

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

Hoàng Việt

KỸ THUẬT ĐIỆN CAO ÁP

Tập 2

QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

(Tái bản lần thứ hai có bổ sung, chỉnh lí)

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH - 2007

MỤC LỤC

Lời nói đầu	5
Chương 1. SÉT - NGUỒN GỐC CỦA QUÁ ĐIỆN ÁP KHÍ QUYỂN	7
1.1 Các giai đoạn phát triển của phóng điện sét	7
1.2 Các tham số chủ yếu của sét - cường độ hoạt động của sét	14
Chương 2. QUÁ TRÌNH SÓNG TRÊN ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN	28
2.1 Sự truyền sóng điện từ trên đường dây không tổn hao	28
2.2 Hiện tượng phản xạ và khúc xạ của sóng: qui tắc Petersen	32
2.3 Sự phản sự nhiều lần của sóng	43
2.4 Vài phương pháp tính toán quá trình truyền sóng bằng đồ thị	51
2.5 Qui tắc về sóng đẳng trị	59
2.6 Quá trình truyền sóng trong hệ thống nhiều dây dẫn	63
2.7 Sự biến dạng của sóng	669
Chương 3. BẢO VỆ CHỐNG SÉT ĐÁNH TRỰC TIẾP CHO HỆ THỐNG ĐIỆN	75
3.1 Khái niệm chung	77
3.2 Xác định phạm vi bảo vệ của cột thu sét - mô hình	
A. Kopian	77
3.3 Phạm vi bảo vệ của dây chống sét	84
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	87
3.5. Lý thuyết mô hình điện hình học	92
Chương 4. NỐI ĐẤT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	112
4.1 Các khái niệm chung	112
4.2 Điện trở tản nối đất ở tần số công nghiệp R	116
4.3 Điện trở tản của nối đất chống sét	122
4.4 Ảnh hưởng của chất đất và thời tiết đến điện trở nối đất	131
4.5 Các yêu cầu về kinh tế kỹ thuật khi thiết kế hệ thống nối đất cho trạm và đường dây tải điện	133
4.6 Phương pháp diện tích để tính điện trở tản của lưới nối đất	136
Chương 5. BẢO VỆ CHỐNG SÉT CHO ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN	141
5.1 Đường lối tổng quát để tính toán chỉ tiêu chống sét của đường dây tải điện	135

5.2	Quá điện áp cảm ứng.....	146
5.3	Sét đánh trực tiếp vào đường dây không có dây chống sét	150
5.4	Sét đánh trên đường dây có dây chống sét.....	157
Chương 6. THIẾT BỊ CHỐNG SÉT		170
6.1	Khái niệm chung.....	170
6.2	Khe hở bảo vệ	171
6.3	Thiết bị chống sét kiểu ống	172
6.4	Thiết bị chống sét van (CSV)	169
6.5	Thiết bị hạn chế QĐA hay CSV không có khe hở	187
Chương 7. BẢO VỆ CHỐNG SÉT TRUYỀN VÀO TRẠM PHÂN PHỐI ĐIỆN.....		189
7.1	Khái niệm chung.....	182
7.2	Biện pháp và yêu cầu đối với việc bảo vệ chống sét truyền vào trạm....	182
7.3	Sơ đồ nguyên lý bảo vệ trạm.....	188
7.4	Tham số tính toán của sóng sét truyền vào trạm và cách tính chỉ tiêu chịu sét của trạm	190
7.5	Điện áp trên cách điện của trạm	192
Chương 8. BẢO VỆ CHỐNG SÉT CHO MÁY ĐIỆN QUAY		208
8.1	Bảo vệ cách điện máy điện quay chống sóng sét truyền vào theo đường dây trên không	201
8.2	Bảo vệ chống sét cho máy điện quay đấu vào đường dây trên không qua máy biến áp	204
Chương 9. QUÁ ĐIỆN ÁP NỘI BỘ - NHỮNG TÍNH CHẤT CHUNG CỦA QUÁ ĐIỆN ÁP NỘI BỘ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN		218
9.1	Phân loại Quá điện áp nội bộ	209
9.2	Vấn đề nối đất điểm trung tính của hệ thống điện	211
Chương 10. QUÁ ĐIỆN ÁP KHI CHẠM ĐẤT MỘT PHA BẰNG HỒ QUANG TRONG LƯỚI CÓ TRUNG TÍNH CÁCH ĐIỆN		224
10.1	Chạm đất một pha ổn định.....	215
10.2	Diễn biến của quá trình chạm đất một pha.....	226
10.3	Nối đất điểm trung tính qua cuộn dập hồ quang.....	234
Chương 11. QUÁ ĐIỆN ÁP CỘNG HƯỞNG		243
11.1	Khái niệm chung.....	243
11.2	Cộng hưởng điều hòa.....	235

Các câu hỏi ôn tập môn học “Quá điện áp”	260
Tài liệu tham khảo.....	272

Lời nói đầu

Cách điện của trang thiết bị điện áp cao không chỉ chịu tác dụng thường xuyên, lâu dài của điện áp làm việc mà còn phải chịu tác dụng trong một thời gian ngắn hoặc rất ngắn của những điện áp tăng cao đột ngột vượt xa khả năng chịu đựng của cách điện. Đó là hiện tượng quá điện áp trong hệ thống điện.

QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN trình bày nguồn gốc, diễn biến và thông số của các dạng quá điện áp cũng như các biện pháp nhằm ngăn ngừa, hạn chế chúng để bảo vệ cho cách điện của các trang thiết bị điện.

QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN được biên soạn trên cơ sở của cuốn sách “Quá điện áp trong hệ thống điện” dùng giảng dạy cho sinh viên nhiều khóa của ngành Hệ thống điện và được chỉnh sửa, bổ sung cập nhật thường xuyên.

Tuy nhiên hiện tượng quá điện áp, đặc biệt là quá điện áp nội bộ rất đa dạng và phức tạp, mà thời lượng cho phép đối với môn học có giới hạn, nên tập sách này chưa thể đề cập đầy đủ mọi dạng quá điện áp mà chỉ nêu một vài dạng tiêu biểu điển hình.

Tác giả hoan nghênh và xin chân thành cảm ơn mọi góp ý quý báu của độc giả.

Mọi góp ý xin gửi về: Bộ môn Hệ thống điện Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TPHCM. Điện thoại: 8 651 821.

TS. Hoàng Việt

Chương 1

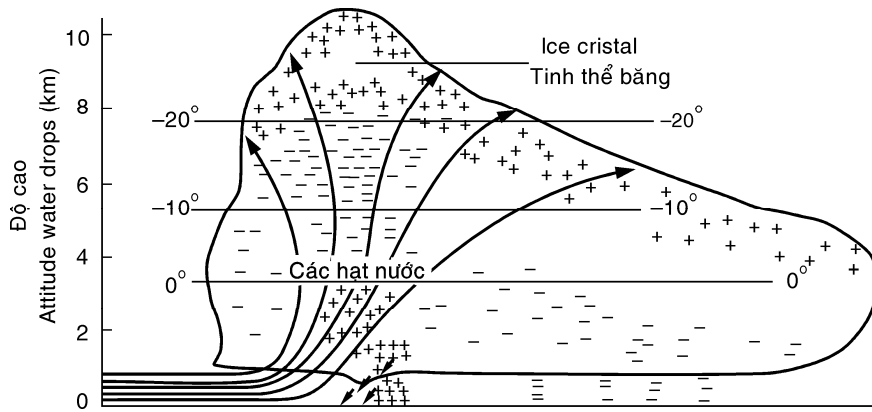
SÉT - NGUỒN GỐC CỦA QUÁ ĐIỆN ÁP KHÍ QUYỂN

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 $3\div 5\text{ km}$, 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.

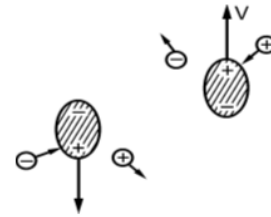
Hiển nhiên, sét khác với phóng điện trong không khí tiến hành trong phòng thí nghiệm không chỉ ở qui mô mà còn ở đặc điểm riêng biệt của nguồn điện áp của nó tức là những đám mây dông tích điện.

Thực tế, sự hình thành các cơn dông luôn luôn gắn liền với sự xuất hiện của những luồng không khí nóng ẩm khổng 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. Ở các vùng đồi núi cao, các luồng không khí nóng ẩm trườn theo sườn núi lên cao đó là *dòng địa hình*. Sau khi đã đạt được một độ cao nhất định (khoảng vài km trở lên), luồng không khí nóng ẩm này đi vào vùng nhiệt độ âm, 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 (H.1.1), còn được gọi là mây tích vũ (*Cumulonimbus*).



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 khổng 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 các 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).



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

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 các 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.

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 và 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.

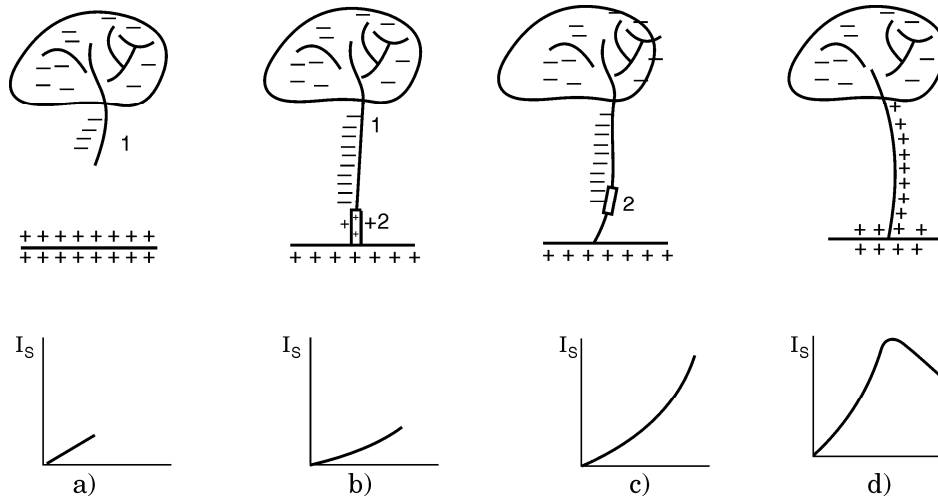
Tóm lại, các giả thuyết cho đến nay đều chưa giải thích được một cách triệt để về nguồn điện tích của các đám mây dông và sự phân li chúng, khiến người ta nghĩ rằng trong thực tế có thể có nhiều nguyên nhân đồng thời tác động và rất phức tạp.

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 $200 \div 10.000m$, với tâm của chúng cách nhau ước khoảng từ $300 \div 5000m$. Lượng điện tích trong các đám mây tham gia vào cơn sét vào khoảng từ $1 \div 100C$ và có thể cao hơn. Điện thế của các đám mây dông vào khoảng $10^7 \div 10^8V$. Năng lượng tỏa ra bởi một cơn sét khoảng $250kWh$.

Kết quả quan trắc cho thấy *phần dưới của các đám mây dông chủ yếu chứa điện tích âm, do đó cảm ứng trên mặt 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 hóa không khí (ở mặt đất trị số này $25 \div 30kV/cm$ và càng lên cao càng giảm, ở độ cao một vài *km* giảm còn khoảng $10kV/cm$) sẽ gây ion hóa không khí tạo thành dòng plasma, mở đầu cho quá trình phóng điện sét phát triển giữa mây dông và mặt đất.

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

1- *Thoạt tiên xuất phát từ mây dông một dải sáng mờ kéo dài từng đợt gián đoạn về phía mặt đất với tốc độ trung bình khoảng $10^5 \div 10^6 m/s$. 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 $10^{13} \div 10^{14} ion/m^3$. Một phần điện tích âm của mây dông tràn vào kênh và phân bố tương đối đều dọc theo chiều dài 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 hóa 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 $1\mu s$, tương ứng tia tiên đạo dài thêm trung bình được khoảng vài chục mét đến bốn năm chục mét. Thời gian tạm ngưng phát triển giữa hai đợt liên tiếp khoảng $30\div 90\mu s$.

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 kế 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.

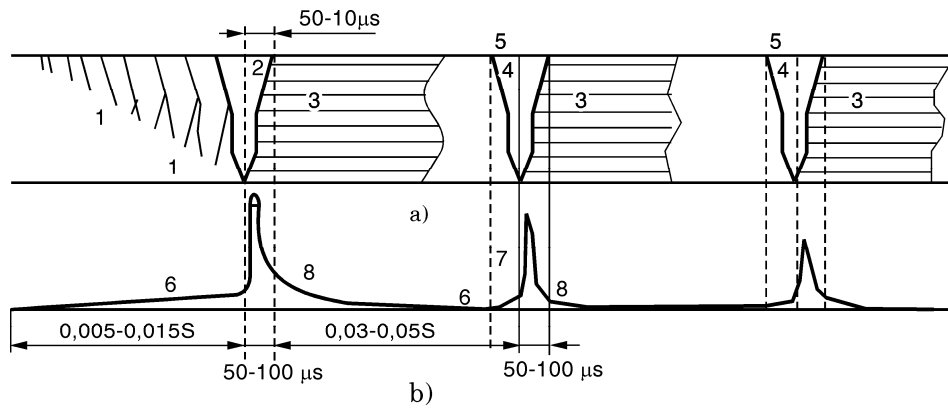
Ở những vật dẫn có độ cao lớn như các nhà chọc trời, cột điện đường dây cao áp, cột anten các đài thu phát thanh, truyền hình, bưu điện... thì từ đỉnh của nó, nơi điện tích trái dấu tập trung nhiều làm cho cường độ trường cục bộ tăng cao cũng sẽ đồng thời xuất hiện ion hóa không khí, *tạo nên dòng tiên 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*. Những đầu thu sét thế hệ mới xuất hiện vào những năm của thập kỷ 80 và 90 thế kỷ 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- *Giai đoạn phóng điện chính (hay phóng điện ngược)*. 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 chính, 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 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 hóa 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 ($10^{16} \div 10^{19} \text{ ion/m}^3$), điện dẫn của nó tăng lên hàng trăm, hàng ngàn lần, điện tích cảm ứng từ mặt đất tràn vào dòng ngược này trung hòa 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 hóa 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 $1,5 \times 10^7 \div 1,5 \times 10^8 \text{ m/s}$* (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 chính 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 chính tạo nên những đợt sóng âm mãnh liệt, gây nên những tiếng nổ chát chúa (đó là tiếng sấm) và tiếng rền ì âm kéo dài. Đặc điểm quan trọng nhất của phóng điện chính là *cường độ dòng lớn*. Nếu v là tốc độ của phóng điện chủ yếu và σ là mật độ đường của điện tích thì dòng điện sét sẽ đạt giá trị cao nhất khi kênh phóng điện chính lên đến đám mây dông và bằng $I_s = \sigma.v$ (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 chính lên tới đám mây, điện tích cảm ứng từ mặt đất theo lên, tràn vào và trung hòa với điện tích âm của đám mây, *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 của xung dòng sét. Sự tỏa 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 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 lần 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* (2.10^6 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 nên 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- Giai 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 tục; 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

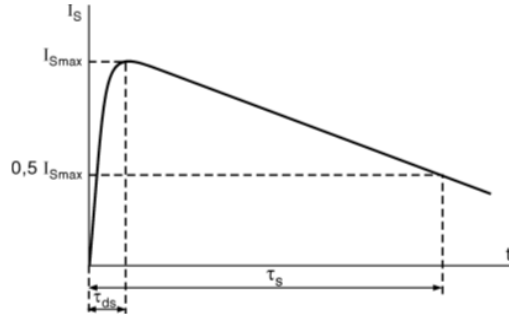
Sự phóng điện nhiều lần của sét được giải thích như sau: Đám mây dông có thể có nhiều trung tâm điện tích khác nhau, hình thành do các dòng không khí xoáy trong mây. Lần phóng điện đầu tiên, dĩ nhiên sẽ xảy ra giữa đất và trung tâm điện tích có cường độ điện trường cao nhất.

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 giữa chúng với nhau. Quá trình này xảy ra rất nhanh. 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, hỏa 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. Sét mây - đất cũng có thể xảy ra với tiên đạo mang điện tích dương xuất phát từ phần mang điện tích dương của đám mây, nhưng rất hiếm thấy. Loại sét dương này chỉ có một xung duy nhất, có biên độ dòng và tổng điện tích rất lớn, thời gian sóng kéo dài. Tác dụng phá hoại của nó rất lớn, đặc biệt là hiệu

ứng nhiệt của nó.

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 $20 \div 100 \mu s$, 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 còn 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 dông 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 ($1 km^2$) trong một ngày sét. Ở nhiều nước phát triển đã xây dựng được bản đồ phân vùng hoạt động của sét.

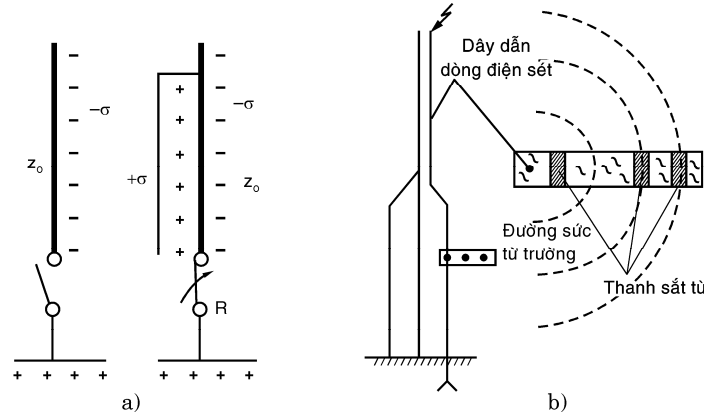
1.2.1 Biên độ dòng điện sét và xác suất xuất hiện của nó

Dòng điện sét có trị số lớn nhất vào lúc kênh phóng điện chính 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 $i_s = \sigma.v$. 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:

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

với z_o là tổng trở sóng của khe sét, có trị số trong khoảng $200 \div 500\Omega$, trung bình 300Ω .

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 $i_s = \sigma.v$.



Hình 1.6 Thiết bị xác định biên độ dòng điện sét

Để đo biên độ dòng điện sét từ lâu người ta dùng rộng rãi trong hệ thống điện thiết bị ghi từ. Đó là những thanh hình trụ 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 tháo 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).

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

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

$$v_{i_s} = e^{-i_s/26} = 10^{-i_s/60}$$

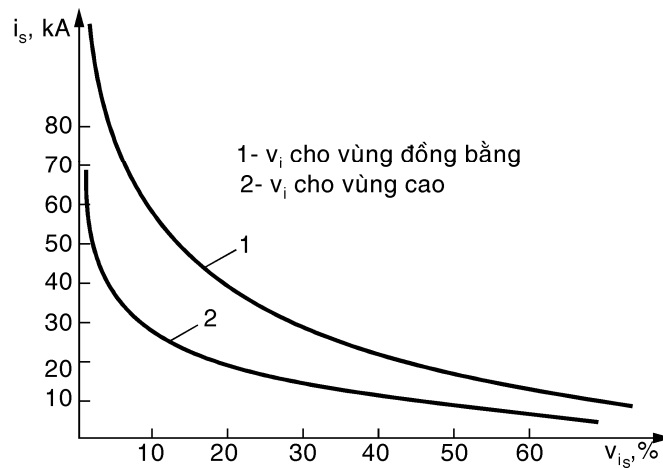
tức: $\ln v_{i_s} = -\frac{i_s}{26}$ hay $\lg v_{i_s} = -\frac{i_s}{60}$ (1.1)

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 sét có biên độ dòng điện sét $i_s \geq 60 \text{ kA}$ 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 sét từ 60 kA trở lên. Dòng điện sét có biên độ từ 100 kA 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 lên các đám mây đồng 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

$$v_{i_s} = 10^{-\frac{i_s}{30}} \text{ hay } \lg v_{i_s} = -\frac{i_s}{30} \quad (1.2)$$

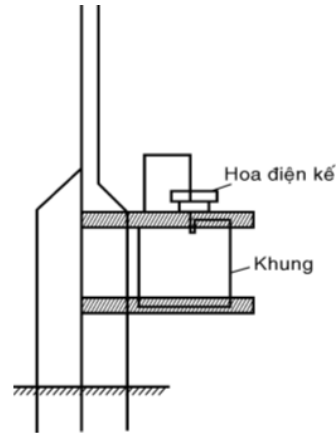
1.2.2 Độ dốc đầu sóng dòng điện sét và xác suất xuất hiện của nó

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 vào một hoa điện kế để đo biên độ của điện áp (xem Kỹ thuật điện cao áp, tập 1, chương 4 trang 133 - 134).

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 hỗ 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:



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

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

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

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.

Cho vùng đồng bằng:

$$v_a = e^{-a/15,7} = 10^{-a/36} \quad (1.3)$$

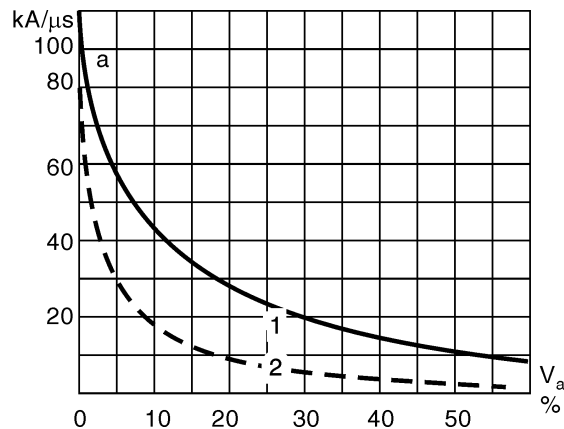
hay $\ln v_a = -\frac{a}{15,7}; \quad \lg v_a = -\frac{a}{36}$

trong đó v_a là xác suất xuất hiện dòng 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 $\tau_{ds} = 1 \div 10 \mu s$ thường gặp là từ $1 \div 4 \mu s$ và độ dài sóng trong khoảng $\tau_s = 20 \div 100 \mu s$. Trong tính toán thiết kế thường lấy thời gian đầu sóng $\tau_{ds} = 1,2 \mu s$ và độ dài sóng trung bình là $50 \mu s$ 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 ngẫu nhiên độc lập và dùng xác suất phối hợp:

- Đối với vùng đồng bằng:

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

hay

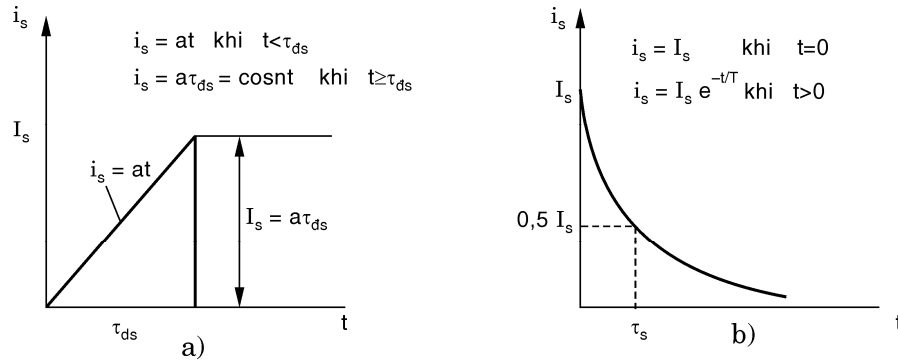
$$\ln v(i_s, a) = -\left(\frac{i_s}{26} + \frac{a}{15,7}\right)$$

- Đối với vùng đồi núi cao:

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

g Điện tích tản vào đất trong thời gian phóng điện sét nhiều lần thay đổi trong phạm vi từ $0,1C \div 100C$ 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.

g Về dạng tính toán dòng điện sét, tùy từng trường hợp cụ thể có thể dùng các dạng đơn giản hóa 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 đáng kể 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.

$$T \text{ là hằng số thời gian của sự giảm dòng điện: } T = \frac{\tau_s}{0,7}$$

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

dông sét hàng năm hoặc bằng 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 cũng 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 (1 km²) 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.

1.3. TÌNH HÌNH DÔNG SÉT Ở VIỆT NAM

Theo tài liệu tham khảo [12] Việt Nam là một nước thuộc vùng khí hậu nhiệt đới nóng ẩm, mưa nhiều, cường độ hoạt động của dông sét rất mạnh. Thực tế sét đã gây nhiều tác hại đến đời sống con người, gây hư hỏng thiết bị, công trình. Là một trong những tác nhân gây sự cố trong vận hành hệ thống điện và hoạt động của nhiều ngành khác.

Ở các vùng lãnh thổ với điều kiện khí hậu, thời tiết và địa hình khác nhau thì đặc điểm về hoạt động dông sét khác nhau, mặt khác, điều kiện trang bị kỹ thuật khác nhau thì mức độ thiệt hại do sét gây ra cũng khác nhau. Vì vậy, ngoài việc tiếp nhận các kết quả nghiên cứu của thế giới, mỗi nước cần phải tự tiến hành điều tra, nghiên cứu về đặc tính hoạt động dông sét và các thông số phóng điện sét trên lãnh thổ của mình để từ đó đề ra những biện

pháp phòng, chống sét thích hợp, hiệu quả.

Ở Việt Nam vấn đề nghiên cứu sét đã được đặt ra từ lâu nhưng nó chỉ thực sự được triển khai có hiệu quả sau khi xây dựng xong trạm nghiên cứu sét (Gia Sàng - Thái Nguyên (1987) với nhiều trang thiết bị khá đồng bộ để tiến hành nghiên cứu tổng hợp về sét.

1.3.1. Đặc điểm và phân bố dông trên lãnh thổ Việt Nam

1. Phân hoá mùa của dông

Dông có khả năng xuất hiện hầu như quanh năm ở các vùng, song thời kỳ tập trung nhất là vào mùa mưa. Cũng có thể gọi đó là “mùa dông”. Từ kết quả thống kê của hơn 100 trạm nghiên cứu sét, có thể rút ra một số nhận xét sau:

- Ở phần phía đông Hoàng Liên Sơn, dông phát triển mạnh từ tháng 4, cực đại vào tháng 7 hoặc tháng 8 với số ngày dông trung bình mỗi tháng lên tới trên 10 ngày, sau đó giảm nhanh, tới tháng 10, số ngày có dông chỉ còn 2-3 ngày. Các tháng mùa dông số ngày dông xuất hiện không đáng kể.

- Ở Tây Bắc, mùa dông đến sớm hơn, cực đại hàng năm cũng xảy ra sớm hơn. Tháng 3, dông đã phát triển khá mạnh, trung bình 4-6 ngày với khoảng 20-25 giờ có dông. Số ngày có dông cực đại vào tháng 4 đến tháng V với khoảng 11-15 ngày và 40-70 giờ dông. Mùa dông có thể coi là bắt đầu từ tháng 3 đến tháng 9. Ba tháng ít dông nhất là 6, 7, 1.

- Ven biển Trung Bộ, biến trình năm của dông có đến 2 cực đại. Cực đại chính rơi vào tháng 7-9 và cực đại thứ 2 rơi vào tháng 5 nhưng trị số chênh nhau chỉ khoảng 0,5-1 ngày. Các tháng 6, 7 số ngày dông giảm đáng kể chỉ còn khoảng 2-3 ngày với số giờ dông 3-6 giờ. Mùa dông kéo dài 7 tháng từ tháng 6 đến tháng 10), các tháng mùa dông khả năng xuất hiện dông rất nhỏ.

Bảng 1.1: Số ngày có dông tại một số trạm tiêu biểu (trung bình tháng và năm)

Tháng Trạm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Năm
Sơn La	0.6	1.9	4.2	11.2	11.3	11.2	10.0	9.6	6.3	2.2	0.5	0.1	69.2
H.Giang	0.1	0.8	3.1	7.5	9.4	11.7	14.5	12.7	6.3	1.9	0.6	0.0	68.6
T.Nguyên	0.2	1.0	2.3	6.0	9.2	10.8	11.3	11.5	6.3	2.6	0.3	0.1	61.6
Hà Nội	0.2	0.6	1.6	5.9	9.0	8.8	9.8	8.8	5.4	1.9	0.4	0	52.4
Vinh	0.1	0.7	2.5	5.0	6.5	3.8	3.3	6.1	5.9	3.4	0.4	0.1	37.8
Đà Nẵng	0	0.2	0.7	3.1	3.8	3.1	3.5	2.6	3.9	3.0	0.5	0	21.4