{\mu}/X_c = 0,058 \times 30 / 3,2 = 0,55$ xác định được theo đường cong $U_c = 3U_p$. Cũng với chiều dài đường dây $l = 30\text{km}$ nhưng công suất của máy biến áp bằng $S = 560\text{kVA} \Rightarrow X_{\mu}/X_c = 0,058 \times 30 / 30,56 = 3,1$ thì $U_c = 4U_p$. Trị số này vượt quá mức cách điện của đường dây.

Cũng có thể tính toán tương tự đối với trường hợp khi trung tính của máy biến áp cung cấp nối đất. Trong trường hợp này quá điện áp sẽ thấp nhờ giảm sức điện động tính toán.