

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 9888-1:2013

IEC 62305-1:2010

Xuất bản lần 1

**BẢO VỆ CHỐNG SÉT –
PHẦN 1: NGUYÊN TẮC CHUNG**

*Protection against lightning –
Part 1: General principles*

HÀ NỘI – 2013

Mục lục

	Trang
Lời nói đầu	4
Lời giới thiệu	5
1 Phạm vi áp dụng	7
2 Tài liệu viện dẫn	7
3 Thuật ngữ và định nghĩa	8
4 Tham số dòng điện sét	15
5 Thiệt hại do sét	16
6 Nhu cầu và luận chứng kinh tế đối với bảo vệ chống sét	21
7 Biện pháp bảo vệ	22
8 Tiêu chí cơ bản để bảo vệ các kết cấu	24
Phụ lục A (tham khảo) – Tham số dòng điện sét	33
Phụ lục B (tham khảo) – Hàm số theo thời gian của dòng điện sét đối với mục đích phân tích .	44
Phụ lục C (tham khảo) – Mô phỏng dòng điện sét cho các mục đích thử nghiệm	49
Phụ lục D (tham khảo) – Tham số thử nghiệm mô phỏng các ảnh hưởng của sét lên các thành phần LPS	53
Phụ lục E (tham khảo) – Đột biến do sét tại các điểm lắp đặt khác nhau	69
Thư mục tài liệu tham khảo	75

Lời nói đầu

TCVN 9888-1:2013 hoàn toàn tương đương với IEC 62305-1:2010;

TCVN 9888-1:2013 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ tiêu chuẩn TCVN 9888 (IEC 62305) *Bảo vệ chống sét* gồm các phần sau:

TCVN 9888-1:2013 (IEC 62305-1:2010), Phần 1: Nguyên tắc chung

TCVN 9888-2:2013 (IEC 62305-2:2010), Phần 2: Quản lý rủi ro

TCVN 9888-3:2013 (IEC 62305-3:2010), Phần 3: Thiệt hại vật chất đến kết cấu và nguy hiểm tính mạng

TCVN 9888-4:2013 (IEC 62305-4:2010), Phần 4: Hệ thống điện và điện tử bên trong các kết cấu

Lời giới thiệu

Không có thiết bị hoặc phương pháp nào có khả năng biến đổi các hiện tượng thời tiết tự nhiên đến mức mà chúng có thể ngăn chặn việc phóng sét. Sét đánh vào, hoặc gần các kết cấu (hoặc các đường dây được nối tới các kết cấu) gây nguy hiểm cho con người, bản thân các kết cấu, kiến trúc và các trang bị chúng cũng như cho các đường dây. Đây là lý do tại sao việc áp dụng các biện pháp chống sét là cần thiết.

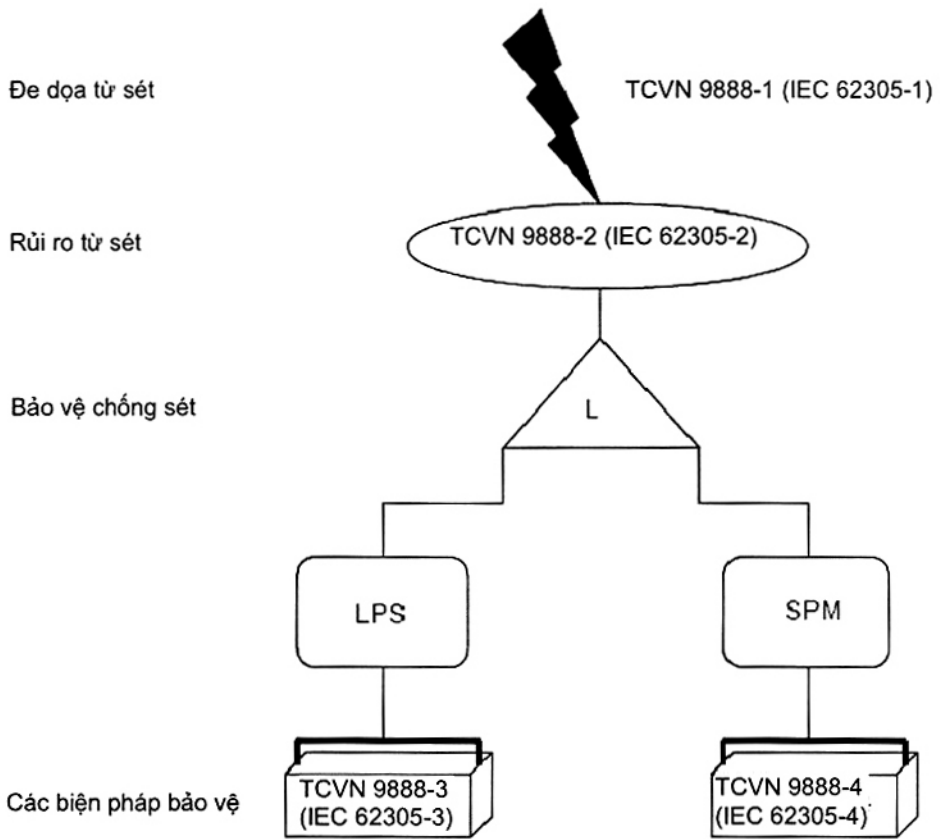
Nhu cầu bảo vệ, các lợi ích kinh tế của các biện pháp bảo vệ đang lắp đặt và việc lựa chọn các biện pháp bảo vệ thích hợp phải được xác định trong mục về quản lý rủi ro. Quản lý rủi ro là chủ đề của TCVN 9888-2 (IEC 62305-2).

Các biện pháp bảo vệ được xem xét trong IEC 62305 được chứng minh là có hiệu quả trong giảm thiểu rủi ro.

Tất cả các biện pháp bảo vệ chống sét tạo thành bảo vệ chống sét tổng thể. Với các lý luận thực tiễn các tiêu chuẩn thiết kế, lắp đặt và bảo trì của các biện pháp bảo vệ chống sét được xem xét ở hai nhóm riêng:

- Nhóm đầu tiên liên quan đến các biện pháp bảo vệ để giảm thiệt hại vật chất và nguy hiểm tính mạng trong một kết cấu được đưa ra trong TCVN 9888-3 (IEC 62305-3);
- Nhóm thứ hai liên quan đến các biện pháp bảo vệ để giảm hư hỏng các hệ thống điện và điện tử trong một kết cấu được đưa ra trong TCVN 9888-4 (IEC 62305-4).

Liên kết giữa các phần này của IEC 62305 được minh họa trong Hình 1.



Hình 1 – Liên kết giữa các phần khác nhau của bộ tiêu chuẩn TCVN 9888 (IEC 62305)

Bảo vệ chống sét –

Phần 1: Nguyên tắc chung

Protection against lightning –

Part 1: General principles

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này đưa ra các nguyên tắc chung cần tuân thủ để bảo vệ chống sét cho các kết cấu, bao gồm các hệ thống lắp đặt và các phần bên trong, cũng như con người.

Các trường hợp sau đây không thuộc phạm vi của tiêu chuẩn này:

- hệ thống đường sắt;
- xe cộ, tàu thủy, máy bay và hệ thống lắp đặt ngoài khơi;
- đường ống áp lực cao chôn ngầm;
- ống dẫn, đường dây điện và đường dây viễn thông nằm bên ngoài kết cấu.

CHÚ THÍCH: Các hệ thống này thường thuộc phạm vi điều chỉnh của các qui định do các cơ quan có thẩm quyền ban hành.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn dưới đây là cần thiết để áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu có ghi năm công bố, chỉ áp dụng các bản được nêu. Đối với các tài liệu không ghi năm công bố, áp dụng bản mới nhất (kể cả các sửa đổi).

TCVN 9888-2:2013 (IEC 62305-2:2010), *Bảo vệ chống sét – Phần 2: Quản lý rủi ro*

TCVN 9888-3:2013 (IEC 62305-3:2010), *Bảo vệ chống sét – Phần 3: Thiệt hại vật chất đến kết cấu và nguy hiểm tính mạng*

TCVN 9888-4:2013 (IEC 62305-4:2010), *Bảo vệ chống sét – Phần 4: Hệ thống điện và điện tử bên trong các kết cấu*

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau đây.

3.1

Sét đánh xuống đất (lightning flash to earth)

Phóng điện bắt nguồn từ khí quyển giữa các đám mây và đất gồm một hoặc nhiều cú sét.

3.2

Sét hướng xuống (downward flash)

Sét đánh bắt đầu từ một tiên đạo hướng từ đám mây xuống đất.

CHÚ THÍCH: Sét hướng xuống gồm một xung đầu tiên và có thể có một chuỗi xung tiếp theo. Một hoặc nhiều xung có thể theo sau bởi cú sét dài.

3.3

Sét hướng lên (upward flash)

Sét đánh bắt đầu từ một tiên đạo hướng từ một kết cấu nối đất lên đám mây.

CHÚ THÍCH: Sét hướng lên gồm một cú sét đầu tiên và có hoặc không có các xung xếp chồng. Một hoặc nhiều xung có thể theo sau bởi cú sét dài.

3.4

Cú sét (lightning stroke)

Phóng điện đơn nằm trong chùm sét đánh xuống đất.

3.5

Cú sét ngắn (short stroke)

Phần của sét ứng với một dòng điện xung.

CHÚ THÍCH: Dòng điện này có thời gian T_2 tới giá trị nửa đỉnh trên sườn sau thường nhỏ hơn 2 ms (xem Hình A.1).

3.6

Cú sét dài (long stroke)

Phần của sét ứng với một dòng điện liên tục.

CHÚ THÍCH: Khoảng thời gian T_{LONG} (thời gian từ giá trị 10 % trên sườn trước đến giá trị 10 % trên sườn sau) của dòng điện liên tục này thường lớn hơn 2 ms và nhỏ hơn 1 s (xem Hình A.2).

3.7

Cú sét chùm (multiple strokes)

Sét có trung bình từ 3 đến 4 cú sét, mà khoảng thời gian điển hình giữa chúng thường vào cỡ 50 ms.

CHÚ THÍCH: Đã ghi lại các trường hợp có tới một vài chục cú sét với các khoảng thời gian giữa chúng kéo dài từ 10 ms đến 250 ms.

3.8**Điểm sét đánh** (point of strike)

Điểm mà một sét đánh xuống đất hoặc đánh vào kết cấu nhô ra (ví dụ kết cấu, hệ thống LPS, đường dây, cây, v.v...).

CHÚ THÍCH: Một sét có thể có nhiều điểm đánh.

3.9**Dòng điện sét** (lightning current)

i

Dòng điện tại điểm sét đánh.

3.10**Giá trị đỉnh của dòng điện** (current peak value)

I

Giá trị lớn nhất của dòng điện sét.

3.11**Độ dốc trung bình của sườn trước dòng điện xung** (average steepness of the front of impulse current)

Tốc độ thay đổi trung bình của dòng điện trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$.

CHÚ THÍCH: Độ dốc được biểu diễn bằng chênh lệch $\Delta i = i(t_2) - i(t_1)$ của các giá trị dòng điện tại thời điểm bắt đầu và kết thúc khoảng thời gian này, chia cho khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ (xem Hình A.1).

3.12**Thời gian sườn trước của dòng điện xung** (front time of impulse current)

T_1

Tham số thực được định nghĩa là 1,25 lần khoảng thời gian tính từ thời điểm dòng điện xung đạt đến 10 % đến thời điểm dòng điện xung đạt đến 90 % giá trị đỉnh xung (xem Hình A.1).

3.13**Điểm gốc thực của dòng điện xung** (virtual origin of impulse current)

O_1

Giao điểm giữa trục thời gian và đường thẳng đi qua các điểm tương ứng với 10 % và 90 % trên sườn trước của dòng điện sét (xem Hình A.1); điểm này đứng trước điểm $0,1T_1$ là thời điểm tại đó dòng điện đạt được 10 % giá trị đỉnh.

TCVN 9888-1:2013

3.14

Thời gian tới một nửa giá trị trên sườn sau của xung dòng điện (time to half value on the tail of impulse current)

T_2

Tham số thực được xác định theo khoảng thời gian giữa điểm gốc thực O_1 và thời điểm tại đó dòng điện đã giảm xuống bằng một nửa giá trị đỉnh trên sườn sau (xem Hình A.1).

3.15

Thời gian tồn tại sét (flash duration)

T

Thời gian có dòng điện sét tại điểm sét đánh.

3.16

Thời gian của dòng điện cú sét dài (duration of long stroke current)

T_{LONG}

Khoảng thời gian giữa thời điểm dòng điện trong cú sét dài đạt đến 10 % giá trị đỉnh khi tăng dòng liên tục và thời điểm đạt đến 10 % giá trị đỉnh khi giảm dòng liên tục (xem Hình A.2).

3.17

Điện tích sét (flash charge)

Q_{FLASH}

Tích phân theo thời gian của dòng điện sét trong toàn bộ thời gian sét đánh.

3.18

Điện tích xung sét (impulse charge)

Q_{SHORT}

Tích phân theo thời gian của dòng điện sét trong một xung.

3.19

Điện tích cú sét dài (long stroke charge)

Q_{LONG}

Tích phân theo thời gian của dòng điện sét trong một cú sét dài.

3.20

Năng lượng riêng (specific energy)

W/R

Tích phân theo thời gian của bình phương dòng điện sét trong toàn bộ thời gian sét đánh.

CHÚ THÍCH: Năng lượng riêng biểu diễn năng lượng tiêu tán bởi dòng điện sét trong một đơn vị điện trở.

3.21

Năng lượng riêng của dòng điện xung (specific energy of impulse current)

Tích phân theo thời gian của bình phương dòng điện sét trong độ rộng xung sét.

CHÚ THÍCH: Năng lượng riêng của một dòng điện cú sét dài là không đáng kể.

3.22

Kết cấu cần bảo vệ (structure to be protected)

Kết cấu được yêu cầu bảo vệ chống lại các ảnh hưởng của sét phù hợp với tiêu chuẩn này.

CHÚ THÍCH: Kết cấu cần bảo vệ có thể là một phần của kết cấu lớn hơn.

3.23

Đường dây (line)

Đường dây tải điện hoặc đường dây viễn thông nối tới kết cấu cần bảo vệ.

3.24

Đường dây viễn thông (telecommunication lines)

Các dây được dùng cho việc truyền thông giữa thiết bị có thể được đặt trong các kết cấu riêng biệt ví dụ như đường dây điện thoại và đường dây dữ liệu.

3.25

Đường dây điện (power lines)

Đường dây phân phối đưa năng lượng điện vào một kết cấu để cấp nguồn cho thiết bị điện và điện tử đặt trong đó, ví dụ như các lưới điện hạ áp (LV) hoặc cao áp (HV)

3.26

Sét đánh vào kết cấu (lightning flash to a structure)

Sét đánh vào kết cấu cần bảo vệ.

3.27

Sét đánh gần kết cấu (lightning flash near a structure)

Sét đánh đủ gần kết cấu cần bảo vệ có thể gây quá điện áp nguy hiểm.

3.28

Hệ thống điện (electrical system)

Hệ thống có các thành phần cấp điện hạ áp.

3.29

Hệ thống điện tử (electronic system)

Hệ thống có các thành phần điện tử nhạy như thiết bị viễn thông, máy vi tính, hệ thống đo lường và điều khiển, hệ thống vô tuyến điện, hệ thống điện tử công suất.

TCVN 9888-1:2013

3.30

Hệ thống bên trong (internal systems)

Hệ thống điện và điện tử nằm bên trong kết cấu.

3.31

Thiệt hại vật chất (physical damage)

Thiệt hại tới một kết cấu (hay các phần bên trong) do các hiệu ứng về cơ, nhiệt, hóa hoặc nổ từ sét.

3.32

Tổn thương sinh vật (injury to living beings)

Các tổn thương vĩnh viễn kể cả tổn thất sinh mạng về người hoặc động vật khi bị điện giật do điện áp tiếp xúc và điện áp bước gây ra bởi sét.

CHÚ THÍCH: Mặc dù sinh vật có thể bị thương theo các cách khác nhau, trong tiêu chuẩn này thuật ngữ "tổn thương sinh vật" được giới hạn ở các mối đe dọa do điện giật (kiểu thiệt hại D1).

3.33

Hỏng hệ thống điện và điện tử (failure of electrical and electronic systems)

Thiệt hại vĩnh viễn của các hệ thống điện và điện tử do xung sét điện từ (LEMP).

3.34

Xung sét điện từ (lightning electromagnetic impulse)

LEMP

Tất cả các hiệu ứng điện từ của dòng điện sét từ sự ghép nối kiểu điện trở, điện cảm và điện dung sinh ra các đột biến và trường điện từ bức xạ.

3.35

Đột biến (surge)

Quá độ gây ra bởi LEMP xuất hiện như một quá điện áp và/hoặc quá dòng điện.

3.36

Vùng bảo vệ chống sét (lightning protection zone)

LPZ

Vùng mà trong đó môi trường sét điện từ được xác định.

CHÚ THÍCH: Ranh giới của vùng bảo vệ chống sét không nhất thiết là ranh giới vật lý (ví dụ như tường, sàn và trần).

3.37

Rủi ro (risk)

R

Giá trị tổn thất trung bình hàng năm có thể xảy ra (về người và hàng hóa) do sét, liên quan đến tổng giá trị (về người và hàng hóa) của kết cấu cần bảo vệ.

3.38**Rủi ro cho phép (tolerable risk)**R_T

Giá trị rủi ro tối đa có thể chấp nhận được đối với kết cấu cần bảo vệ.

3.39**Mức bảo vệ chống sét (lightning protection level)**

LPL

Chữ số liên quan đến một tập hợp các giá trị tham số dòng điện sét ứng với xác suất để các giá trị tối đa và tối thiểu kết hợp theo thiết kế sẽ không bị vượt quá khi sét xuất hiện tự nhiên.

CHÚ THÍCH: Mức bảo vệ chống sét được sử dụng để thiết kế các biện pháp bảo vệ theo tập hợp tương ứng của các tham số dòng điện sét.

3.40**Biện pháp bảo vệ (protection measures)**

Biện pháp cần được áp dụng trong kết cấu cần bảo vệ nhằm giảm rủi ro.

3.41**Bảo vệ chống sét (lightning protection)**

LP

Hệ thống bảo vệ chống sét hoàn chỉnh cho các kết cấu, bao gồm hệ thống lắp đặt và các phần bên trong, cũng như con người, nói chung gồm một LPS và SPM.

3.42**Hệ thống bảo vệ chống sét (lightning protection system)**

LPS

Hệ thống hoàn chỉnh được sử dụng để giảm thiệt hại vật chất do sét đánh vào kết cấu.

CHÚ THÍCH: Hệ thống bảo vệ chống sét bao gồm hệ thống bảo vệ chống sét bên trong và bên ngoài.

3.43**Hệ thống bảo vệ chống sét bên ngoài (external lightning protection system)**

Phần của hệ thống bảo vệ chống sét gồm hệ thống đầu thu sét, hệ thống dẫn sét và hệ thống đầu tiếp đất.

3.44**Hệ thống bảo vệ chống sét bên trong (internal lightning protection system)**

Phần của hệ thống bảo vệ chống sét gồm liên kết đẳng thế chống sét và/hoặc cách điện của hệ thống bảo vệ chống sét bên ngoài.

3.45

Hệ thống đầu thu sét (air-termination system)

Bộ phận của hệ thống bảo vệ chống sét bên ngoài sử dụng các phần tử kim loại như các thanh kim loại, lưới kim loại hoặc dây chống sét để thu sét.

3.46

Hệ thống dẫn sét (down-conductor system)

Bộ phận của hệ thống bảo vệ chống sét bên ngoài dùng để dẫn dòng điện sét từ hệ thống đầu thu sét xuống hệ thống đầu tiếp đất.

3.47

Hệ thống đầu tiếp đất (earth-termination system)

Bộ phận của hệ thống bảo vệ chống sét bên ngoài dùng để dẫn và phân tán dòng điện sét vào đất.

3.48

Phần dẫn điện bên ngoài (external conductive parts)

Các phần kim loại kéo dài đi vào hoặc đi ra khỏi kết cấu cần bảo vệ ví dụ như hệ thống đường ống, phần tử cáp bằng kim loại, ống kim loại, v.v... có thể mang một phần dòng điện sét.

3.49

Liên kết đẳng thế chống sét (lightning equipotential bonding)

EB

Liên kết đến LPS của các bộ phận kim loại riêng rẽ bằng cách ghép nối dẫn điện trực tiếp hoặc thông qua các thiết bị bảo vệ đột biến, để giảm chênh lệch điện thế do dòng điện sét.

3.50

Trở kháng đất quy ước (conventional earthing impedance)

Tỷ số giữa giá trị đỉnh của điện áp đầu tiếp đất và dòng điện đầu tiếp đất, thông thường chúng không xuất hiện đồng thời.

3.51

Biện pháp bảo vệ chống xung sét điện từ (LEMP protection measures)

SPM

Các biện pháp thực hiện để bảo vệ các hệ thống bên trong chống lại các ảnh hưởng của LEMP.

CHÚ THÍCH: Hệ thống bảo vệ chống xung sét điện từ là một phần của bảo vệ chống sét toàn phần.

3.52

Màn chắn từ (magnetic shield)

Màn khép kín, bằng kim loại, dạng lưới hoặc dạng tấm bao phủ kết cấu cần bảo vệ, hoặc một phần của kết cấu, được sử dụng để giảm các hồng học của hệ thống điện và điện tử.

3.53

Thiết bị bảo vệ chống đột biến (surge protective device)

SPD

Thiết bị được dùng để hạn chế các quá điện áp quá độ và thoát dòng đột biến; chứa tối thiểu một phần tử phi tuyến.

3.54

Hệ thống SPD phối hợp (coordinated SPD system)

Các SPD được lựa chọn, phối hợp và lắp đặt thích hợp tạo thành một hệ thống nhằm giảm hồng học của hệ thống điện và điện tử.

3.55

Điện áp chịu xung danh định (rated impulse withstand voltage)

U_w

Điện áp chịu xung do nhà chế tạo ấn định cho thiết bị hoặc một phần của thiết bị, đặc trưng cho khả năng chịu đựng quy định chống quá điện áp của cách điện.

CHÚ THÍCH: Tiêu chuẩn này chỉ xét đến điện áp chịu đựng giữa vật dẫn mang điện và đất.

[IEC 60664-1:2007, định nghĩa 3.9.2]^[1]

3.56

Giao diện cách ly (isolating interfaces)

Thiết bị có khả năng làm giảm đột biến dẫn trên các đường dây đi vào LPZ.

CHÚ THÍCH 1: Giao diện cách ly bao gồm cả máy biến áp cách ly có màn chắn nối đất giữa các cuộn dây, cáp sợi quang phi kim loại và bộ cách ly quang.

CHÚ THÍCH 2: Các đặc tính chịu đựng của cách điện trong thiết bị có thể phù hợp cho ứng dụng này do tự nó hoặc thông qua SPD.

4 Tham số dòng điện sét

Các tham số dòng điện sét được sử dụng trong bộ tiêu chuẩn TCVN 9888 (IEC 62305) được nêu trong Phụ lục A.

Hàm số thời gian dòng điện sét được sử dụng cho các mục đích phân tích được nêu trong Phụ lục B.

¹ Con số trong ngoặc vuông thể hiện thư mục tài liệu tham khảo.

TCVN 9888-1:2013

Thông tin mô phỏng dòng điện sét cho các mục đích thử nghiệm được nêu trong Phụ lục C.

Các tham số cơ bản được sử dụng trong các phòng thí nghiệm để mô phỏng các ảnh hưởng của sét lên các thành phần của LPS được nêu trong Phụ lục D.

Thông tin về các đột biến do sét tại các điểm lắp đặt khác nhau được nêu trong Phụ lục E.

5 Thiệt hại do sét

5.1 Thiệt hại tới kết cấu

Sét ảnh hưởng đến kết cấu có thể gây thiệt hại cho chính kết cấu, người cư ngụ và các phần bên trong của kết cấu, kể cả hồng hệ thống bên trong. Các thiệt hại và hồng học cũng có thể lan rộng đến các vùng xung quanh kết cấu và thậm chí liên quan đến môi trường cục bộ. Quy mô lan rộng này phụ thuộc vào các đặc trưng của kết cấu và các đặc tính của sét.

5.1.1 Ảnh hưởng của sét lên kết cấu

Các đặc trưng chính của kết cấu liên quan đến ảnh hưởng của sét bao gồm:

- kiểu kết cấu (ví dụ như kết cấu gỗ, kết cấu gạch, kết cấu bê tông, kết cấu bê tông cốt thép, kết cấu khung thép);
- chức năng (nhà ở, văn phòng, trang trại, nhà hát, khách sạn, trường học, bệnh viện, bảo tàng, nhà thờ, nhà tù, cửa hàng bách hóa, ngân hàng, nhà máy, khu công nghiệp, khu thể thao);
- cư dân và các phần bên trong (con người và động vật, có các vật liệu dễ cháy hoặc không cháy, vật liệu nổ hoặc không nổ, hệ thống điện và điện tử có điện áp chịu đựng thấp hoặc cao);
- đường dây được nối vào (đường dây tải điện, đường dây viễn thông, đường ống);
- biện pháp bảo vệ được trang bị hoặc sẵn có (biện pháp bảo vệ để giảm thiệt hại vật chất và nguy hiểm đến sinh mạng, biện pháp bảo vệ để giảm hồng học các hệ thống bên trong);
- quy mô lan rộng nguy hiểm (kết cấu có khó khăn trong việc sơ tán hoặc kết cấu trong đó có thể xảy ra hoảng loạn, kết cấu nguy hiểm cho các vùng xung quanh, kết cấu nguy hiểm cho môi trường).

Bảng 1 ghi lại các ảnh hưởng của sét lên các loại kết cấu khác nhau.

Bảng 1 – Ảnh hưởng của sét lên các kết cấu điển hình

Loại kết cấu theo chức năng và/hoặc theo các phần bên trong	Các ảnh hưởng của sét
Nhà ở	Đánh thủng cách điện các trang bị điện, cháy và thiệt hại vật liệu Thiệt hại thường chỉ giới hạn ở các kết cấu tiếp xúc với điểm sét đánh hoặc với đường dẫn dòng điện sét Hồng hóc các thiết bị và hệ thống điện và điện tử được lắp đặt (ví dụ như TV, máy tính, modem, điện thoại, v.v...)
Tòa nhà trong trang trại	Rủi ro sơ cấp là cháy và điện áp bước nguy hiểm cũng như thiệt hại vật chất. Rủi ro thứ cấp do mất điện, và nguy hiểm đến sự sống của gia súc do hồng điều khiển điện tử cho các hệ thống thông gió và thực phẩm, v.v...
Nhà hát Khách sạn Trường học Cửa hàng Khu thể thao	Thiệt hại cho các công trình điện (ví dụ điện chiếu sáng) nhiều khả năng xảy ra hoảng loạn Hồng hệ thống báo cháy dẫn đến chậm trễ các biện pháp chữa cháy
Ngân hàng Công ty bảo hiểm Công ty thương mại, v.v...	Như trên, cộng thêm các vấn đề do mất thông tin liên lạc, hồng máy tính và tổn thất dữ liệu
Bệnh viện Viện dưỡng lão Nhà tù	Như trên, cộng thêm các vấn đề về con người trong khu chăm sóc chuyên sâu, và những khó khăn của việc giải cứu người bất động
Công nghiệp	Các đánh hưởng bổ sung tùy thuộc vào các phần bên trong của các nhà máy, phạm vi thiệt hại từ nhỏ đến mức không thể chấp nhận và ngừng sản xuất
Bảo tàng và các vị trí khảo cổ Nhà thờ	Tổn thất di sản văn hóa không thể thay thế
Viễn thông Nhà máy điện	Tổn thất không thể chấp nhận của các dịch vụ cho công cộng
Nhà máy sản xuất pháo hoa Xưởng đạn dược	Hậu quả cháy, nổ đối với nhà máy và môi trường xung quanh nó
Nhà máy hóa chất Nhà máy lọc dầu Nhà máy hạt nhân Các phòng thí nghiệm và nhà máy sinh hóa	Cháy và hoạt động sai của các nhà máy có những hậu quả có hại cho môi trường địa phương và toàn cầu

5.1.2 Nguồn và các kiểu thiệt hại cho một kết cấu

Dòng điện sét là nguồn gây thiệt hại. Phải tính đến các trường hợp dưới đây, tùy thuộc vào vị trí của điểm sét đánh liên quan đến kết cấu được xét:

a) S1: sét đánh vào kết cấu;

TCVN 9888-1:2013

b) S2: sét đánh gần kết cấu;

c) S3: sét đánh vào đường dây nối với kết cấu;

d) S4: sét đánh gần đường dây nối với kết cấu

a) Sét đánh vào kết cấu có thể gây ra:

– thiệt hại tức thời về cơ, cháy và/hoặc nổ do bản thân hồ quang plasma nóng từ sét, do dòng điện dẫn đến đốt nóng dây dẫn (dây dẫn quá nóng), hoặc do tích điện dẫn đến ăn mòn hồ quang (kim loại nóng chảy);

– cháy và/hoặc nổ được kích hoạt bằng tia lửa điện do quá điện áp gây ra bởi ghép nối kiểu điện trở và điện cảm và dẫn một phần dòng điện sét chạy qua;

– tổn thương sinh vật vì điện giật do điện áp bước và điện áp tiếp xúc sinh ra bởi ghép nối kiểu điện trở và điện cảm;

– hỏng hoặc hoạt động sai của hệ thống bên trong do LEMP.

b) Sét đánh gần kết cấu có thể gây ra:

– Hỏng hay hoạt động sai hệ thống bên trong do LEMP.

c) Sét đánh vào các đường dây nối tới kết cấu có thể gây ra:

– cháy và/hoặc nổ được kích hoạt bởi các tia lửa do quá điện áp và có dòng điện sét truyền qua đường dây nối;

– tổn thương sinh vật vì điện giật do điện áp tiếp xúc bên trong kết cấu khi dòng điện sét truyền qua đường dây nối;

– hỏng hoặc hoạt động sai hệ thống bên trong do quá điện áp xuất hiện trên các đường dây nối và truyền tới kết cấu.

d) Sét đánh gần đường dây nối tới kết cấu có thể gây ra:

– Hỏng hoặc hoạt động sai hệ thống bên trong do quá điện áp cảm ứng trên các đường dây nối và truyền tới kết cấu.

CHÚ THÍCH 1: Hoạt động sai hệ thống bên trong không được đề cập trong bộ tiêu chuẩn TCVN 9888 (IEC 62305). Cần tham khảo IEC 61000-4-5 [2].

CHÚ THÍCH 2: Chỉ các tia lửa mang dòng điện sét (toàn bộ hoặc một phần) được coi là có thể kích hoạt cháy.

CHÚ THÍCH 3: Sét đánh trực tiếp vào hoặc gần đường ống đi vào không gây thiệt hại cho kết cấu, với điều kiện là chúng được nối liên kết với thanh đẳng thế của kết cấu (xem TCVN 9888-3 (IEC 62305-3)).

Tóm lại, sét có thể gây ra ba kiểu thiệt hại cơ bản:

- D1: tổn thương sinh vật do điện giật;
- D2: thiệt hại vật chất (cháy, nổ, phá hủy cơ khí, thất thoát hóa chất) do ảnh hưởng của dòng điện sét kể cả việc đánh lừa;
- D3: hỏng hóc các hệ thống bên trong do LEMP.

5.2 Kiểu tổn thất

Mỗi kiểu thiệt hại liên quan đến kết cấu cần bảo vệ, riêng lẻ hoặc kết hợp với những loại khác, có thể dẫn đến hậu quả tổn thất khác nhau. Phụ thuộc vào các đặc trưng của chính kết cấu có thể có các kiểu tổn thất.

Trong bộ tiêu chuẩn IEC 62305, các kiểu tổn thất sau đây được xem xét, có thể xuất hiện như hậu quả của thiệt hại liên quan đến kết cấu:

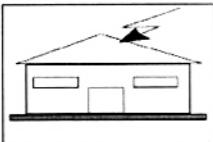
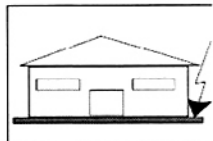
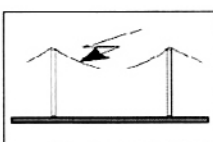
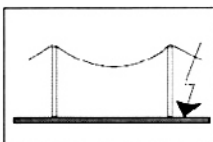
- L1: tổn thất về sự sống của con người (bao gồm tổn thương vĩnh viễn);
- L2: tổn thất về dịch vụ công cộng;
- L3: tổn thất về di sản văn hóa;
- L4: tổn thất về giá trị kinh tế (kết cấu, các phần bên trong kết cấu, và tổn thất về hoạt động).

CHÚ THÍCH: Trong tiêu chuẩn này chỉ các tiện ích như nguồn khí đốt, nguồn nước, truyền hình, viễn thông và nguồn điện được coi là dịch vụ công cộng.

Tổn thất kiểu L1, L2 và L3 có thể được coi là tổn thất về các giá trị xã hội, trong khi kiểu tổn thất L4 có thể được coi hoàn toàn là tổn thất kinh tế.

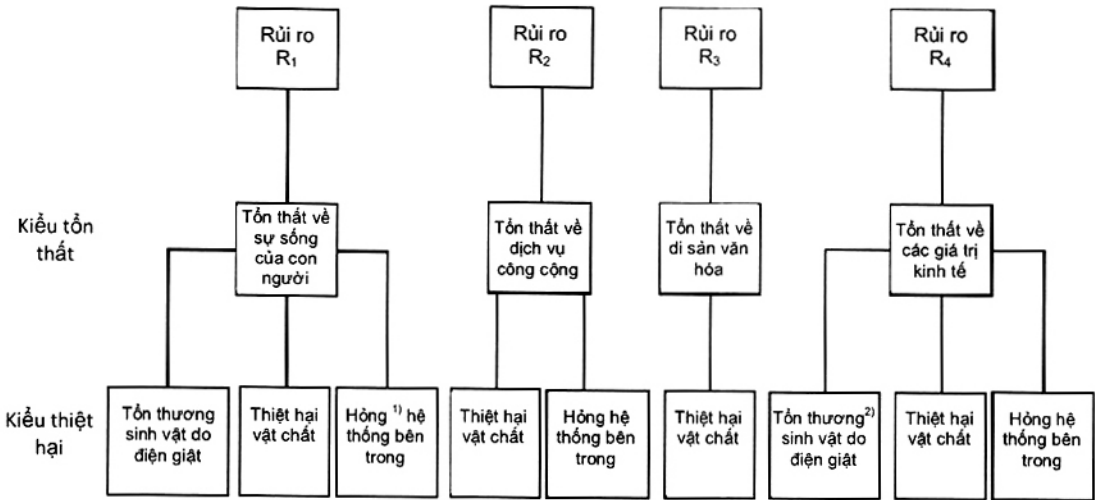
Mối quan hệ giữa nguồn gây thiệt hại, kiểu thiệt hại và kiểu tổn thất được nêu trong Bảng 2.

Bảng 2 – Thiệt hại và tổn thất liên quan đến kết cấu theo các điểm sét đánh khác nhau

Điểm sét đánh		Nguồn gây thiệt hại	Kiểu thiệt hại	Kiểu tổn thất
Vào kết cấu		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Gần kết cấu		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Vào đường dây nổi tới kết cấu		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Gần đường dây nổi tới kết cấu		S4	D3	L1 ^b , L2, L4

^a Chỉ đối với các tài sản ở nơi mà động vật có thể bị mất.
^b Chỉ đối với các kết cấu có rủi ro nổ và đối với các bệnh viện hoặc các kết cấu khác mà việc hỏng hệ thống bên trong gây nguy hiểm ngay tới sự sống của con người.

Các kiểu tổn thất gây ra do các kiểu thiệt hại và các rủi ro tương ứng được ghi lại trong Hình 2.



¹⁾ Chỉ với các bệnh viện hoặc các kết cấu khác mà các hư hỏng hệ thống bên trong gây nguy hiểm ngay tới cuộc sống con người.

²⁾ Chỉ với các tài sản ở nơi mà động vật có thể bị mất.

Hình 2 – Các kiểu tổn thất và rủi ro tương ứng gây ra do các kiểu thiệt hại khác nhau

6 Nhu cầu và luận chứng kinh tế đối với bảo vệ chống sét

6.1 Nhu cầu bảo vệ chống sét

Phải đánh giá nhu cầu bảo vệ chống sét của kết cấu cần bảo vệ nhằm giảm tổn thất về các giá trị xã hội L1, L2 và L3.

Để đánh giá xem có cần bảo vệ chống sét cho kết cấu hay không, thực hiện đánh giá rủi ro theo các quy trình có trong TCVN 9888-2 (IEC 62305-2). Phải tính đến các rủi ro sau đây, ứng với các kiểu tổn thất nêu trong 5.2:

- R1: rủi ro tổn thất hoặc tổn thương vĩnh viễn cuộc sống của con người;
- R2: rủi ro tổn thất các dịch vụ công cộng;
- R3: rủi ro tổn thất di sản văn hóa.

CHÚ THÍCH 1: Rủi ro R₄: rủi ro tổn thất các giá trị kinh tế, cần được đánh giá bất cứ khi nào thực hiện luận chứng kinh tế đối với bảo vệ chống sét (xem 6.2).

Bảo vệ chống sét là cần thiết nếu các rủi ro R (từ R₁ đến R₃) cao hơn mức cho phép R_T

$$R > R_T$$

TCVN 9888-1:2013

Trong trường hợp này, các biện pháp bảo vệ được áp dụng để giảm thiểu rủi ro R (từ R₁ đến R₃) ở mức cho phép R_T

$$R \leq R_T$$

Nếu có thể xuất hiện nhiều kiểu tổn thất, các điều kiện $R \leq R_T$ được đáp ứng đối với mỗi kiểu tổn thất (L1, L2 và L3).

Ở những nơi sét có thể dẫn đến tổn thất các hạng mục có giá trị xã hội, thì các giá trị rủi ro cho phép R_T cần có sự tham gia của các cơ quan chức năng nhà nước có thẩm quyền.

CHÚ THÍCH 2: Một cơ quan có thẩm quyền có thể quy định sự cần thiết phải bảo vệ chống sét cho các ứng dụng cụ thể mà không cần phải đánh giá rủi ro. Trong những trường hợp này, mức độ chống sét cần thiết sẽ được quy định bởi cơ quan có thẩm quyền. Trong một số trường hợp, đánh giá rủi ro có thể được thực hiện như một kỹ thuật mà theo đó giải thích cho việc miễn các yêu cầu này.

CHÚ THÍCH 3: Thông tin chi tiết về đánh giá rủi ro và quy trình lựa chọn các biện pháp bảo vệ được nêu trong TCVN 9888-2 (IEC 62305-2).

6.2 Luận chứng kinh tế đối với bảo vệ chống sét

Bên cạnh nhu cầu bảo vệ chống sét cho kết cấu cần bảo vệ, có thể cần đánh giá lợi ích kinh tế của việc trang bị các biện pháp bảo vệ nhằm giảm tổn thất kinh tế L4.

Trong trường hợp này, rủi ro R₄ về tổn thất các giá trị kinh tế cần được đánh giá. Đánh giá rủi ro R₄ cho phép đánh giá các chi phí về tổn thất kinh tế khi có và không có các biện pháp bảo vệ.

Chống sét có hiệu quả về chi phí nếu tổng chi phí về tổn thất tồn dư C_{RL} khi có các biện pháp bảo vệ và chi phí của các biện pháp bảo vệ C_{PM} thấp hơn so với chi phí về tổng tổn thất C_L khi không có biện pháp bảo vệ:

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

CHÚ THÍCH: Thông tin chi tiết về luận chứng kinh tế bảo vệ chống sét được nêu trong TCVN 9888-2 (IEC 62305-2).

7 Biện pháp bảo vệ

7.1 Qui định chung

Các biện pháp bảo vệ có thể được áp dụng nhằm giảm rủi ro theo từng kiểu thiệt hại.

7.2 Biện pháp bảo vệ để giảm tổn thương sinh vật do điện giật

Các biện pháp bảo vệ có thể bao gồm:

- cách ly thích hợp cho các bộ phận dẫn điện để hở;

- đẳng thế bằng một hệ thống tiếp đất dạng mắt lưới;
- hạn chế vật lý và thông báo cảnh cáo;
- liên kết đẳng thế chống sét (EB).

CHÚ THÍCH 1: Đẳng thế và việc tăng điện trở tiếp xúc của bề mặt đất bên trong và bên ngoài kết cấu có thể giảm nguy hiểm đến sự sống (xem Điều 8 của TCVN 9888-3:2013 (IEC 62305-3:2010)).

CHÚ THÍCH 2: Các biện pháp bảo vệ chỉ có hiệu quả trong các kết cấu được bảo vệ bằng LPS.

CHÚ THÍCH 3: Việc sử dụng máy phát hiện bão và thực hiện các dự phòng liên quan có thể giảm nguy hiểm đến sự sống.

7.3 Biện pháp bảo vệ để giảm thiệt hại vật chất

Bảo vệ được thực hiện bởi hệ thống bảo vệ chống sét (LPS) có các thành phần sau:

- hệ thống đầu thu sét;
- hệ thống dẫn sét;
- hệ thống đầu tiếp đất;
- liên kết đẳng thế chống sét (EB);
- cách điện (và do đó có khoảng cách ly) với LPS bên ngoài.

CHÚ THÍCH 1: Khi một hệ thống LPS được lắp đặt, đẳng thế là một biện pháp rất quan trọng để giảm nguy hiểm đến sự sống và nguy hiểm cháy và nổ. Để biết thêm chi tiết, xem TCVN 9888-3 (IEC 62305-3).

CHÚ THÍCH 2: Các dự phòng hạn chế sự phát triển và lan truyền cháy như các trang bị khoang chống cháy, bình chữa cháy, vòi nước, báo cháy và chữa cháy có thể làm giảm thiệt hại vật chất.

CHÚ THÍCH 3: Các lối thoát hiểm có bảo vệ để cung cấp bảo vệ cho nhân viên.

7.4 Biện pháp bảo vệ để giảm việc hỏng hệ thống điện và điện tử

Các biện pháp bảo vệ (SPM) có thể có bao gồm:

- biện pháp nối đất và liên kết,
- màn chắn từ,
- định tuyến đường dây,
- giao diện cách ly,
- hệ thống SPD phối hợp.

Các biện pháp này có thể được sử dụng riêng lẻ hoặc kết hợp.

TCVN 9888-1:2013

CHÚ THÍCH 1: Khi xem xét nguồn gây thiệt hại S1, các biện pháp bảo vệ chỉ có hiệu quả trong cấu trúc được bảo vệ bằng LPS.

CHÚ THÍCH 2: Việc sử dụng máy phát hiện bão và thực hiện các dự phòng liên quan có thể làm giảm việc hỏng hệ thống điện và điện tử .

7.5 Lựa chọn các biện pháp bảo vệ

Các biện pháp bảo vệ được liệt kê trong 7.2, 7.3 và 7.4 cùng tạo thành bảo vệ chống sét tổng thể.

Nhà thiết kế các biện pháp bảo vệ và chủ sở hữu kết cấu cần bảo vệ thực hiện lựa chọn các biện pháp bảo vệ thích hợp nhất theo các loại và số lượng của từng kiểu thiệt hại, các khía cạnh kỹ thuật và kinh tế của các biện pháp bảo vệ khác nhau và các kết quả đánh giá rủi ro.

Các tiêu chí để đánh giá rủi ro và lựa chọn các biện pháp bảo vệ thích hợp nhất được đưa ra trong TCVN 9888-2 (IEC 62305-2).

Các biện pháp bảo vệ được trang bị có hiệu quả khi chúng tuân thủ các yêu cầu của tiêu chuẩn liên quan và có thể chịu được ứng suất dự kiến có ở những nơi lắp đặt chúng.

8 Tiêu chí cơ bản để bảo vệ các kết cấu

8.1 Qui định chung

Một bảo vệ lý tưởng cho các kết cấu là bọc kết cấu cần bảo vệ trong một vỏ bảo vệ liền đủ dày dẫn điện lý tưởng và được nối đất, và cung cấp nối liên kết thích hợp, cho các đường dây được nối tới kết cấu tại điểm đầu vào bên trong vỏ bảo vệ.

Điều này sẽ ngăn chặn sự xâm nhập của dòng điện sét và trường điện từ liên quan vào trong kết cấu cần bảo vệ và ngăn chặn các nguy hiểm của hiệu ứng nhiệt và điện động của dòng điện, cũng như nguy hiểm đánh lửa và quá điện áp cho các hệ thống bên trong.

Trong thực tế, thường là không thể và cũng không hiệu quả chi phí để tiến hành biện pháp như vậy nhằm trang bị bảo vệ đầy đủ như vậy.

Vỏ bảo vệ thiếu liên tục và/hoặc không đủ dày sẽ làm cho dòng điện sét xâm nhập vào vỏ bảo vệ gây ra:

- thiệt hại vật chất và nguy hiểm đến sự sống;
- hỏng hệ thống bên trong.

Áp dụng để giảm các thiệt hại như vậy và hậu quả tổn thất liên quan, các biện pháp bảo vệ được thiết kế để xác định bộ các tham số dòng điện sét đối với mỗi bảo vệ được yêu cầu (mức bảo vệ chống sét).

8.2 Mức bảo vệ chống sét (LPL)

Tiêu chuẩn này đưa ra bốn mức bảo vệ chống sét (từ I đến IV). Đối với mỗi mức LPL, cố định một bộ các tham số dòng điện sét tối đa và tối thiểu.

CHÚ THÍCH 1: Bảo vệ chống sét có các tham số dòng điện sét tối đa và tối thiểu vượt quá các tham số liên quan đến mức LPL I cần các biện pháp hiệu quả hơn cần được chọn và xây dựng trên cơ sở riêng.

CHÚ THÍCH 2: Xác suất xuất hiện sét có các tham số dòng tối thiểu hoặc tối đa vượt ra ngoài phạm vi của các giá trị được định nghĩa cho mức LPL I nhỏ hơn 2%.

Các giá trị tối đa của các tham số dòng điện sét liên quan đến mức LPL I không được bị vượt quá, với xác suất 99 %. Theo tỷ số phân cực được giả định (xem Điều A.2), các giá trị lấy từ các sét mang điện dương sẽ có xác suất dưới 10 %, trong khi các giá trị từ các sét mang điện âm sẽ vẫn dưới 1 % (xem Điều A.3).

Giá trị tối đa của các tham số dòng điện sét liên quan đến mức LPL I giảm xuống tới 75 % đối với mức LPL II và 50 % đối với mức LPL III và IV (tuyến tính đối với I, Q và di/dt, nhưng bình phương đối với W/R). Các tham số thời gian không thay đổi.

CHÚ THÍCH 3: Các mức bảo vệ chống sét có các tham số dòng điện sét tối đa thấp hơn so với các tham số liên quan đến mức LPL IV cho phép xem xét các giá trị xác suất thiệt hại cao hơn so các giá trị trình bày trong Phụ lục B của TCVN 9888-2:2013 (IEC 62305-2:2010), nhưng không được định lượng và hữu ích để điều chỉnh tốt hơn các biện pháp bảo vệ nhằm tránh các chi phí vô lý.

Giá trị tối đa của các tham số dòng điện sét đối với các mức bảo vệ chống sét khác nhau được đưa ra trong Bảng 3 và được sử dụng để thiết kế các thành phần chống sét (ví dụ như tiết diện của dây dẫn, độ dày của tấm kim loại, khả năng hiện tại của các thiết bị SPD, khoảng cách tách biệt chống đánh lừa nguy hiểm) và để xác định các tham số thử nghiệm mô phỏng những ảnh hưởng của sét trên thành phần như vậy (xem Phụ lục D).

Các giá trị tối thiểu của biên độ dòng điện sét đối với mức bảo vệ LPL khác được sử dụng để suy ra bán kính quả cầu lăn (xem Điều A.4) nhằm xác định vùng bảo vệ chống sét LPZ 0_B mà sét không thể đánh trực tiếp vào được (xem 8.3 và Hình 3 và Hình 4). Các giá trị tối thiểu của các tham số dòng điện sét cùng với bán kính quả cầu lăn liên quan được đưa ra trong Bảng 4. Chúng được sử dụng cho việc định vị hệ thống thu sét và để xác định vùng bảo vệ chống sét LPZ 0_B (xem 8.3).

Bảng 3 – Các giá trị tối đa của tham số sét theo mức bảo vệ LPL

Xung dương đầu tiên			LPL			
Các tham số dòng điện	Ký hiệu	Đơn vị	I	II	III	IV
Dòng điện đỉnh	I	kA	200	150	100	
Điện tích xung	Q_{SHORT}	C	100	75	50	
Năng lượng riêng	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Các tham số thời gian	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10/350			
Xung âm đầu tiên ^a			LPL			
Các tham số dòng điện	Ký hiệu	Đơn vị	I	II	III	
Dòng điện đỉnh	I	kA	100	75	50	
Độ dốc trung bình	di/dt	kA/ μs	100	75	50	
Các tham số thời gian	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	1/200			
Xung tiếp theo			LPL			
Các tham số dòng điện	Ký hiệu	Đơn vị	I	II	III	IV
Dòng điện đỉnh	I	kA	50	37,5	25	
Độ dốc trung bình	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Các tham số thời gian	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	0,25/100			
Cú sét dài			LPL			
Các tham số dòng điện	Ký hiệu	Đơn vị	I	II	III	IV
Điện tích cú sét dài	Q_{LONG}	C	200	150	100	
Tham số thời gian	T_{LONG}	s	0,5			
Sét			LPL			
Các tham số dòng điện	Ký hiệu	Đơn vị	I	II	III	IV
Điện tích sét	Q_{FLASH}	C	300	225	150	

^a Việc sử dụng hình dạng dòng điện này chỉ liên quan đến các tính toán mà không phải để thử nghiệm.

Bảng 4 – Các giá trị tối thiểu của tham số sét và bán kính quả cầu lăn ứng với mức bảo vệ LPL

Tiêu chí chặn			LPL			
Các tham số dòng điện	Ký hiệu	Đơn vị	I	II	III	IV
Dòng điện đỉnh tối đa	I	kA	3	5	10	16
Bán kính quả cầu lăn	r	m	20	30	45	60

Từ các phân bố thống kê cho trong Hình A.5, xác suất có trọng số có thể được xác định để các tham số dòng điện sét nhỏ hơn giá trị tối đa và lớn hơn giá trị tối thiểu được xác định cho mỗi mức bảo vệ (xem Bảng 5).

Bảng 5 – Xác suất cho các giới hạn của các tham số dòng điện sét

Xác suất để các tham số dòng điện sét	LPL			
	I	II	III	IV
– nhỏ hơn các giá trị tối đa xác định trong Bảng 3	0,99	0,98	0,95	0,95
– lớn hơn các giá trị tối thiểu xác định trong Bảng 4	0,99	0,97	0,91	0,84

Các biện pháp bảo vệ quy định trong TCVN 9888-3 (IEC 62305-3) và TCVN 9888-4 (IEC 62305-4) có hiệu quả chống sét khi các tham số dòng điện trong phạm vi được quy định bởi mức bảo vệ LPL được giả định cho thiết kế. Do đó hiệu quả của một biện pháp bảo vệ được giả thiết bằng xác suất mà có các tham số dòng điện sét nằm trong phạm vi đó. Đối với các tham số vượt ngoài phạm vi này, thì vẫn còn rủi ro tồn dư của thiệt hại.

8.3 Vùng bảo vệ chống sét (LPZ)

Các biện pháp bảo vệ như LPS, đi dây chống nhiễu, màn chắn từ và SPD sẽ xác định các vùng bảo vệ chống sét (LPZ).

Vùng bảo vệ chống sét (LPZ) về phía sau của các biện pháp bảo vệ đặc trưng bằng sự giảm đáng kể xung sét điện từ (LEMP) so với vùng bảo vệ chống sét (LPZ) về phía trước.

Với các đe dọa của sét, các vùng bảo vệ chống sét LPZ sau đây được xác định (xem Hình 3 và Hình 4):

- LPZ 0_A vùng mà đe dọa có sét đánh trực tiếp và trường điện từ sét toàn phần. Các hệ thống bên trong có thể phải chịu toàn bộ hoặc một phần dòng đột biến sét;
- LPZ 0_B vùng được bảo vệ chống sét đánh trực tiếp nhưng tại đó có đe dọa trường điện từ sét toàn phần. Các hệ thống bên trong có thể phải chịu một phần dòng đột biến sét;
- LPZ 1 vùng mà dòng đột biến bị hạn chế bằng cách chia dòng và bằng các giao diện cách ly và/hoặc bằng thiết bị SPD ở đường biên. Màn chắn không gian có thể giảm trường điện từ sét;

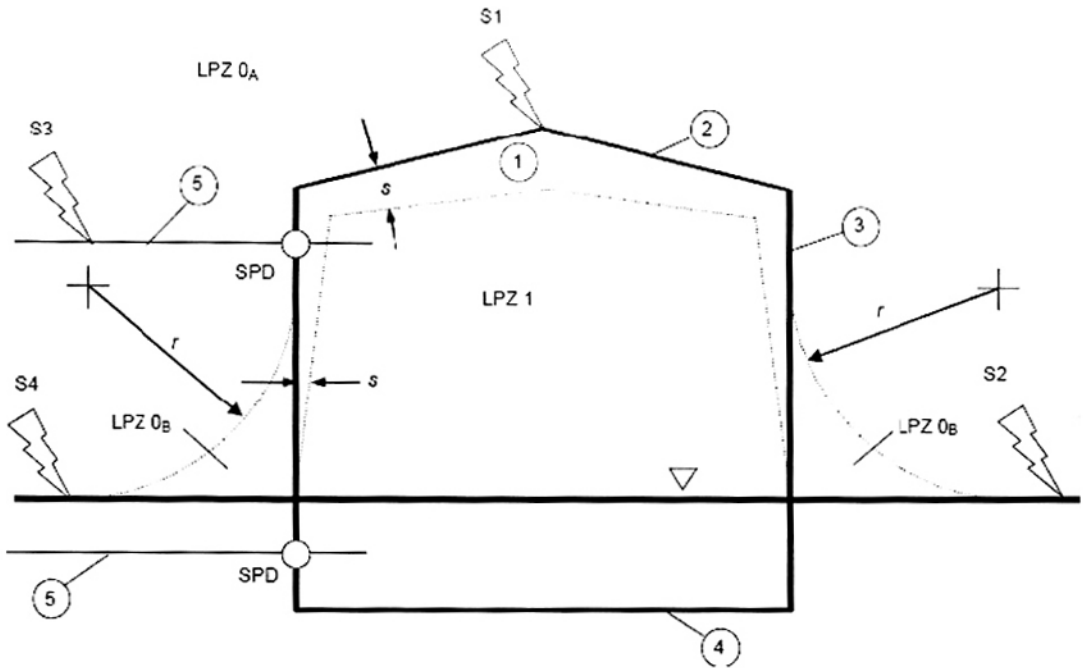
TCVN 9888-1:2013

LPZ 2, ..., n vùng mà dòng đột biến có thể được tiếp tục hạn chế bằng cách chia dòng và bằng các giao diện cách ly và/hoặc các thiết bị SPD bổ sung cho đường biên. Màn chắn không gian bổ sung có thể được sử dụng để tiếp tục giảm trường điện từ do sét.

CHÚ THÍCH 1: Nói chung, chỉ số của vùng riêng càng cao thì các tham số trường điện từ môi trường càng thấp.

Theo nguyên tắc bảo vệ chung, kết cấu cần bảo vệ phải nằm trong một vùng LPZ có các đặc trưng điện từ phù hợp với khả năng của kết cấu để chịu được áp lực gây thiệt hại giảm đi (thiệt hại vật chất, hỏng hóc hệ thống điện và điện tử do quá điện áp).

CHÚ THÍCH 2: Đối với hầu hết các hệ thống và thiết bị điện và điện tử, thông tin về mức độ chịu được có thể được cung cấp bởi nhà chế tạo.



CHÚ DẪN

- | | | | |
|---|-----------------------|----|---|
| 1 | kết cấu | S1 | sét đánh vào kết cấu |
| 2 | hệ thống đầu thu sét | S2 | sét đánh gần kết cấu |
| 3 | hệ thống dẫn sét | S3 | sét đánh vào đường dây được nối tới kết cấu |
| 4 | hệ thống đầu tiếp đất | S4 | sét đánh gần đường dây được nối tới kết cấu |
| 5 | các đường dây vào | r | bán kính quả cầu lăn |
| | | s | khoảng cách ly chống tia lửa điện nguy hiểm |

▽ cao độ mặt đất

○ liên kết đẳng thế chống sét bằng thiết bị SPD

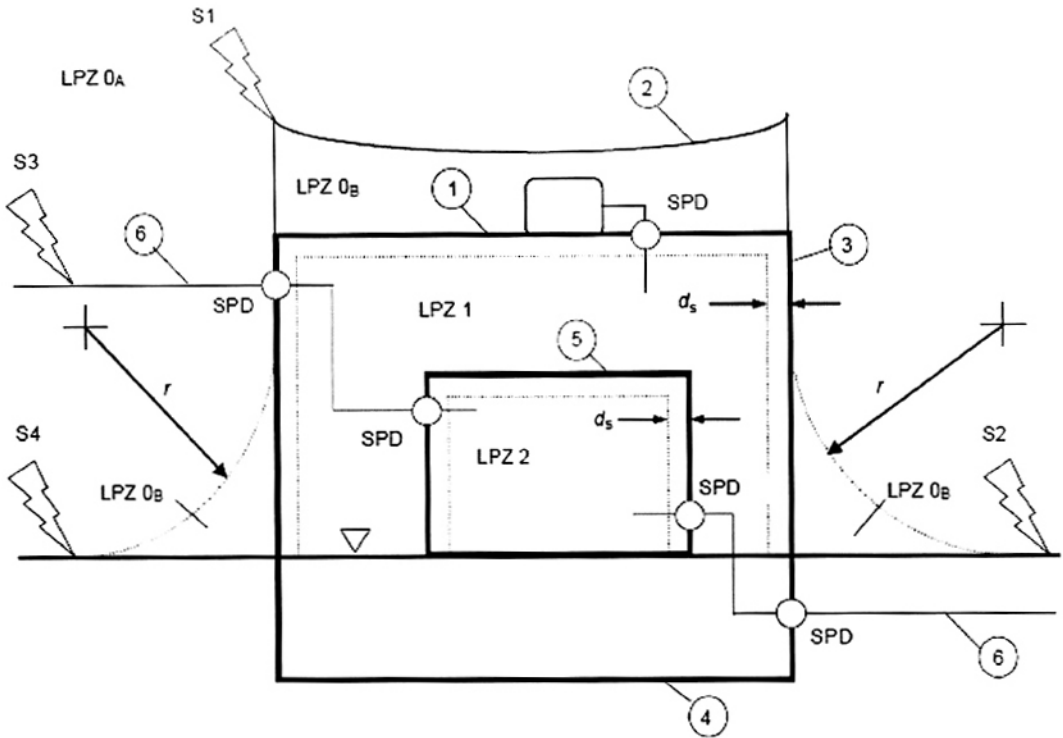
LPZ 0_A đánh trực tiếp, dòng điện sét toàn phần

LPZ 0_B đánh gián tiếp, dòng cảm ứng hoặc dòng điện sét riêng phần

LPZ 1 đánh gián tiếp, dòng cảm ứng hoặc dòng điện sét có giới hạn

thể tích được bảo vệ bên trong LPZ 1 phải có khoảng cách ly s thích hợp.

Hình 3 – Vùng LPZ được xác định bằng LPS (TCVN 9888-3 (IEC 62305-3))



CHÚ DẪN:

- | | | | |
|---|------------------------------------|-------|---|
| 1 | kết cấu (vỏ bọc của LPZ 1) | S1 | sét đánh vào kết cấu |
| 2 | hệ thống đầu thu sét | S2 | sét đánh gần kết cấu |
| 3 | hệ thống dẫn sét | S3 | sét đánh vào đường dây được nối tới kết cấu |
| 4 | hệ thống đầu tiếp đất | S4 | sét đánh gần đường dây được nối tới kết cấu |
| 5 | phòng (vỏ bọc của LPZ 2) | r | bán kính quả cầu lăn |
| 6 | các đường dây được nối tới kết cấu | d_s | khoảng an toàn ngăn từ trường có độ lớn quá cao |

▽ cao độ mặt đất

○ liên kết đẳng thế chống sét bằng SPD

- LPZ 0_A đánh trực tiếp, dòng điện sét toàn phần, từ trường toàn phần
- LPZ 0_B đánh gián tiếp, dòng cảm ứng hoặc dòng điện sét riêng phần, từ trường toàn phần
- LPZ 1 đánh gián tiếp, dòng cảm ứng hoặc dòng điện sét có giới hạn, từ trường tắt dần
- LPZ 2 đánh gián tiếp, dòng cảm ứng, từ trường tắt dần thêm
- các thể tích được bảo vệ bên trong vùng LPZ 1 và LPZ 2 có khoảng an toàn d_s thích hợp.

Hình 4 – Vùng LPZ được xác định bằng SPM (TCVN 9888-4 (IEC 62305-4))

8.4 Bảo vệ các kết cấu

8.4.1 Bảo vệ để giảm thiệt hại vật chất và nguy hiểm sự sống

Kết cấu cần bảo vệ phải nằm trong một vùng LPZ 0_B hoặc cao hơn. Điều này đạt được bằng các phương tiện của một hệ thống bảo vệ chống sét (LPS).

Một hệ thống LPS bao gồm cả hệ thống bảo vệ chống sét bên ngoài và bên trong.

Các chức năng của hệ thống LPS bên ngoài là

- để chặn sét đánh vào kết cấu (có hệ thống đầu thu sét),
- dẫn an toàn dòng điện sét xuống đất (có hệ thống dẫn sét),
- để phân tán dòng điện sét vào đất (có hệ thống đầu tiếp đất).

Chức năng của hệ thống LPS bên trong là ngăn chặn các nguy hiểm đánh lửa trong kết cấu, sử dụng liên kết đẳng thế hoặc một khoảng cách ly s, (và do đó là cách điện) giữa các thành phần hệ thống LPS và các phần tử dẫn điện khác bên trong tới kết cấu.

Bốn mức của hệ thống LPS (I, II, III và IV) được định nghĩa như một bộ các quy tắc xây dựng, dựa trên mức LPL tương ứng. Mỗi bộ gồm các quy tắc xây dựng phụ thuộc vào mức (như bán kính quả cầu lăn, độ rộng mắt lưới, v.v...) và quy tắc xây dựng không phụ thuộc vào mức (như các tiết diện, vật liệu, v.v...).

Trong trường hợp điện trở suất bề mặt của đất ở bên ngoài và của sàn ở bên trong kết cấu được giữ ở mức thấp, nguy hiểm sự sống do điện áp tiếp xúc và điện áp bước được giảm:

- ở bên ngoài kết cấu, bằng việc cách điện các bộ phận dẫn điện dễ sờ, bằng đẳng thế đất, bằng một hệ thống tiếp đất mắt lưới, bằng các thông báo cảnh báo và bằng các hạn chế vật lý;
- ở bên trong kết cấu, bằng cách liên kết đẳng thế các đường dây tại điểm đi vào kết cấu.

Các hệ thống LPS phải phù hợp với các yêu cầu của TCVN 9888-3 (IEC 62305-3).

8.4.2 Bảo vệ để giảm hư hỏng hệ thống bên trong

Bảo vệ chống xung sét điện từ LEMP để giảm rủi ro hư hỏng hệ thống bên trong sẽ giới hạn:

- đột biến do sét đánh vào kết cấu gây ra do ghép nối kiểu điện trở và điện cảm,
- đột biến do sét đánh gần kết cấu gây ra do ghép nối kiểu điện cảm,
- đột biến được truyền qua các đường dây nối tới kết cấu gây ra do sét đánh vào hoặc đánh gần các đường dây,
- từ trường cảm ứng trực tiếp với thiết bị.

TCVN 9888-1:2013

CHÚ THÍCH: Hồng do trường điện từ bức xạ trực tiếp vào thiết bị được bỏ qua với điều kiện máy móc phù hợp với các thử nghiệm miễn trừ và phát bức xạ tần số vô tuyến điện (RF) được xác định theo các tiêu chuẩn sản phẩm EMC liên quan (xem TCVN 9888-2 (IEC 62305-2) và TCVN 9888-4 (IEC 62305-4)).

Hệ thống được bảo vệ được đặt trong một vùng bảo vệ chống sét LPZ 1 hoặc cao hơn. Điều này đạt được bằng các hệ thống biện pháp bảo vệ điện và điện từ (SPM) gồm màn chắn từ làm suy giảm từ trường cảm ứng và/hoặc tuyến dây phù hợp để giảm kín mạch cảm ứng. Liên kết được trang bị tại các ranh giới một vùng LPZ cho các bộ phận và hệ thống bằng kim loại giao cắt ranh giới. Liên kết này có thể được thực hiện bằng các dây dẫn liên kết, hoặc khi cần thiết bằng các thiết bị chống đột biến (SPD).

Các biện pháp bảo vệ cho bất kỳ vùng LPZ phải phù hợp với TCVN 9888-4 (IEC 62305-4).

Hiệu quả bảo vệ chống quá điện áp, gây hư hỏng hệ thống bên trong, cũng có thể được đạt được bằng các giao diện cách ly và/hoặc một hệ thống thiết bị SPD phối hợp, hạn chế quá điện áp dưới điện áp xung chịu đựng danh định của hệ thống được bảo vệ.

Các giao diện cách ly và thiết bị SPD phải được chọn và lắp đặt theo các yêu cầu của TCVN 9888-4 (IEC 62305-4).

Phụ lục A

(tham khảo)

Tham số dòng điện sét

A.1 Sét đánh xuống đất

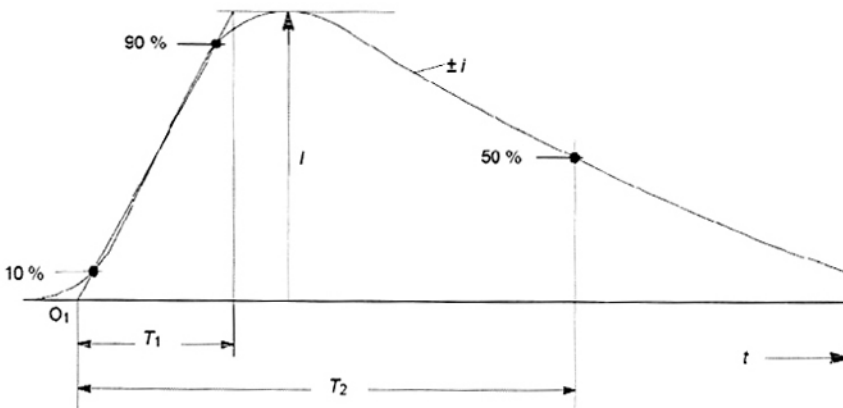
Tồn tại hai kiểu sét đánh cơ bản:

- sét hướng xuống bắt đầu bởi một tiên đạo từ đám mây xuống đất;
- sét hướng lên bắt đầu bởi một tiên đạo từ kết cấu nối đất lên đám mây.

Hầu hết các sét hướng xuống xuất hiện trong vùng lãnh thổ bằng phẳng, và tới các kết cấu thấp hơn, trong khi đó đối với các kết cấu cao hơn và/hoặc kết cấu không được bảo vệ thì sét hướng lên chiếm ưu thế. Với chiều cao hiệu dụng, xác suất đánh trực tiếp vào kết cấu tăng lên và thay đổi các điều kiện vật lý (xem TCVN 9888-2:2013 (IEC 62305-2:2010), Phụ lục A).

Một dòng điện sét gồm một hoặc nhiều cú sét khác nhau:

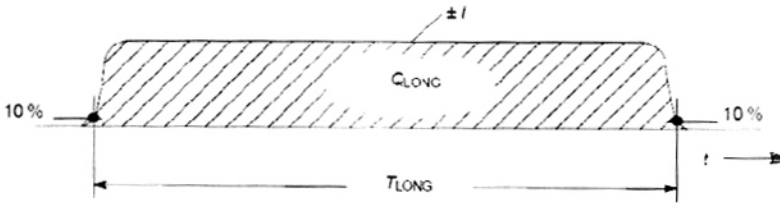
- các xung có khoảng thời gian nhỏ hơn 2 ms (Hình A.1)
- các cú sét dài có khoảng thời gian dài hơn 2 ms (Hình A.2).



CHÚ DẪN:

- O_1 gốc thực
 I dòng điện đỉnh
 T_1 thời gian sườn trước
 T_2 thời gian đến một nửa giá trị

Hình A.1 – Xác định các tham số dòng điện xung (điển hình $T_2 < 2$ ms)



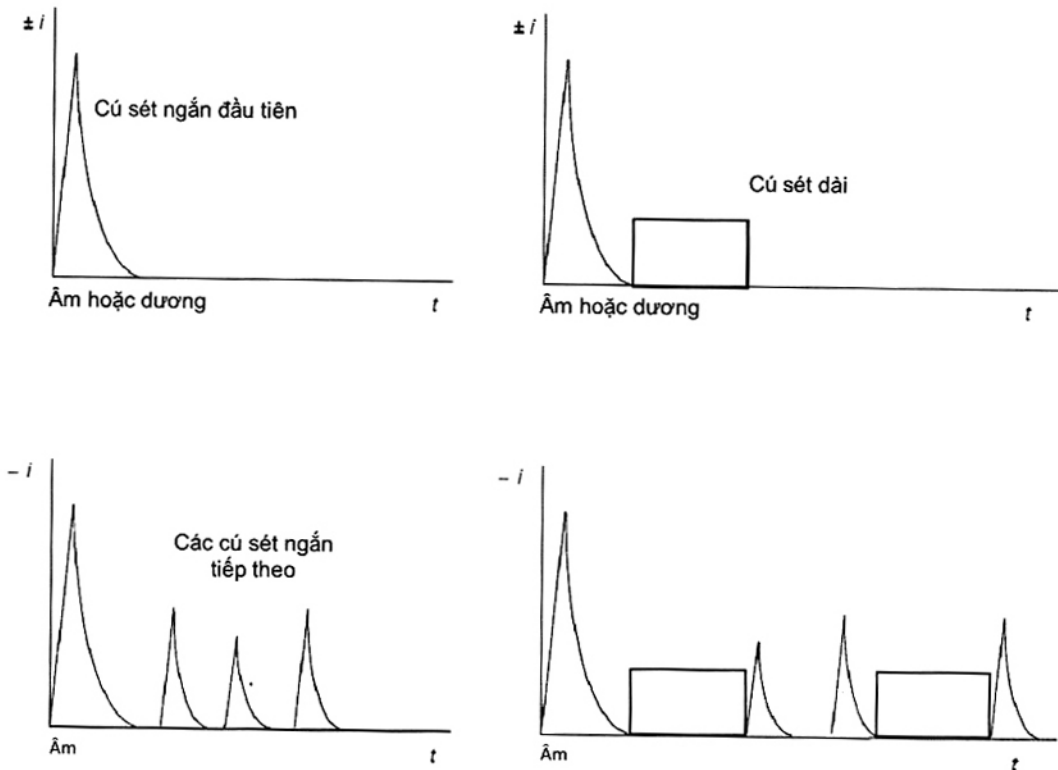
CHÚ DẪN:

T_{LONG} khoảng thời gian xung

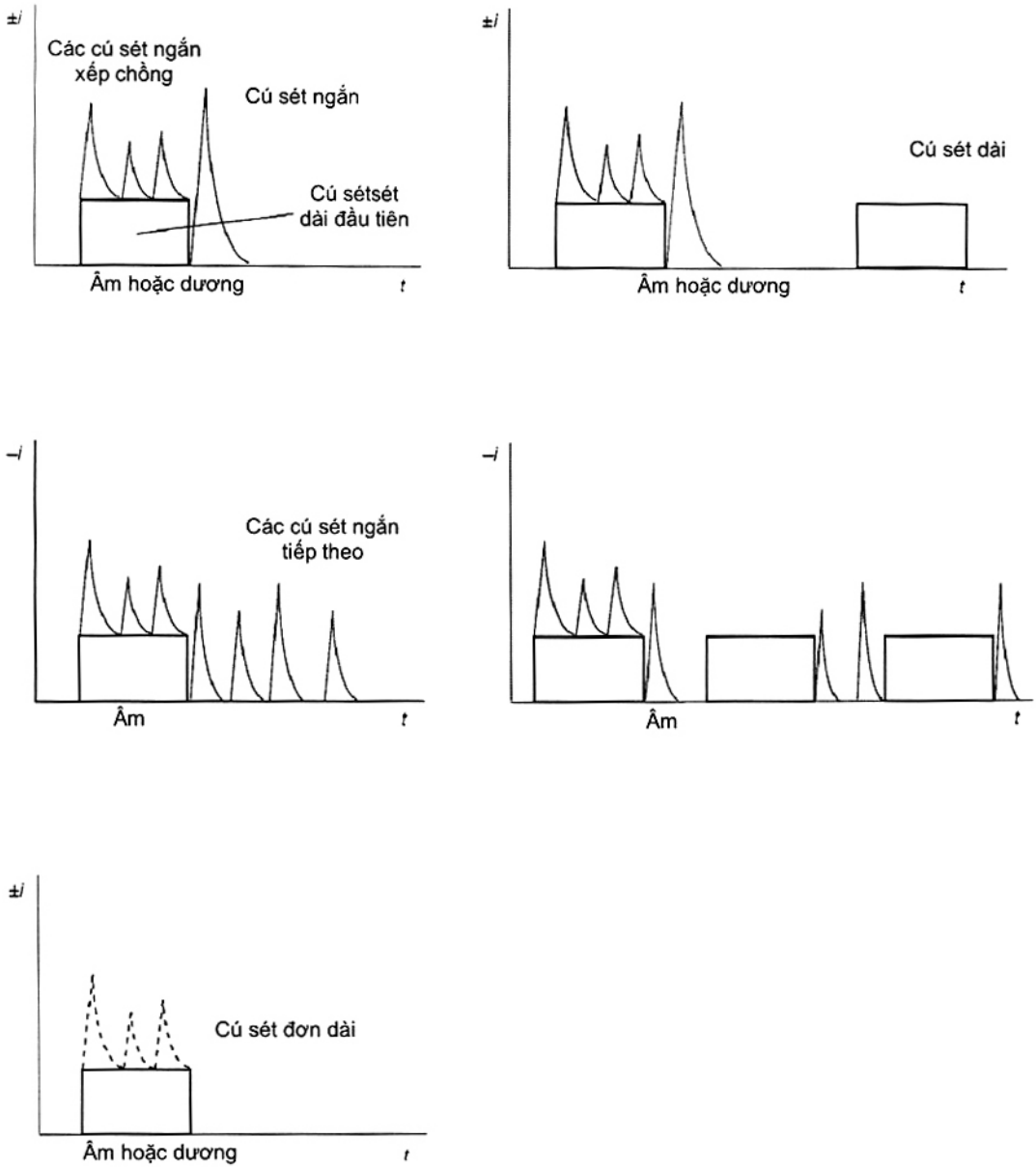
Q_{LONG} điện tích cú sét dài

Hình A.2 – Xác định các tham số cú sét dài (điện hình $2\text{ ms} < T_{LONG} < 1\text{ s}$)

Hơn nữa sự khác nhau của các cú sét đánh là do cực tính của chúng (âm hoặc dương) và do thứ tự của chúng khi đánh (đầu tiên, tiếp theo và xếp chồng). Các thành phần có thể có được thể hiện trong Hình A.3 đối với các sét hướng xuống và trên Hình A.4 đối với các sét hướng lên.



Hình A.3 – Các thành phần có thể có của các sét hướng xuống (điện hình trên lãnh thổ bằng phẳng và tới kết cấu thấp hơn)



**Hình A.4 – Các thành phần có thể có của các sét hướng lên
(điền hình với các kết cấu cao hơn và/hoặc không được bảo vệ)**

Các thành phần bổ sung trong các sét hướng lên là cú sét dài đầu tiên, có hoặc không có vài chục xung xếp chồng. Nhưng tất cả các tham số dòng điện xung của các sét hướng lên đều nhỏ hơn so với các tham số của các sét hướng xuống. Vẫn chưa khẳng định được điện tích của cú sét dài là cao hơn. Do đó các tham số dòng điện sét của các sét hướng lên được xem xét sẽ gồm cả các giá trị tối đa đã

TCVN 9888-1:2013

đưa ra đối với các sét hướng xuống. Một đánh giá chính xác hơn về các tham số dòng điện sét và phụ thuộc vào chiều cao của chúng đối với các sét hướng lên và xuống đang được xem xét.

A.2 Tham số dòng điện sét

Các tham số dòng điện sét trong tiêu chuẩn này dựa trên các kết quả dữ liệu của Hội đồng quốc tế về hệ thống điện lớn (CIGRE) được đưa ra trong Bảng A.1. Phân bố thống kê của chúng có thể được giả thiết để có một phân bố logarit thông thường. Giá trị trung bình tương ứng μ và độ phân tán σ_{\log} được đưa ra trong Bảng A.2 và hàm phân bố được chỉ trong Hình A.5. Trên cơ sở đó, xác suất xuất hiện bất kỳ giá trị nào của mỗi tham số có thể được xác định.

Giả thiết một tỷ số phân cực 10 % các sét dương và 90 % các sét âm. Tỷ số phân cực là một hàm số theo vùng. Nếu không có sẵn thông tin địa phương, sử dụng tỷ số được đưa ra trong tài liệu này.

Giá trị xác suất xuất hiện giá trị đỉnh dòng điện sét vượt quá giá trị đã xem xét trước đó được nêu trong Bảng A.3.

**Bảng A.1 – Các giá trị thống kê theo bảng các tham số dòng điện sét lấy từ CIGRE
(Electra No. 41 hoặc No. 69) ^{[3], [4]}**

Tham số	Giá trị cố định cho LPL I	Các giá trị			Loại cú sét	Đường ở Hình A.5
		95 %	50 %	5 %		
I (kA)		4 ^a	20 ^a	90	Ngắn mang điện âm đầu tiên ^b	1A+1B
	50	4,9	11,8	28,6	Ngắn mang điện âm tiếp theo ^b	2
	200	4,6	35	250	Ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)	3
Q _{FLASH} (C)		1,3	7,5	40	Phóng sét mang điện âm	4
	300	20	80	350	Phóng sét mang điện dương	5
Q _{SHORT} (C)		1,1	4,5	20	Ngắn mang điện âm đầu tiên	6
		0,22	0,95	4	Ngắn mang điện âm tiếp theo	7
	100	2	16	150	Ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)	8
W/R (kJ/Ω)		6	55	550	Ngắn mang điện âm đầu tiên	9
		0,55	6	52	Ngắn mang điện âm tiếp theo	10
	10000	25	650	15000	Ngắn mang điện dương đầu tiên	11
di/dt _{max} (kA/μs)		9,1	24,3	65	Ngắn mang điện âm đầu tiên ^b	12
		9,9	39,9	161,5	Ngắn mang điện âm tiếp theo ^b	13
	20	0,2	2,4	32	Ngắn mang điện dương đầu tiên	14
di/dt _{30%/90%} (kA/μs)	200	4,1	20,1	98,5	Ngắn mang điện âm tiếp theo ^b	15
Q _{LONG} (C)	200				Dài	
T _{LONG} (s)	0,5				Dài	
Thời gian sườn trước (μs)		1,8	5,5	18	Ngắn mang điện âm đầu tiên	
		0,22	1,1	4,5	Ngắn mang điện âm tiếp theo	
		3,5	22	200	Ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)	
Thời gian cú sét (μs)		30	75	200	Ngắn mang điện âm đầu tiên	
		6,5	32	140	Ngắn mang điện âm tiếp theo	
		25	230	2000	Ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)	
Khoảng thời gian (ms)		7	33	150	Nhiều lần đánh mang điện âm	
Tổng thời gian sét đánh (ms)		0,15	13	1100	Sét đánh mang điện âm (tất cả)	
		31	180	900	Sét đánh mang điện âm (không có đánh đơn)	
		14	85	500	Sét đánh mang điện dương	

^a Các giá trị I = 4 kA và I = 20 kA tương ứng với lần lượt các xác suất 98 % và 80 %.

^b Các tham số và các giá trị liên quan được nêu trong Electra No. 69.

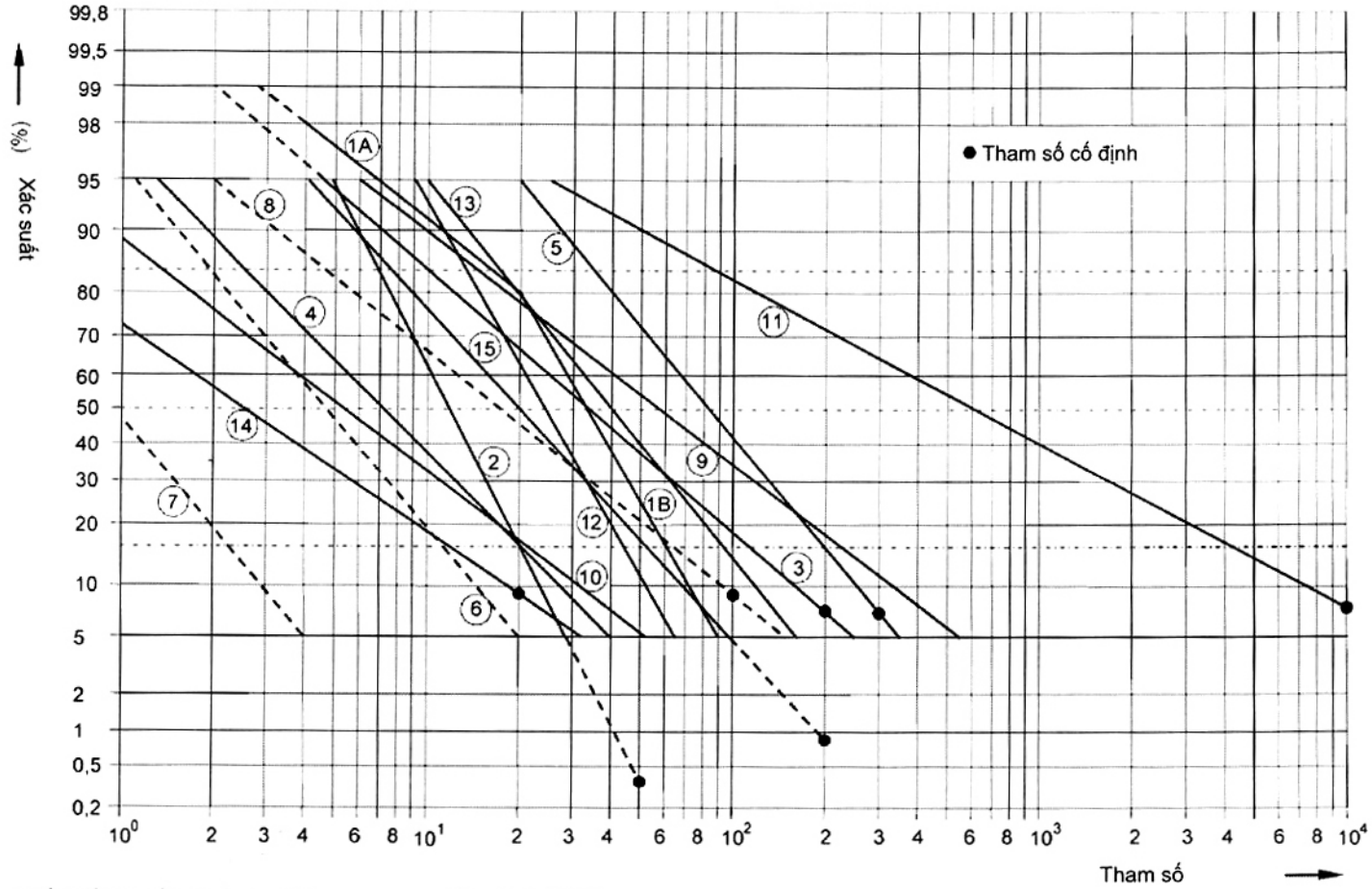
Bảng A.2 – Phân bố logarit chuẩn các tham số dòng điện sét – Trung bình μ và độ phân tán σ_{log} được tính từ các giá trị 95 % và 5 % từ CIGRE (Electra No. 41 hoặc No. 69) ^{[3], [4]}

Tham số	Trung bình μ	Độ phân tán ^a σ_{log}	Loại cú sét	Đường ở Hình A.5
I (kA)	(61,1)	0,576	Ngắn mang điện âm đầu tiên (80%) ^b	1A
	33,3	0,263	Ngắn mang điện âm đầu tiên (80%) ^b	1B
	11,8	0,233	Ngắn mang điện âm tiếp theo ^b	2
	33,9	0,527	Ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)	3
Q _{FLASH} (C)	7,21	0,452	Phóng sét mang điện âm	4
	83,7	0,378	Phóng sét mang điện dương	5
Q _{SHORT} (C)	4,69	0,383	Ngắn mang điện âm đầu tiên	6
	0,938	0,383	Ngắn mang điện âm tiếp theo	7
	17,3	0,570	Ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)	8
W/R (kJ/Ω)	57,4	0,596	Ngắn mang điện âm đầu tiên	9
	5,35	0,600	Ngắn mang điện âm tiếp theo	10
	612	0,844	Ngắn mang điện dương đầu tiên	11
di/dt _{max} (kA/μs)	24,3	0,260	Ngắn mang điện âm đầu tiên ^b	12
	40,0	0,369	Ngắn mang điện âm tiếp theo ^b	13
	2,53	0,670	Ngắn mang điện dương đầu tiên	14
di/dt _{30%/90%} (kA/μs)	20,1	0,420	Ngắn mang điện âm tiếp theo ^b	15
Q _{LONG} (C)	200		Dài	
T _{LONG} (s)	0,5		Dài	
Thời gian sườn trước (μs)	5,69	0,304	Ngắn mang điện âm đầu tiên	
	0,995	0,398	Ngắn mang điện âm tiếp theo	
	26,5	0,534	Ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)	
Thời gian cú sét (μs)	77,5	0,250	Ngắn mang điện âm đầu tiên	
	30,2	0,405	Ngắn mang điện âm tiếp theo	
	224	0,578	Ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)	
Khoảng thời gian (ms)	32,4	0,405	Nhiều lần đánh mang điện âm	
Tổng thời gian sét đánh (ms)	12,8	1,175	Sét đánh mang điện âm (tất cả)	
	167	0,445	Sét đánh mang điện âm (không có đánh đơn)	
	83,7	0,472	Sét đánh mang điện dương	

^a $\sigma_{log} = \log(X_{16\%}) - \log(X_{50\%})$, trong đó X là giá trị tham số.
^b Các tham số và các giá trị liên quan được nêu trong Electra No. 69.

Bảng A.3 – Các giá trị xác suất P là hàm của dòng điện sét I

I (kA)	P
0	1
3	0,99
5	0,95
10	0,9
20	0,8
30	0,6
35	0,5
40	0,4
50	0,3
60	0,2
80	0,1
100	0,05
150	0,02
200	0,01
300	0,005
400	0,002
600	0,001



CHÚ THÍCH: Đối với số các đường cong xem bảng A.1 và A.2

Hình A.5 – Phân bố tần suất tích lũy của các tham số dòng điện sét (các đường thẳng đi qua các giá trị 95 % và 5 %)

Tất cả các giá trị cố định cho mức bảo vệ chống sét LPL đưa ra trong tiêu chuẩn này liên quan đến cả các tia đánh hướng lên và hướng xuống.

CHÚ THÍCH: Giá trị của các tham số sét thường thu được từ phép đo thực hiện trên các kết cấu cao. Phân bố thống kê các giá trị đỉnh dòng điện sét được tạm ước tính thô mà không xét đến hiệu ứng của các kết cấu cao tầng cũng có sẵn từ hệ thống định vị sét.

A.3 Cố định các tham số dòng điện sét tối đa cho mức bảo vệ LPL I

A.3.1 Xung mang điện dương

Các hiệu ứng cơ học của sét liên quan tới giá trị đỉnh của dòng điện (I), và tới năng lượng riêng (W/R). Các hiệu ứng nhiệt liên quan đến năng lượng riêng (W/R) khi có ghép nối điện trở và liên quan đến điện tích (Q) khi hồ quang điện tới các trang bị. Các quá điện áp và nguy hiểm đánh lửa gây ra bởi ghép nối cảm ứng liên quan đến độ dốc trung bình (di/dt) của sườn trước dòng điện sét.

Mỗi tham số riêng (I , Q , W/R , di/dt) có xu hướng chiếm ưu thế cho mỗi cơ chế hỏng hóc. Điều này sẽ được xem xét khi thiết lập các quy trình thử nghiệm.

A.3.2 Xung mang điện dương và cú sét dài

Các giá trị I , Q và W/R liên quan đến các ảnh hưởng cơ học và nhiệt được xác định theo các sét mang điện dương (vì 10 % giá trị của chúng lớn hơn nhiều 1 % giá trị tương ứng của các sét đánh mang điện tích âm). Từ Hình A.5 (các đường 3, 5, 8, 11 và 14) có thể lấy các giá trị sau có xác suất dưới 10 %:

$$I = 200 \text{ kA}$$

$$Q_{\text{FLASH}} = 300 \text{ C}$$

$$Q_{\text{SHORT}} = 100 \text{ C}$$

$$W/R = 10 \text{ MJ/W}$$

$$di/dt = 20 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Đối với một xung mang điện dương đầu tiên theo Hình A.1, các giá trị này đưa ra một giá trị xấp xỉ ban đầu cho thời gian sườn trước:

$$T_1 = I/(di/dt) = 10 \mu\text{s} \text{ (ít có liên quan } T_1)$$

Với một cú sét có độ suy giảm theo hàm mũ thì áp dụng công thức sau để lấy gần đúng các điện tích và năng lượng ($T_1 \ll T_2$):

$$Q_{\text{SHORT}} = (1/0,7) \times I \times T_2$$

$$W/R = (1/2) \times (1/0,7) \times I^2 \times T_2$$

TCVN 9888-1:2013

Các công thức này, cùng với các giá trị đưa ra ở trên, dẫn đến một giá trị xấp xỉ ban đầu của thời gian khi xung giảm đến một nửa giá trị:

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

Đối với cú sét dài, điện tích của xung có thể được tính xấp xỉ từ :

$$Q_{\text{LONG}} = Q_{\text{FLASH}} - Q_{\text{SHORT}} = 200 \text{ C}$$

Theo Hình A.2, có thể ước tính thời gian độ rộng xung từ dữ liệu trong Bảng A.1 như:

$$T_{\text{LONG}} = 0,5 \text{ s}$$

A.3.3 Xung mang điện âm đầu tiên

Đối với một số hiệu ứng ghép nối cảm ứng, xung mang điện âm đầu tiên dẫn đến các điện áp cảm ứng cao nhất, ví dụ như các cáp trong ống dẫn cáp được làm bằng bê tông cốt thép. Từ Hình A.5 (các đường 1 và 12) có thể lấy các giá trị sau có xác suất dưới 1 %:

$$I = 100 \text{ kA}$$

$$di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Đối với một xung mang điện âm đầu tiên theo Hình A.1 các giá trị này cho một xấp xỉ đầu tiên của thời gian sườn trước xung:

$$T_1 = I / (di/dt) = 1,0 \mu\text{s}$$

Thời gian tới nửa giá trị có thể ước tính từ độ rộng xung âm đầu tiên:

$$T_2 = 200 \mu\text{s} \text{ (ít quan tâm đến } T_2)$$

A.3.4 Xung tiếp theo

Giá trị lớn nhất của độ dốc trung bình di/dt liên quan đến nguy hiểm đánh lửa do ghép nối cảm ứng được xác định từ các xung tiếp theo của các sét mang điện âm (vì 1 % giá trị của chúng có phần cao hơn so với 1 % giá trị từ các lần sét đánh mang điện âm đầu tiên hoặc giá trị 10 % tương ứng của các sét mang điện dương). Từ Hình A.5 (các đường 2 và 15) có thể lấy được các giá trị sau có xác suất dưới 1 %:

$$I = 50 \text{ kA}$$

$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Theo Hình A.1, với một xung tiếp theo, các giá trị này cho một xấp xỉ ban đầu của thời gian sườn trước của xung:

$$T_1 = I / (di / dt) = 0,25 \mu\text{s}$$

Thời gian tới nửa giá trị có thể ước tính từ độ rộng xung âm tiếp theo:

$$T_2 = 100 \mu\text{s} \text{ (it quan tâm đến } T_2\text{)}.$$

A.4 Cố định các tham số dòng điện sét tối thiểu

Hiệu quả chặn của hệ thống đầu thu sét phụ thuộc vào các tham số dòng điện sét tối thiểu và vào bán kính quả cầu lăn liên quan. Giới hạn hình học của diện tích được bảo vệ chống sét đánh trực tiếp có thể được xác định bằng cách sử dụng phương pháp quả cầu lăn.

Theo mô hình điện hình học, bán kính quả cầu lăn r (khoảng cách bước nhảy cuối) tương quan với giá trị đỉnh của dòng điện xung ban đầu. Trong một báo cáo của nhóm công tác IEEE^[5], quan hệ này được đưa ra

$$r = 10 \times I^{0,65} \quad (\text{A.1})$$

trong đó:

- r là bán kính quả cầu lăn (m);
- I là dòng điện đỉnh (kA).

Đối với một bán kính quả cầu lăn r đã đưa ra, nó có thể được giả thiết rằng tất cả các sét có các giá trị đỉnh xung cao hơn giá trị đỉnh tối thiểu tương ứng thì sẽ bị chặn bởi các đầu thu sét tự nhiên hoặc chuyên dụng. Do đó, xác suất để các giá trị đỉnh của các cú sét đầu tiên mang điện âm hoặc dương từ Hình A.5 (các đường 1A và 3) được giả thiết là xác suất chặn. Xét tỷ số phân cực của các sét có 10 % mang điện tích dương và 90 % mang điện tích âm, có thể tính tổng xác suất thu (xem Bảng 5).

Phụ lục B

(tham khảo)

Hàm số theo thời gian của dòng điện sét đối với mục đích phân tích

Các dạng dòng điện có

- xung mang điện dương đầu tiên 10/350 μ s,
- xung mang điện âm đầu tiên 1/200 μ s,
- xung mang điện âm tiếp theo 0,25/100 μ s,

có thể được xác định theo

$$i = \frac{I}{k} \times \frac{\left(\frac{t}{T_1}\right)^{10}}{1 + \left(\frac{t}{T_1}\right)^{10}} \times \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \quad (\text{B.1})$$

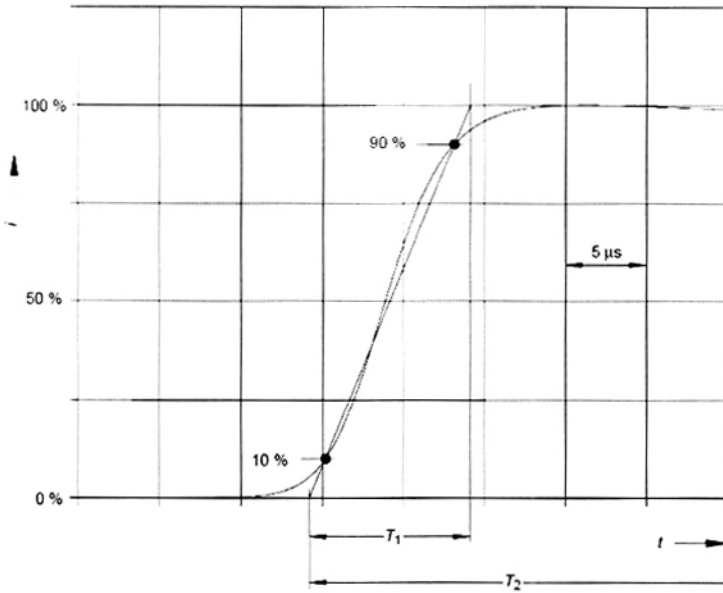
trong đó:

- I là dòng điện đỉnh;
- k là hệ số hiệu chỉnh cho dòng điện đỉnh;
- t là thời gian;
- T₁ là hằng số thời gian sườn trước;
- T₂ là hằng số thời gian sườn sau.

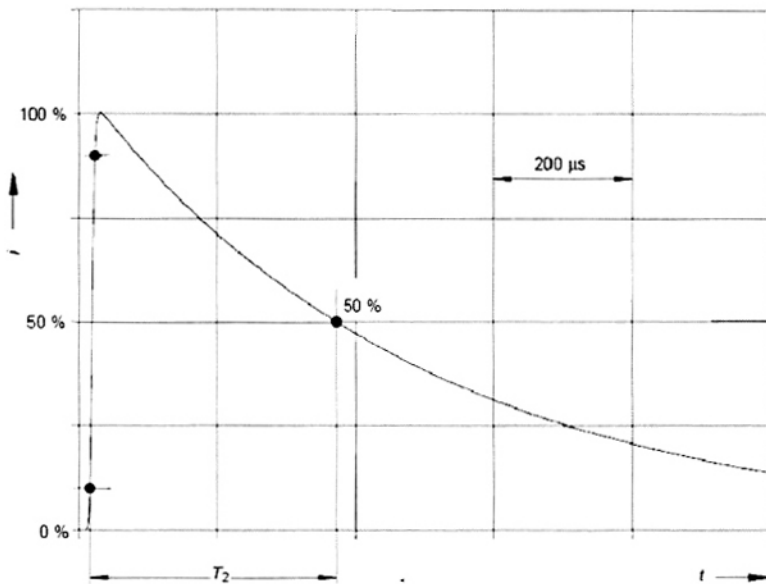
Đối với các dạng dòng điện có xung mang điện dương đầu tiên, xung mang điện âm đầu tiên và các xung mang điện âm tiếp theo cho các mức bảo vệ LPL khác nhau, áp dụng các tham số đưa ra trong Bảng B.1. Các đường cong giải tích theo hàm số thời gian được chỉ trong các hình từ Hình B.1 đến Hình B.6.

Bảng B.1 – Các tham số dùng cho công thức (B.1)

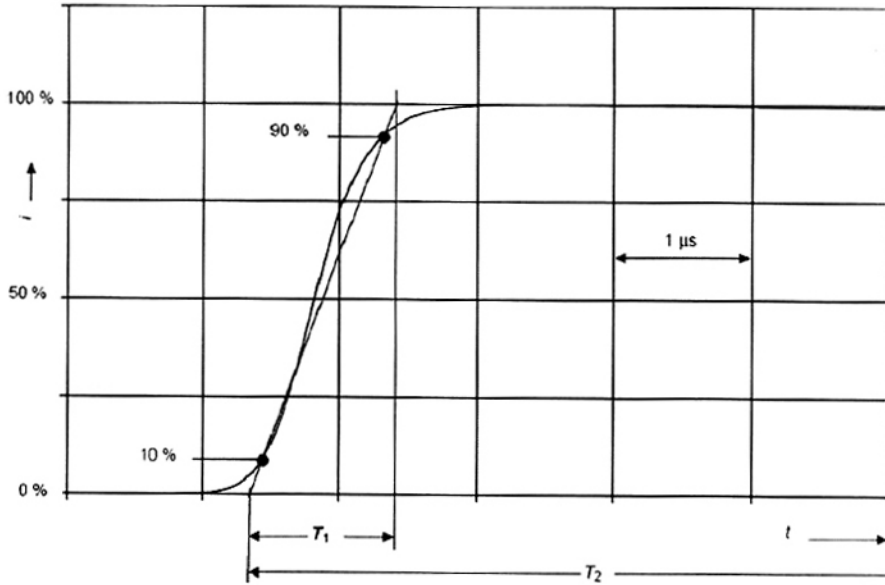
Các tham số	Xung mang điện dương đầu tiên			Xung mang điện âm đầu tiên			Xung mang điện âm tiếp theo		
	LPL			LPL			LPL		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV	I	II	III-IV
I (kA)	200	150	100	100	75	50	50	37,5	25
K	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986	0,993	0,993	0,993
T ₁ (μ s)	19	19	19	1,82	1,82	1,82	0,454	0,454	0,454
T ₂ (μ s)	485	485	485	285	285	285	143	143	143



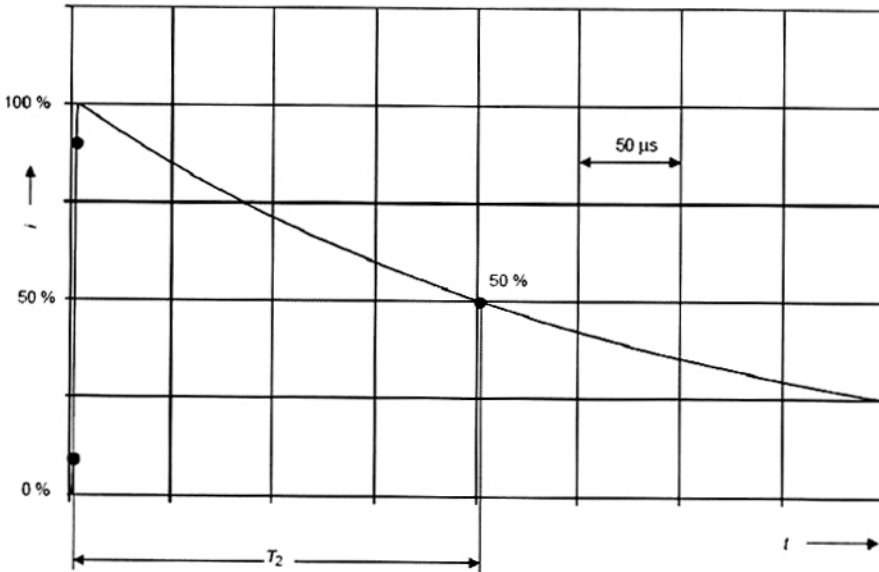
Hình B.1 – Hình dạng của sườn tăng dòng điện của xung mang điện dương đầu tiên



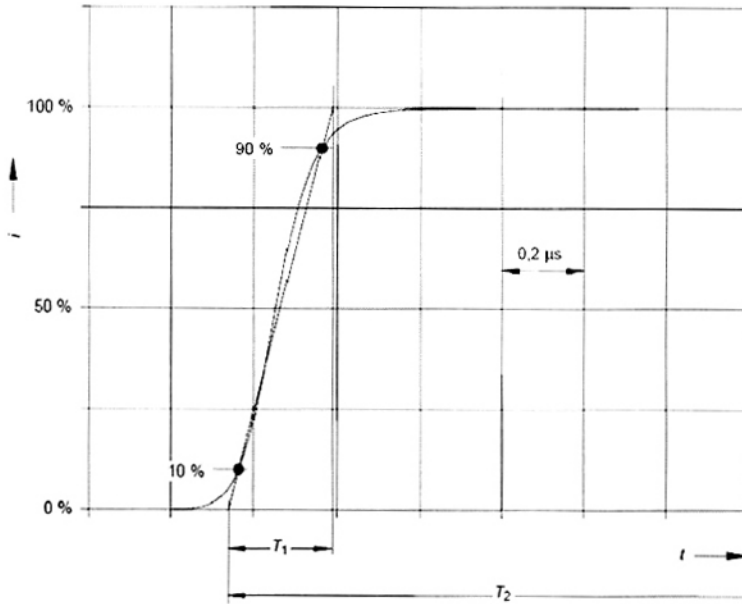
Hình B.2 – Hình dạng của sườn giảm dòng điện của xung mang điện dương đầu tiên



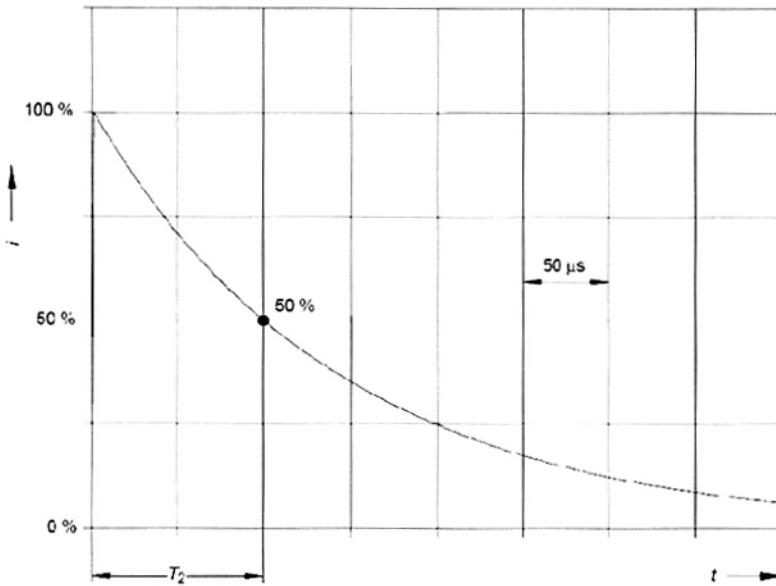
Hình B.3 – Hình dạng của sườn tăng dòng điện của xung mang điện âm đầu tiên



Hình B.4 – Hình dạng của sườn giảm dòng điện của xung mang điện âm đầu tiên



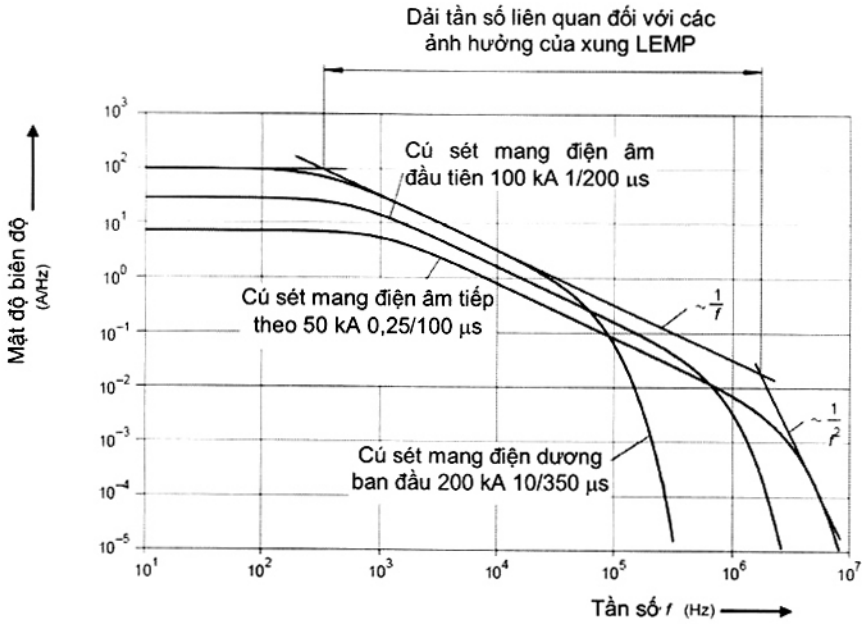
Hình B.5 – Hình dạng của sườn tăng dòng điện của các xung mang điện âm tiếp theo



Hình B.6 – Hình dạng của sườn giảm dòng điện của các xung mang điện âm tiếp theo

Cú sét dài có thể được mô tả bằng một dạng xung hình chữ nhật có dòng trung bình I và thời gian xung T_{LONG} theo Bảng 3.

Từ các đường cong giải tích là hàm theo thời gian, có thể suy ra mật độ biên độ dòng điện sét (Hình B.7).



Hình B.7 – Mật độ biên độ của dòng điện sét theo mức bảo vệ LPL I

Phụ lục C

(tham khảo)

Mô phỏng dòng điện sét cho các mục đích thử nghiệm

C.1 Qui định chung

Nếu một kết cấu bị sét đánh, dòng điện sét được phân bố trong kết cấu. Khi thử nghiệm riêng các thành phần của biện pháp bảo vệ, điều này phải được tính toán bằng cách chọn các tham số thử nghiệm phù hợp với từng thành phần. Để kết thúc thử nghiệm này, phải thực hiện một phân tích hệ thống.

C.2 Mô phỏng năng lượng riêng của xung mang điện dương đầu tiên và điện tích của cú sét dài

Các tham số thử nghiệm được xác định trong Bảng C.1 và C.2 và một ví dụ máy phát thử nghiệm chỉ trong Hình C.1. Máy phát này có thể được sử dụng để mô phỏng năng lượng riêng của xung dương đầu tiên kết hợp với điện tích của cú sét dài.

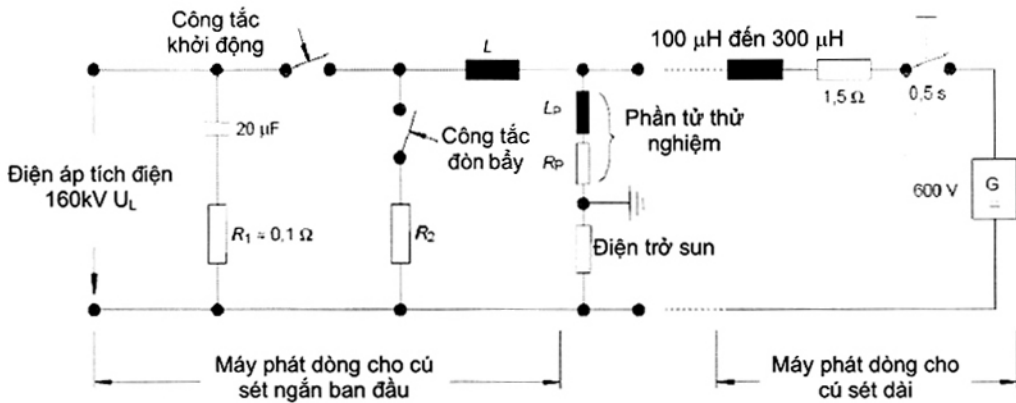
Các thử nghiệm có thể được sử dụng để đánh giá độ toàn vẹn về cơ, độc lập với các hiệu ứng đốt nóng và nóng chảy bất lợi.

Các tham số thử nghiệm liên quan đến việc mô phỏng xung mang điện dương đầu tiên (dòng điện đỉnh I , năng lượng riêng W/R , và điện tích Q_{SHORT}) được đưa ra ở Bảng C.1. Các tham số này thu được từ cùng một xung. Việc thu nhận này có thể đạt được bằng một dòng điện suy giảm xấp xỉ theo hàm mũ với T_2 cỡ 350 μs .

Các tham số thử nghiệm liên quan đến việc mô phỏng cú sét dài (điện tích Q_{LONG} và độ rộng xung T_{LONG}) được đưa ra ở Bảng C.2.

Tùy thuộc vào phần tử thử nghiệm và các cơ chế thiệt hại dự kiến, các thử nghiệm của xung mang điện dương đầu tiên hoặc cú sét dài có thể được áp dụng riêng hoặc theo một thử nghiệm kết hợp, trong đó, cú sét dài ngay sau xung đầu tiên. Các thử nghiệm về nóng chảy hồ quang được thực hiện sử dụng cả hai xung phân cực.

CHÚ THÍCH: Các xung mang điện âm đầu tiên không được sử dụng cho các mục đích của thử nghiệm



CHÚ THÍCH: Các giá trị áp dụng theo mức bảo vệ LPL I.

Hình C.1 – Ví dụ về máy phát thử nghiệm cho mô phỏng năng lượng riêng của xung mang điện dương đầu tiên và điện tích của cú sét dài

Bảng C.1 – Các tham số thử nghiệm của xung mang điện dương đầu tiên

Các tham số thử nghiệm	Mức bảo vệ LPL			Dung sai %
	I	II	III - IV	
Dòng điện đỉnh I (kA)	200	150	100	± 10
Điện tích Q _{SHORT} (C)	100	75	50	± 20
Năng lượng riêng W/R (MJ/Ω)	10	5,6	2,5	± 35

Bảng C.2 – Các tham số thử nghiệm của cú sét dài

Các tham số thử nghiệm	Mức bảo vệ LPL			Dung sai %
	I	II	III - IV	
Điện tích Q _{LONG} (C)	200	150	100	± 20
Khoảng thời gian T _{LONG} (s)	0,5	0,5	0,5	± 10

C.3 Mô phỏng độ dốc sườn trước của các xung dòng điện

Độ dốc của dòng điện xác định các điện áp được cảm ứng từ trong các mạch vòng đặt gần các dây dẫn mang dòng điện sét.

Độ dốc của một xung dòng điện được định nghĩa là độ tăng của dòng điện Δi khi thời gian tăng Δt (Hình C.2). Các tham số thử nghiệm liên quan đến mô phỏng độ dốc dòng điện này được đưa ra trong

Bảng C.3. Các máy phát điện thử nghiệm ví dụ được trình bày ở Hình C.3 và C.4, (chúng có thể được sử dụng để mô phỏng độ dốc sườn trước của một dòng điện sét kết hợp với sét đánh trực tiếp). Mô phỏng có thể được thực hiện cho một xung dương đầu tiên và xung âm tiếp theo.

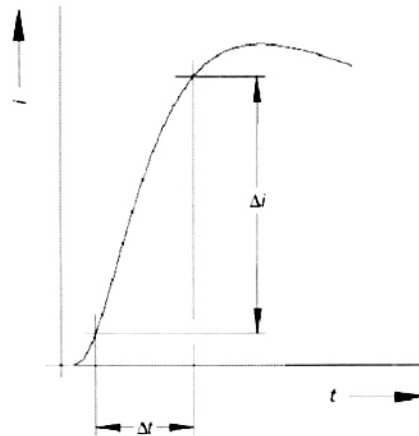
CHÚ THÍCH: Mô phỏng này bao gồm độ dốc sườn trước của các xung dòng điện. Sườn sau của dòng điện không ảnh hưởng đến kiểu mô phỏng này.

Mô phỏng theo điều C.3 có thể được áp dụng độc lập hoặc kết hợp với các mô phỏng theo Điều C.2.

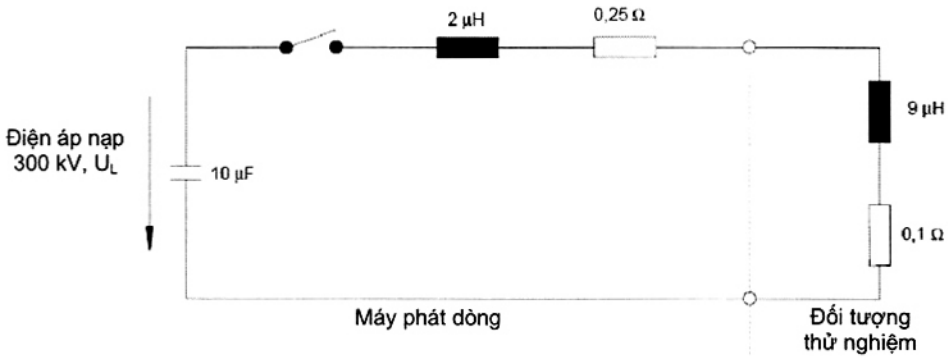
Để biết thêm thông tin về các tham số thử nghiệm mô phỏng những hiệu ứng của sét lên các thành phần của hệ thống LPS, xem Phụ lục D.

Bảng C.3 – Các tham số thử nghiệm của các xung

Các tham số thử nghiệm	Mức bảo vệ LPL			Dung sai %
	I	II	III - IV	
Xung mang điện dương đầu tiên				
Δi (kA)	200	150	100	± 20
Δt (μs)	10	10	10	± 10
Xung mang điện âm tiếp theo				
Δi (kA)	50	37,5	25	± 10
Δt (μs)	0,25	0,25	0,25	± 20

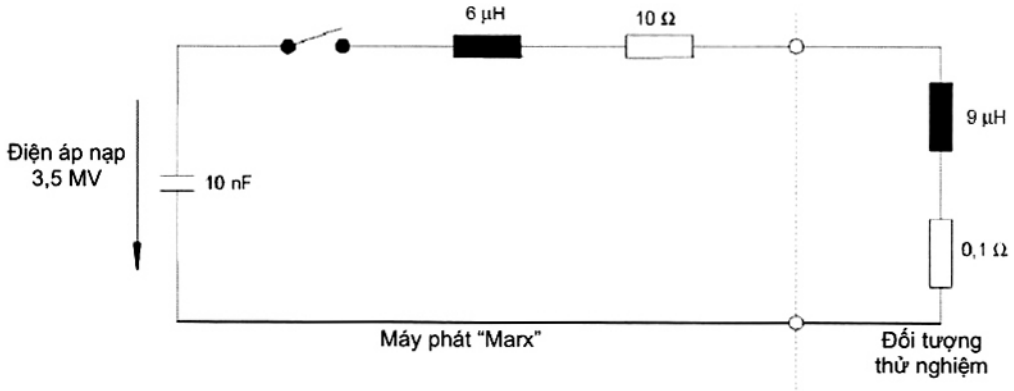


Hình C.2 – Xác định độ dốc dòng điện theo Bảng C.3



CHÚ THÍCH: Các giá trị này áp dụng theo mức bảo vệ LPL I.

Hình C.3 – Máy phát thử nghiệm ví dụ cho mô phỏng độ dốc sườn trước của xung mang điện dương đầu tiên của các đối tượng thử nghiệm lớn



CHÚ THÍCH: Các giá trị này áp dụng theo mức bảo vệ LPL I.

Hình C.4 – Máy phát thử nghiệm ví dụ cho mô phỏng độ dốc sườn trước của xung mang điện âm tiếp theo của các đối tượng thử nghiệm lớn

Phụ lục D

(tham khảo)

Tham số thử nghiệm mô phỏng các ảnh hưởng của sét lên các thành phần LPS

D.1 Qui định chung

Phụ lục D đưa ra các tham số cơ bản mà có thể được sử dụng trong phòng thí nghiệm để mô phỏng những ảnh hưởng của sét. Phụ lục này đề cập đến tất cả các thành phần của một hệ thống LPS được đưa ra cho toàn bộ hoặc phần chủ yếu của dòng điện sét và có thể được sử dụng kết hợp với các tiêu chuẩn quy định cụ thể các yêu cầu và các thử nghiệm cho mỗi thành phần cụ thể.

CHÚ THÍCH: Các tham số liên quan đến các khía cạnh hệ thống (như sự phối hợp của các thiết bị đột biến) không được xem xét trong phụ lục này.

D.2 Các tham số dòng điện liên quan đến điểm sét đánh

Các tham số dòng điện sét đóng một vai trò trong độ nhất quán vật lý của một hệ thống LPS, nói chung là dòng điện đỉnh I , điện tích Q , năng lượng riêng W/R , khoảng thời gian T và độ dốc trung bình của dòng điện di/dt . Mỗi tham số có xu hướng tiến tới một cơ chế hỏng hóc khác nhau, như được phân tích chi tiết bên dưới. Các tham số dòng điện được xem xét cho các thử nghiệm là sự kết hợp các giá trị này, được lựa chọn để biểu diễn trong phòng thí nghiệm cơ chế hỏng hóc thực sự của bộ phận trong hệ thống LPS đang được thử nghiệm. Các tiêu chí lựa chọn các số lượng nổi bật được đưa ra ở Điều D.5.

Bảng D.1 ghi các giá trị tối đa I , Q , W/R , T và di/dt được xem xét cho các thử nghiệm, như một hàm số của mức bảo vệ được yêu cầu.

Bảng D.1 – Tóm tắt các tham số đe dọa sét được xem xét khi tính toán các giá trị thử nghiệm cho các thành phần hệ thống LPS khác nhau và cho các mức bảo vệ LPL khác nhau

Thành phần	Vấn đề chính	Các tham số đe dọa của sét					Chú thích	
Đầu thu sét	Ăn mòn tại các mối nối (ví dụ tấm kim loại mỏng)	Mức LPL	Q_{LONG} C	T				
		I	200	<1s (áp dụng Q_{LONG} trong một xung ngắn đơn)				
		II	150					
III-IV	100							
Đầu thu sét và bộ dẫn điện xuống	Đốt nóng thuần trở	Mức LPL	W/R kJ/Ω	T			Định kích thước theo TCVN 9888-3 (IEC 62305-3) trả về thử nghiệm không cần thiết	
		I	10000	Áp dụng W/R theo cấu hình bảo toàn nhiệt				
		II	5600					
	III-IV	2500						
	Hiệu ứng cơ học	Mức LPL	I kA	W/R kJ/Ω				
		I	200	10000				
II		150	5600					
III-IV	100	2500						
Các thành phần kết nối	Hiệu ứng kết hợp (nhiệt, cơ và hồ quang)	Mức LPL	I kA	W/R kJ/Ω	T			
		I	200	10000	<2μs (áp dụng I và W/R trong một xung đơn)			
		II	150	5600				
III-IV	100	2500						
Các đầu nối đất	Ăn mòn tại các mối nối	Mức LPL	Q_{LONG} C	T			Định kích thước thường được xác định theo hiệu ứng hóa học/cơ khí (như ăn mòn)	
		I	200	<1s (áp dụng Q_{LONG} trong một xung ngắn đơn)				
		II	150					
III-IV	100							
Các thiết bị SPD có các khe đánh lửa	Hiệu ứng kết hợp (nhiệt, cơ và hồ quang)	Mức LPL	I kA	Q_{SHORT} C	W/R kJ/Ω	di/dt kA/μs	Áp dụng I, Q_{SHORT} và W/R ở xung đơn (có T<2ms); áp dụng $\Delta i/\Delta t$ ở xung tách rời	
		I	200	100	10000	200		
		II	150	75	5600	150		
III-IV	100	50	2500	100				
Các thiết bị SPD có các khối điện trở oxit kim loại	Hiệu ứng năng lượng (quá tải)	Mức LPL	Q_{SHORT} C				Cần kiểm tra cả hai hiệu ứng	
		I	100					
		II	75					
	III-IV	50						
	Hiệu ứng điện môi (phóng lửa hồ quang/ rạn nứt)	Mức LPL	I kA	T				Có thể xem xét các thử nghiệm tách rời
		I	200	<2ms (áp dụng I trong một xung đơn)				
II		150						
III-IV	100							

D.3 Chia dòng

Các tham số được đưa ra trong Bảng D.1 có liên quan đến dòng điện sét tại điểm sét đánh. Trong thực tế, dòng dẫn xuống đất qua nhiều đường dẫn, theo một số bộ dẫn điện xuống và các bộ dẫn điện tự nhiên thường có trong một hệ thống LPS bên ngoài. Ngoài ra, các đường dây khác thường đi vào kết cấu cần bảo vệ (các ống nước và khí đốt, các dây điện và viễn thông, v.v...). Để xác định các tham số dòng điện thực dẫn trong các thành phần cụ thể của một hệ thống LPS, phải tính đến việc chia dòng. Tốt nhất là phải đánh giá biên độ và hình dáng dòng điện đi qua mỗi thành phần tại một vị trí cụ thể

trong hệ thống LPS. Khi không thể đánh giá riêng, có thể đánh giá các tham số dòng bằng các quy trình sau.

Để đánh giá việc chia dòng trong hệ thống LPS bên ngoài, có thể áp dụng hệ số cấu hình k_c (xem Phụ lục C của TCVN 9888-3:2013 (IEC 62305-3:2010)). Hệ số này cung cấp một ước lượng chia dòng điện sét theo các bộ dẫn điện xuống của hệ thống LPS bên ngoài trong các trường hợp xấu nhất.

Để đánh giá việc chia dòng khi có các thành phần dẫn điện bên ngoài và các đường dây điện và viễn thông được nối tới kết cấu cần bảo vệ, có thể áp dụng các giá trị k_e và k'_e xấp xỉ được xét trong Phụ lục E.

Phép xấp xỉ được mô tả ở trên có thể áp dụng cho đánh giá giá trị đỉnh của dòng điện sét đang dẫn trong một đường dẫn tới đất cụ thể. Việc tính toán các tham số dòng khác được thực hiện như sau :

$$I_p = k \times I \quad (D.1)$$

$$Q_p = k \times Q \quad (D.2)$$

$$(W/R)_p = k^2 \times (W/R) \quad (D.3)$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_p = k \times \left(\frac{di}{dt}\right) \quad (D.4)$$

trong đó

x_p là giá trị số lượng được xét (dòng đỉnh I_p , điện tích Q_p , năng lượng riêng $(W/R)_p$, độ dốc dòng điện $(di/dt)_p$) liên quan đến một đường dẫn tới đất cụ thể "p";

x là giá trị số lượng được xét (dòng đỉnh I , điện tích Q , năng lượng riêng (W/R) , độ dốc dòng điện (di/dt)) liên quan đến tổng dòng điện sét;

k là hệ số chia dòng:

- k_c cho hệ thống LPS bên ngoài (xem Phụ lục C của TCVN 9888-3:2013 (IEC 62305-3:2010));
- k_e, k'_e khi có các phần dẫn điện bên ngoài và các đường dây điện và viễn thông đi vào kết cấu cần bảo vệ (xem Phụ lục E).

D.4 Hiệu ứng của dòng điện sét gây thiệt hại có thể

D.4.1 Hiệu ứng nhiệt

Hiệu ứng nhiệt gắn với dòng điện sét có liên quan đến nhiệt điện trở bị gây ra bởi sự lưu chuyển của dòng điện dẫn qua điện trở của dây dẫn hoặc đi vào hệ thống LPS. Hiệu ứng nhiệt cũng có liên quan đến nhiệt lượng được phát ra ở nguồn hồ quang điện tại điểm ghép nối và trong tất cả các bộ phận được cách ly của một hệ thống LPS liên quan đến việc khai triển hồ quang (ví dụ các bộ phóng điện).

D.4.1.1 Nhiệt điện trở

Nhiệt điện trở xảy ra ở bất kỳ thành phần nào của một hệ thống LPS mang phần lớn dòng điện sét. Tiết diện tối thiểu của dây dẫn phải đủ lớn để ngăn chặn quá nhiệt cho dây dẫn theo mức mà có nguy cơ cháy cho môi trường xung quanh. Mặc dù các phương diện nhiệt được thảo luận trong D.4.1, tiêu chí về độ bền và độ chịu đựng cơ học phải được xem xét cho các bộ phận tiếp xúc với điều kiện khí quyển và/hoặc ăn mòn. Đôi khi cần đánh giá nhiệt lượng dây dẫn do dòng điện sét dẫn qua khi có thể phát sinh các vấn đề rủi ro tổn thương cá nhân và các thiệt hại cháy hoặc nổ.

Chỉ dẫn được đưa ra dưới đây để đánh giá độ tăng nhiệt của dây dẫn mang dòng điện sét.

Một cách tiếp cận phân tích được trình bày như sau:

Công suất tiêu tán tức thời theo nhiệt năng trong một dây dẫn do dòng điện được biểu diễn:

$$P(t) = i^2(t) \times R \quad (D.5)$$

Do đó, nhiệt năng tạo ra bởi cả xung sét là điện trở thuần của dây dẫn sét suốt thành phần hệ thống LPS được xét, nhân với năng lượng riêng của xung. Nhiệt năng này được biểu diễn theo đơn vị jun (J) hoặc oát-giây (W×s).

$$W = R \times \int i^2(t) \times dt \quad (D.6)$$

Trong một lần phóng sét, các giai đoạn sét đánh có năng lượng riêng cao độ rộng xung rất ngắn đối với bất kỳ nhiệt lượng phát ra trong kết cấu được phân tán đáng kể. Do đó, hiện tượng được xem như là đoạn nhiệt.

Nhiệt độ của các dây dẫn của hệ thống LPS có thể được đánh giá như sau:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \left(\frac{W}{q^2 \times \gamma \times C_w} \right) - 1 \right] \quad (D.7)$$

Các giá trị đặc trưng của các tham số vật lý được nêu trong công thức (D.7), cho các vật liệu khác nhau được sử dụng trong hệ thống LPS ghi trong Bảng D.2, trong đó:

$\theta - \theta_0$ là độ tăng nhiệt của các dây dẫn (K);

α là hệ số nhiệt của điện trở (1/K);

W/R là năng lượng riêng của xung dòng điện (J/Ω);

ρ_0 là điện trở thuần riêng của dây dẫn tại nhiệt độ môi trường (Ωm);

q là tiết diện của dây dẫn (m²);

γ là mật độ vật chất (kg/m³);

C_w là nhiệt dung riêng (J/kgK);

C_s là nhiệt ẩn nóng chảy (J/kg);

θ_s là nhiệt độ nóng chảy (°C).

Bảng D.2 – Đặc trưng vật lý của các vật liệu điển hình sử dụng trong các thành phần LPS

Đại lượng	Vật liệu			
	Nhôm	Thép non	Đồng	Thép không gỉ ^a
ρ_0 (Ωm)	29×10^{-9}	120×10^{-9}	$17,8 \times 10^{-9}$	700×10^{-9}
α (1/K)	$4,0 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-3}$	$3,92 \times 10^{-3}$	$0,8 \times 10^{-3}$
γ (kg/m^3)	2700	7700	8920	8000
θ_s ($^{\circ}\text{C}$)	658	1530	1080	1500
C_s (J/kg)	397×10^3	272×10^3	209×10^3	-
C_w (J/kgK)	908	469	385	500

^a Auxtenit không từ tính.

Theo ví dụ về ứng dụng phương trình này, Bảng D.3 nêu độ tăng nhiệt của dây dẫn làm bằng các vật liệu khác nhau, theo hàm số của W/R và của tiết diện dây dẫn.

Bảng D.3 – Độ tăng nhiệt cho dây dẫn có tiết diện khác nhau là hàm của W/R

Tiết diện mm^2	Vật liệu											
	Nhôm			Thép non			Đồng			Thép không gỉ ^a		
	W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω		
	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	564	-	-	-	-	-	169	542	-	-	-	-
16	146	454	-	1120	-	-	56	143	309	-	-	-
25	52	132	283	211	913	-	22	51	98	940	-	-
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190

^a Auxtenit không từ tính.

Cú sét đánh điển hình được đặc trưng bởi một cú sét thời gian ngắn (thời gian tới nửa giá trị cỡ vài 100 μs) và giá trị dòng đỉnh cao. Trong những trường hợp này, hiệu ứng bề mặt cũng cần được xem xét. Tuy nhiên, trong hầu hết các trường hợp thực tế gắn với các thành phần của hệ thống LPS, các đặc trưng vật liệu (độ thấm từ động của dây dẫn hệ thống LPS) và các kết cấu hình học (tiết diện của

TCVN 9888-1:2013

dây dẫn hệ thống LPS) giảm sự góp phần của hiệu ứng bề mặt làm tăng nhiệt độ dây dẫn ở mức không đáng kể.

Thành phần của sét phù hợp nhất với cơ chế nhiệt này chính là cú sét trả về ban đầu.

D.4.1.2 Thiệt hại về nhiệt ở điểm nối

Thiệt hại về nhiệt ở điểm nối có thể được quan sát trên tất cả các thành phần của một hệ thống LPS trên đó diễn ra sự phóng hồ quang, nghĩa là tại các hệ thống đầu thu sét, các bộ phóng điện, v.v...

Nóng chảy và ăn mòn vật liệu có thể xảy ra tại các điểm nối. Trong thực tế, ở vùng nguồn hồ quang có một đầu vào nhiệt điện lớn từ chính nguồn hồ quang, cũng như độ tập trung nhiệt thuần trở do mật độ dòng điện cao. Hầu hết nhiệt năng được phát ra tại hoặc rất gần với bề mặt kim loại. Nhiệt lượng sinh ra tức thời tại vùng nguồn vượt quá ngưỡng mà kim loại có thể hấp thụ bằng cách dẫn nhiệt và giá trị vượt quá bị bức xạ hoặc tiêu tán khi tan chảy hoặc bốc hơi kim loại. Mức độ nghiêm trọng của quá trình liên quan với biên độ của dòng điện và độ rộng xung.

D.4.1.2.1 Qui định chung

Một số mô hình lý thuyết đã được phát triển để tính toán hiệu ứng nhiệt trên bề mặt kim loại tại các điểm nối của một luồng sét. Với mục đích đơn giản, tiêu chuẩn này sẽ chỉ nêu mô hình sụt điện áp của anot-hoặc-catot. Việc áp dụng mô hình này đặc biệt hiệu quả với các bề mặt kim loại mỏng. Trong mọi trường hợp, mô hình sẽ cho các kết quả bảo toàn khi nó được giả định rằng tất cả các năng lượng bắn vào điểm nối sét được sử dụng để làm nóng chảy hoặc bốc hơi vật liệu dây dẫn, bỏ qua sự khuếch tán nhiệt trong kim loại. Các mô hình khác đề cập sự phụ thuộc của thiệt hại điểm nối sét theo độ rộng của xung dòng điện.

D.4.1.2.2 Mô hình sụt điện áp anot-hoặc-catot

Đầu vào năng lượng W ở nguồn hồ quang được giả định là do sụt điện áp anot/catot $u_{a,c}$ nhân với điện tích Q của dòng điện sét:

$$W = \int_0^{\infty} u_{a,c}(t) i(t) dt = u_{a,c} \int_0^{\infty} |i(t)| dt \quad (D.8)$$

Khi $u_{a,c}$ là hằng số ổn định trong khoảng dòng điện được xét ở đây, điện tích của dòng điện sét (Q) là thành phần chủ yếu để chuyển đổi năng lượng trong nguồn hồ quang.

Sụt điện áp anot - hoặc - catot $u_{a,c}$ có giá trị cỡ vài chục vôn.

Một cách tiếp cận đơn giản giả định rằng tất cả các năng lượng được phóng tại nguồn hồ quang chỉ được sử dụng để làm nóng chảy. Công thức (D.9) sử dụng giả định này nhưng dẫn đến một ước lượng quá lớn về thể tích bị nóng chảy.

$$V = \frac{u_{a,c} \times Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{c_w \times (\theta_s + \theta_u) + c_s} \quad (D.9)$$

trong đó:

V	là thể tích kim loại bị nóng chảy (m ³);
u _{a,c}	là sụt điện áp anot-hoặc-catot (giả thiết là hằng số) (V);
Q	là điện tích của dòng điện sét (C);
γ	là khối lượng riêng của vật liệu (kg/m ³);
C _w	là nhiệt dung riêng (J/kgK);
θ _s	là nhiệt độ nóng chảy (°C);
θ _u	là nhiệt độ môi trường xung quanh (°C);
C _s	là nhiệt ẩn nóng chảy (J/kg).

Các giá trị đặc trưng của các tham số vật lý được đưa ra trong công thức này, đối với các vật liệu khác nhau sử dụng trong một hệ thống LPS, được ghi trong Bảng D.2.

Về cơ bản, điện tích được xét là tổng điện tích của cú sét phản hồi và dòng điện sét liên tục. Thí nghiệm đã cho thấy rằng các hiệu ứng của điện tích cú sét phản hồi ít quan trọng khi so sánh với các hiệu ứng của dòng liên tục.

D.4.2 Hiệu ứng cơ học

Hiệu ứng cơ học gây ra bởi dòng điện sét phụ thuộc vào biên độ và độ rộng xung của dòng điện cũng như vào các đặc trưng đàn hồi của kết cấu cơ học bị ảnh hưởng. Hiệu ứng cơ học cũng phụ thuộc vào lực ma sát tác động giữa các bộ phận của hệ thống LPS khi tiếp xúc với bộ phận có liên quan khác.

D.4.2.1 Tương tác từ

Lực từ xuất hiện giữa hai dây dẫn mang dòng hoặc, khi chỉ có một dây dẫn mang dòng nhưng nó có dạng có một góc hoặc có một vòng khép.

Khi dòng điện dẫn qua một mạch, biên độ của lực điện động xuất hiện tại các vị trí khác nhau của mạch điện phụ thuộc vào cả biên độ của dòng điện sét và cấu hình hình học của mạch điện. Tuy nhiên, ảnh hưởng cơ học của các lực này không chỉ phụ thuộc vào biên độ của chúng mà còn về dạng chung của dòng điện, độ rộng xung của nó, cũng như vào cấu hình hình học của trang bị.

D.4.2.1.1 Lực điện động

Lực điện động khai triển từ một dòng điện I, dẫn trong một dây dẫn có các đoạn dài song song dài l và khoảng cách d (mạch vòng dài và nhỏ), như thể hiện trong Hình D.1, có thể được tính toán xấp xỉ bằng cách sử dụng công thức sau đây:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \times i^2(t) \times \frac{l}{d} = 2 \times 10^{-7} \times i^2(t) \times \frac{l}{d} \quad (D.10)$$

trong đó:

TCVN 9888-1:2013

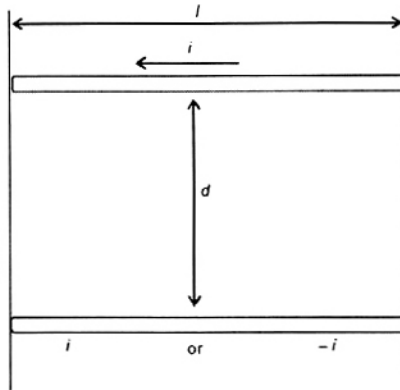
$F(t)$ là lực điện động (N);

i là dòng điện (A);

μ_0 là độ từ thẩm của không khí tự do (chân không) ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m);

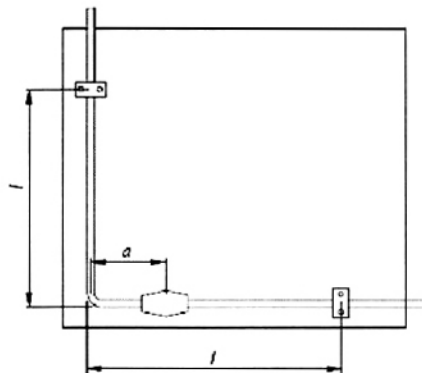
l là chiều dài của dây dẫn (m);

d là khoảng cách giữa các đoạn song song thẳng của dây dẫn

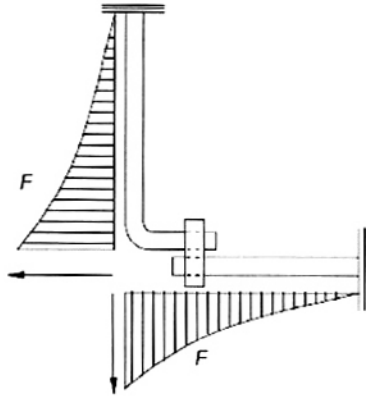


Hình D.1 – Bố trí thông dụng của hai dây dẫn để tính lực điện động

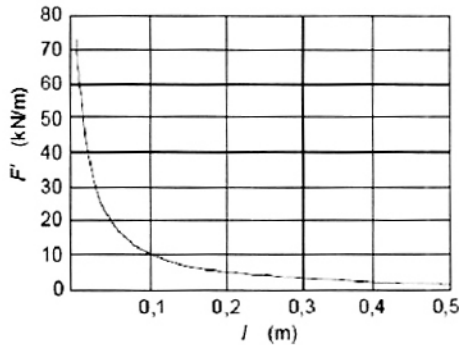
Ví dụ, trong một hệ thống LPS đưa ra các dây dẫn có bố cục góc đối xứng, tạo thành một góc 90° , có một kẹp được đặt ở gần góc vuông như chỉ trên Hình D.2. Sơ đồ các ứng suất cho cấu hình này được nêu trong Hình D.3. Lực dọc theo trục trên dây dẫn ngang có xu hướng kéo dây dẫn ra khỏi kẹp. Giá trị số của lực kéo dọc theo dây dẫn ngang được thể hiện trong Hình D.4, xét giá trị dòng đỉnh là 100 kA và chiều dài dây dẫn thẳng đứng là 0,5 m.



Hình D.2 – Bố trí dây dẫn điển hình trong hệ thống LPS



Hình D.3 – Biểu đồ ứng suất lực F cho cấu hình của Hình D.2



CHÚ THÍCH: Giá trị dòng đỉnh là 100 kA và chiều dài của dây dẫn dọc là 0,5 m.

Hình D.4 – Lực kéo trên mỗi đơn vị chiều dài F' dọc theo dây dẫn ngang của Hình D.2

D.4.2.1.2 Các hiệu ứng của lực điện động

Về biên độ của lực tác dụng, giá trị tức thời của lực điện động $F(t)$ tỷ lệ thuận với bình phương dòng điện tức thời $i^2(t)$. Về khai triển ứng suất trong kết cấu LPS cơ khí, biểu diễn bằng tích độ biến dạng đàn hồi $\delta(t)$ và hằng số đàn hồi k của kết cấu LPS, cần xem xét hai hiệu ứng này. Tần suất cơ học tự nhiên (gắn với tính năng đàn hồi của kết cấu LPS) và biến dạng vĩnh viễn của kết cấu hệ thống LPS (gắn với tính năng dẻo của nó) là những tham số quan trọng nhất. Hơn nữa, trong nhiều trường hợp, các hiệu ứng của lực ma sát trong kết cấu cũng khá quan trọng.

Biên độ của các dao động trong kết cấu LPS đàn hồi, gây ra bởi một lực điện động khai triển từ dòng điện sét, có thể được đánh giá bằng phương trình vi phân bậc hai, hệ số chính là tỷ lệ giữa độ rộng xung dòng điện và chu kỳ dao động cơ học tự nhiên của kết cấu LPS. Điều kiện điển hình gặp trong các ứng dụng LPS gồm chu kỳ dao động tự nhiên của kết cấu dài hơn nhiều lực tác động (độ rộng xung dòng điện sét). Trong trường hợp này, ứng suất cơ học tối đa xuất hiện sau khi ngắt xung dòng

TCVN 9888-1:2013

điện sét và có giá trị đỉnh vẫn còn thấp hơn so với lực tác động. Ở hầu hết các trường hợp, ứng suất cơ học tối đa có thể được bỏ qua.

Biến dạng dẻo xuất hiện khi ứng suất kéo vượt quá giới hạn đàn hồi của vật liệu. Nếu vật liệu hợp thành kết cấu LPS là mềm, như nhôm hay đồng tôi, thì các lực điện động có thể làm biến dạng các dây dẫn ở các góc và các vòng ghép. Do đó, thành phần hệ thống LPS cần được thiết kế để chịu được các lực này và cho thấy tính năng đàn hồi thiết yếu.

Tổng các ứng suất cơ học tác động tới kết cấu LPS phụ thuộc vào tích phân theo thời gian của lực tác động và do đó theo năng lượng riêng liên quan đến xung dòng điện. Nó cũng phụ thuộc vào hình dạng và độ rộng của xung dòng điện (so với chu kỳ dao động tự nhiên của kết cấu). Do đó, tất cả các tham số ảnh hưởng này phải được tính đến trong quá trình thử nghiệm.

D.4.2.2 Thiệt hại sóng âm sốc

Khi một dòng điện sét dẫn trong một hồ quang, một sóng xung sét được phát ra. Mức độ nghiêm trọng của cú sét phụ thuộc vào giá trị đỉnh dòng và tốc độ tăng của dòng điện.

Nhìn chung, thiệt hại do sóng âm xung sét là không đáng kể trên các bộ phận kim loại của hệ thống LPS nhưng có thể gây thiệt hại cho các thành phần xung quanh.

D.4.3 Các hiệu ứng kết hợp

Trong thực tế, cả hai hiệu ứng nhiệt và cơ học xảy ra đồng thời. Nếu nhiệt lượng vật liệu của các thành phần (cọc, kẹp, v.v...) là đủ để làm mềm các vật liệu, thì thiệt hại rất lớn có thể xảy ra. Trong trường hợp xấu nhất, dây dẫn có thể nổ nung chảy và gây thiệt hại đáng kể cho các kết cấu xung quanh. Nếu tiết diện của kim loại là đủ để xử lý an toàn tác động tổng thể, chỉ cần kiểm tra tính toàn vẹn cơ khí.

D.4.4 Đánh lửa

Đánh lửa thường chỉ quan trọng trong môi trường dễ cháy hoặc khi có mặt các vật liệu dễ cháy. Trong hầu hết các trường hợp thực tế, đánh lửa không quan trọng đối với các thành phần hệ thống LPS.

Hai loại đánh lửa khác nhau có thể xảy ra, là đánh lửa nhiệt và đánh lửa điện. Đánh lửa nhiệt xuất hiện khi có một dòng điện rất cao bị cưỡng bức đi qua một điểm nối giữa hai vật liệu dẫn điện. Đánh lửa nhiệt hầu hết xuất hiện gần các mặt bên trong mối nối nếu áp lực mặt tiếp xúc quá nhỏ, điều này chủ yếu là do mật độ dòng cao và áp lực mặt tiếp xúc không tương xứng. Mật độ đánh lửa nhiệt có liên quan đến năng lượng riêng và do đó, giai đoạn quan trọng nhất của sét là cú sét phân hồi ban đầu, Đánh lửa điện xảy ra khi dòng điện bị cưỡng bức dẫn theo các đường dẫn phức tạp, như bên trong mối nối, khi các điện áp cảm ứng trong một vòng ghép như vậy vượt quá điện áp ngắt mạch giữa các bộ phận kim loại. Điện áp cảm ứng tỷ lệ thuận với độ tự cảm nhân với độ dốc của dòng điện sét. Do đó, thành phần sét quan trọng nhất đối với đánh lửa điện là cú sét mang điện âm tiếp theo.

D.5 Thành phần, các vấn đề liên quan và các tham số thử nghiệm hệ thống LPS

D.5.1 Qui định chung

Hệ thống bảo vệ chống sét được làm từ nhiều thành phần khác nhau, mỗi thành phần có chức năng riêng trong hệ thống. Bản chất của các thành phần và những áp lực riêng mà chúng phải chịu, yêu cầu xem xét đặc biệt khi thiết lập các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm để kiểm tra tính năng của chúng.

D.5.2 Đầu thu sét

Các hiệu ứng trên các hệ thống đầu thu sét phát sinh từ cả hiệu ứng cơ và nhiệt (như được khảo sát bên dưới trong D.5.3, nhưng lưu ý rằng một tỷ số dòng điện sét cao sẽ dẫn trong phần dẫn điện của đầu thu sét khi bị sét đánh) và cũng có thể, trong một số trường hợp, các hiệu ứng ăn mòn hồ quang, đặc biệt trong các thành phần hệ thống LPS tự nhiên như dây dẫn treo, mái nhà hoặc mặt tường bằng kim loại mỏng (mà có thể tăng nhiệt độ bề mặt phía sau xuyên thủng hoặc vượt quá).

Với hiệu ứng ăn mòn hồ quang, cần xét hai tham số thử nghiệm chính, là điện tích của dòng điện có độ rộng xung dài và độ rộng xung của nó.

Điện tích chi phối đầu vào năng lượng ở nguồn hồ quang. Đặc biệt, các cú sét thời gian dài xuất hiện là nghiêm trọng nhất cho hiệu ứng này trong khi cú sét thời gian ngắn có thể được bỏ qua.

Độ rộng dòng điện xung có một vai trò quan trọng trong hiện tượng truyền nhiệt vào vật liệu. Độ rộng dòng điện xung được áp dụng trong các thử nghiệm cần so sánh với tính chất này của những cú sét thời gian dài (0,5s đến 1s).

D.5.3 Dây dẫn sét

Các hiệu ứng trên dây dẫn sét gây ra do sét có thể được chia thành hai loại chính:

- Hiệu ứng nhiệt do nhiệt điện trở;
- Hiệu ứng cơ học gắn với tương tác từ ở nơi dòng điện sét được chia theo các dây dẫn được đặt ở vùng lân cận của một dây khác hoặc dòng điện đổi hướng (uốn cong hoặc các kết nối giữa các dây dẫn đặt ở vị trí tạo góc nhất định đối với nhau).

Trong hầu hết các trường hợp, hai hiệu ứng này hoạt động độc lập với nhau và các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm riêng biệt có thể được thực hiện để kiểm tra từng hiệu ứng so với hiệu ứng khác. Cách tiếp cận này có thể được áp dụng trong mọi trường hợp, trong đó nhiệt lượng được khai triển do dẫn dòng điện sét không thay đổi đáng kể các đặc trưng cơ học.

D.5.3.1 Phát nóng kiểu điện trở

Các tính toán và phép đo liên quan đến phát nóng dây dẫn có vật liệu và tiết diện khác nhau do dòng điện sét dẫn dọc theo một dây dẫn đã được nhiều tác giả công bố. Những kết quả chính về đồ thị và

TCVN 9888-1:2013

công thức được tóm tắt trong D.4.1.1. Do đó, không cần thiết có thử nghiệm trong phòng thí nghiệm để kiểm tra tính năng của một dây dẫn đối với tăng nhiệt độ nói chung.

Trong tất cả các trường hợp yêu cầu thử nghiệm trong phòng thí nghiệm, những cân nhắc dưới đây phải được tính đến:

- Các tham số thử nghiệm chính được xét là năng lượng riêng và độ rộng xung dòng điện;
- Năng lượng riêng chi phối độ tăng nhiệt do nhiệt lượng Joule gây ra vì dẫn dòng điện sét. Giá trị số được xét là những số có liên quan đến cú sét đầu tiên. Dữ liệu bảo toàn được thu nhận khi xét đến các cú sét mang điện dương;
- Độ rộng xung dòng điện có ảnh hưởng quyết định đến quá trình trao đổi nhiệt đối với các điều kiện môi trường xung quanh dây dẫn được xét. Trong hầu hết các trường hợp, độ rộng của xung dòng điện quá ngắn nên quá trình gia nhiệt có thể được coi là đoạn nhiệt.

D.5.3.2 Các hiệu ứng cơ học

Như đã được khảo sát trong D.4.2.1, các tương tác cơ học được khai triển giữa các dây dẫn mang dòng điện sét. Lực tác động tỷ lệ thuận với tích dòng điện dẫn trong các dây dẫn (hoặc bình phương dòng điện khi xét một dây dẫn có một điểm uốn) và với nghịch đảo của khoảng cách giữa các dây dẫn.

Tình huống bình thường, trong đó có thể xuất hiện hiệu ứng khả kiến khi một dây dẫn có dạng một vòng ghép hoặc bị bẻ cong. Khi dây như vậy mang dòng điện sét, nó sẽ phải chịu một lực cơ học cố gắng để kéo giãn móc nối và kéo thẳng góc và do đó nó bị uốn cong ra phía ngoài. Độ lớn của lực này là tỷ lệ thuận với bình phương biên độ dòng điện. Tuy nhiên, cần thực hiện phân biệt rõ ràng giữa lực điện động tỷ lệ thuận với bình phương biên độ dòng điện, và ứng suất tương ứng phụ thuộc vào đặc trưng đàn hồi của kết cấu hệ thống LPS cơ học. Với các kết cấu hệ thống LPS có tần số tự nhiên tương đối thấp, ứng suất khai triển trong kết cấu hệ thống LPS sẽ thấp hơn đáng kể so với lực điện động. Trong trường hợp này, không cần thử nghiệm trong phòng thí nghiệm để kiểm tra tính năng cơ học của một dây dẫn uốn cong tạo góc vuông chừng nào tiết diện đáp ứng các yêu cầu tiêu chuẩn hiện có.

Trong tất cả các trường hợp mà yêu cầu thử nghiệm trong phòng thí nghiệm (đặc biệt đối với các vật liệu mềm), những yếu tố sau cần được xem xét. Xét ba tham số của cú sét phản hồi đầu tiên: độ rộng, năng lượng riêng của dòng điện xung, và trong trường hợp các hệ thống cố định là biên độ dòng điện.

Độ rộng dòng điện xung, so với chu kỳ dao động cơ học tự nhiên của kết cấu hệ thống LPS, chi phối loại đáp ứng cơ học của hệ thống về dịch chuyển:

- Nếu độ rộng của xung ngắn hơn nhiều so với chu kỳ dao động cơ học tự nhiên của kết cấu hệ thống LPS (trường hợp bình thường với kết cấu hệ thống LPS chịu ứng suất từ các xung sét), thì trọng lượng và độ đàn hồi của hệ thống ngăn cản nó bị dịch chuyển đáng kể và lực cơ học tương ứng liên

quan thiết yếu đến năng lượng riêng của xung dòng điện. Giá trị đỉnh của dòng điện xung có hiệu ứng hạn chế.

– Nếu độ rộng của xung có thể so sánh bằng hoặc cao hơn so với chu kỳ dao động cơ tự nhiên của kết cấu, sự dịch chuyển của hệ thống nhạy cảm hơn với dạng của ứng suất tác dụng. Trong trường hợp này, giá trị đỉnh của dòng điện xung và năng lượng riêng của nó cần phải được tái điều chế trong quá trình thử nghiệm.

Năng lượng riêng của dòng điện xung chi phối ứng suất gây biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo của kết cấu hệ thống LPS. Giá trị số được xem xét là những số liên quan đến cú sét đầu tiên.

Giá trị tối đa của dòng điện xung chi phối chiều dài dịch chuyển tối đa của kết cấu hệ thống LPS, trong trường hợp các hệ thống cố định có tần số dao động tự nhiên cao. Giá trị số được xem xét là những số liên quan đến cú sét đầu tiên.

D.5.3.3 Thành phần kết nối

Thành phần kết nối giữa các dây dẫn lân cận một hệ thống LPS là những điểm có thể bị suy yếu cơ học và nhiệt lượng khi xuất hiện các ứng suất rất cao.

Trong trường hợp một kết nối được đặt theo cách làm cho dây dẫn đi theo một góc vuông, thì những hiệu ứng chính của ứng suất gắn với các lực cơ học có xu hướng nấn thẳng bộ kết nối và lớn hơn lực ma sát giữa thành phần kết nối và các dây dẫn, do đó kéo dẫn kết nối. Có thể có xuất hiện hồ quang tại các điểm tiếp xúc các phần khác nhau. Hơn nữa, hiệu ứng nhiệt do độ tập trung dòng điện vượt qua các bề mặt tiếp xúc nhỏ có ảnh hưởng đáng chú ý.

Các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm đã chỉ ra rằng rất khó để tách mỗi hiệu ứng từ các thành phần khác khi diễn ra đồng thời phức tạp. Độ bền cơ học bị ảnh hưởng bởi nóng chảy cục bộ tại diện tích tiếp xúc. Các dịch chuyển tương đối giữa các bộ phận của các thành phần kết nối thúc đẩy xuất hiện hồ quang và hậu quả phát sinh nhiệt cực lớn.

Trong trường hợp không có mô hình hợp lệ, các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm phải được tiến hành theo cách để biểu diễn càng gần các tham số dòng điện sét thích hợp trong tình huống quan trọng nhất càng tốt, tức là các tham số dòng điện sét thích hợp được áp dụng theo cách thử nghiệm điện riêng.

Trong trường hợp này, cần xét ba tham số: giá trị đỉnh, năng lượng riêng và độ rộng xung dòng điện.

Giá trị dòng điện xung tối đa chi phối lực lớn nhất, hoặc, khi và sau khi lực kéo điện động vượt quá lực ma sát, thì có chiều dài dịch chuyển tối đa của kết cấu LPS. Các giá trị số được xét là những số có liên quan đến cú sét đầu tiên. Dữ liệu bảo toàn thu được bằng cách xét các cú sét mang điện dương.

TCVN 9888-1:2013

Năng lượng riêng của xung dòng điện chi phối nhiệt lượng ở các bề mặt tiếp xúc nơi mà dòng điện tập trung trên các diện tích nhỏ. Các giá trị số được xét là những số có liên quan đến cú sét đầu tiên. Dữ liệu bảo toàn thu được bằng cách xét các cú sét mang điện dương.

Độ rộng của dòng điện xung chi phối dịch chuyển tối đa của kết cấu sau khi các lực ma sát bị vượt quá và có một vai trò quan trọng trong hiện tượng truyền nhiệt vào vật liệu.

D.5.3.4 Đầu tiếp đất

Các vấn đề thực sự với các điện cực tiếp đất được gắn với ăn mòn hóa học và thiệt hại cơ học do các lực khác với lực điện động gây ra. Trong các trường hợp thực tế, ăn mòn của các điện cực tiếp đất tại nguồn hồ quang ít quan trọng. Tuy nhiên, tương phản với các đầu thu sét, nó được xem như một hệ thống LPS điển hình nhiều đầu thu sét. Dòng điện sét sẽ được chia giữa nhiều điện cực nối đất, do đó ít gây ảnh hưởng nghiêm trọng ở nguồn hồ quang. Trong trường hợp này, xét hai tham số thử nghiệm chính:

- Diện tích chi phối đầu vào năng lượng ở nguồn hồ quang. Đặc biệt, đóng góp của cú sét đầu tiên có thể được bỏ qua khi xuất hiện cú sét thời gian dài nghiêm trọng nhất cho thành phần này;
- Độ rộng xung dòng điện có vai trò quan trọng trong hiện tượng truyền nhiệt vào vật liệu. Độ rộng xung dòng điện được áp dụng trong thử nghiệm nên được so sánh với giá trị tương ứng của các cú sét thời gian dài (0,5 s đến 1 s).

D.6 Thiết bị bảo vệ chống đột biến (SPD)

D.6.1 Qui định chung

Các hiệu ứng của điện áp lên một thiết bị SPD do sét phụ thuộc vào loại thiết bị SPD được xét, liên quan cụ thể với sự có mặt hay không của một bộ phóng điện.

D.6.2 Thiết bị SPD có các bộ phóng điện

Các hiệu ứng tại các bộ phóng điện do sét có thể được chia thành hai loại chính:

- Ăn mòn các điện cực bộ phóng điện do đốt nóng, nóng chảy và bay hơi vật chất;
- Ứng suất cơ học do sóng phóng điện của cú sét đánh.

Vô cùng khó để khảo sát riêng những hiệu ứng này khi cả hai được gắn kết với các tham số dòng điện sét chính bằng các mối quan hệ phức tạp.

Đối với các bộ phóng điện, các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm được tiến hành theo cách để biểu diễn càng gần càng tốt các tham số dòng điện sét thích hợp trong trường hợp quan trọng nhất, nghĩa là tất cả các tham số thích hợp của dòng điện sét được áp dụng bằng cách chịu áp lực điện riêng.

Trong trường hợp này, xét năm tham số: giá trị đỉnh, điện tích, độ rộng xung, năng lượng riêng và tốc độ tăng của dòng điện xung.

Giá trị dòng đỉnh chi phối mức độ nghiêm trọng của sóng sét đánh. Các giá trị số được xét là những giá trị liên quan đến cú sét đầu tiên. Dữ liệu bảo toàn thu được khi xét các cú sét mang điện dương.

Điện tích chi phối đầu vào năng lượng trong hồ quang. Năng lượng trong hồ quang sẽ nóng lên, tan chảy và có thể làm bay hơi một phần vật liệu điện cực tại các điểm nối của hồ quang. Giá trị số được xét là những số liên quan đến toàn bộ quá trình sét đánh. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp, điện tích của dòng điện độ rộng xung dài có thể được bỏ qua tùy thuộc vào cấu hình của hệ thống cung cấp điện (TN, TT hoặc IT).

Độ rộng của dòng điện xung chi phối hiện tượng truyền nhiệt vào khối lượng của điện cực và dẫn đến lan truyền nóng chảy bề mặt.

Năng lượng riêng của xung dòng điện chi phối khả năng tự nén từ của hồ quang và tính chất vật lý của các luồng plasma điện cực xuất hiện tại giao diện giữa các bề mặt điện cực và hồ quang (mà có thể thổi tắt một số lượng đáng kể vật liệu nóng chảy). Giá trị số được xét là số liên quan đến cú sét đầu tiên. Dữ liệu bảo toàn thu được khi xét các cú sét mang điện dương.

CHÚ THÍCH: Đối với các bộ phóng điện được sử dụng trên các hệ thống cung cấp điện, phải xét đến tần số điện năng có thể có kéo theo biên độ dòng điện tạo thành một hệ số áp lực quan trọng.

D.6.3 Thiết bị SPD có điện trở phi tuyến bằng oxit kim loại

Sét tác động tới điện trở phi tuyến oxit kim loại có thể được chia thành hai loại chính: quá tải và phóng điện hồ quang. Mỗi loại được đặc trưng bởi các hình thức hỏng được tạo ra bởi các hiện tượng khác nhau và bị chi phối bởi các tham số khác nhau. Hỏng hóc một thiết bị SPD oxit kim loại được gắn với các đặc trưng yếu nhất của nó và do đó không chắc về sự đồng thời giữa các áp lực nghiêm trọng khác nhau có thể xảy ra. Do đó, chấp nhận việc thực hiện các thử nghiệm riêng để kiểm tra tính năng trong từng điều kiện của chế độ hỏng hóc.

Quá tải là do một lượng năng lượng hấp thụ vượt quá khả năng của thiết bị. Năng lượng vượt quá được xét ở đây có liên quan đến chính tác động của sét. Tuy nhiên, đối với các thiết bị SPD được lắp đặt trên các hệ thống cung cấp điện, dòng điện kéo theo được đưa vào thiết bị trong hệ thống điện ngay lập tức sau khi chấm dứt dẫn dòng điện sét cũng có thể đóng một vai trò quan trọng trong những thiệt hại nghiêm trọng của thiết bị SPD. Cuối cùng, một thiết bị SPD có thể bị thiệt hại nghiêm trọng do bất ổn nhiệt dưới điện áp áp dụng liên quan đến hệ số nhiệt độ âm của các đặc tuyến von - ampe của điện trở. Để mô phỏng tình trạng quá tải của điện trở phi tuyến oxit kim loại, xét một tham số chính là: điện tích.

Điện tích chi phối đầu vào năng lượng đưa vào khối điện trở oxit kim loại, coi như là một hằng số điện áp tồn dư của khối điện trở oxit kim loại. Giá trị số được xét là số liên quan đến sét.

TCVN 9888-1:2013

Phóng điện hồ quang và nứt gãy do biên độ của các xung dòng điện vượt quá dung lượng của các điện trở. Cơ chế hỏng này thường được chứng minh bằng một phóng điện hồ quang ngoài dọc theo mặt bích, đôi khi xuyên vào khối điện trở gây ra một vết nứt hay lỗ vuông góc với mặt bích. Hỏng hóc gắn chủ yếu với phá vỡ lớp điện môi của mặt bích khối điện trở.

Để mô phỏng hiện tượng sét này, cần xét hai tham số chính: giá trị tối đa và độ rộng dòng điện xung.

Thông qua mức độ đáp ứng điện áp tồn dư, giá trị tối đa của dòng điện xung xác định độ bền điện môi tối đa trên mặt bích điện trở có bị vượt quá. Giá trị số được xét là những số liên quan đến cú sét đầu tiên. Dữ liệu bảo toàn thu được khi xét các cú sét mang điện dương.

Độ rộng dòng điện xung chi phối thời gian đặt áp lực điện môi trên mặt bích điện trở.

D.7 Tóm tắt các tham số thử nghiệm được áp dụng trong thử nghiệm các thành phần hệ thống LPS

Bảng D.1 tóm tắt những khía cạnh quan trọng nhất của mỗi thành phần hệ thống LPS khi thực hiện chức năng của nó và cung cấp các tham số dòng điện sét được tái điều chế trong các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm.

Các giá trị số đưa ra trong Bảng D.1 có liên quan đến các tham số sét quan trọng tại điểm sét đánh.

Các giá trị thử nghiệm phải được tính toán xét tới việc chia dòng mà có thể được biểu diễn bằng các hệ số chia dòng, như đã khảo sát ở Điều D.3.

Do đó, các giá trị số của các tham số được sử dụng trong các thử nghiệm có thể được tính toán trên cơ sở các số liệu đưa trong Bảng D.1, áp dụng các hệ số giảm gắn với chia dòng, như đã biểu diễn theo công thức được nêu ở Điều D.3.

Phụ lục E

(tham khảo)

Các đột biến do sét tại các điểm lắp đặt khác nhau

E.1 Qui định chung

Với kích thước của dây dẫn, các thiết bị SPD và máy móc, phải xác định mối đe dọa do đột biến tại các điểm lắp đặt cụ thể các thành phần này. Đột biến có thể phát sinh từ các dòng điện sét (một phần) và từ các hiệu ứng cảm ứng đi vào các vòng ghép lắp đặt. Mối đe dọa do các đột biến phải nhỏ hơn mức độ chịu đựng của các thành phần được sử dụng (được xác định bằng các thử nghiệm thích hợp khi cần thiết)

E.2 Các đột biến do sét đánh vào kết cấu (nguồn gây thiệt hại S1)

E.2.1 Các đột biến dẫn qua các bộ phận dẫn điện bên ngoài và các đường dây được nối tới kết cấu

Khi được dẫn điện về đất, dòng điện sét được chia giữa các hệ thống đầu thu sét, các bộ phận dẫn điện bên ngoài và các đường dây, trực tiếp hoặc thông qua thiết bị SPD được nối tới chúng.

Nếu $I_F = k_e \times I$ (E.1)

là bộ phận của dòng điện sét liên quan đến mỗi bộ phận hoặc đường dây dẫn điện bên ngoài, thì hệ số chia dòng k_e phụ thuộc vào:

- số đường dẫn song song;
- trở kháng nối đất quy ước của chúng đối với các bộ phận chôn ngầm, hoặc trở kháng đất của chúng, khi các bộ phận trên không nối xuống đất, đối với các bộ phận trên không;
- trở kháng nối đất quy ước của hệ thống đầu tiếp đất.

- đối với lắp đặt ngầm
$$k_e = \frac{Z}{Z_1 + Z \times \left(n_1 + n_2 \times \frac{Z_1}{Z_2} \right)}$$
 (E.2)

- đối với lắp đặt trên không
$$k_e = \frac{Z}{Z_2 + Z \times \left(n_1 + n_2 \times \frac{Z_2}{Z_1} \right)}$$
 (E.3)

trong đó:

Z là trở kháng nối đất quy ước của hệ thống tiếp đất;

Z₁ là trở kháng nối đất quy ước của các bộ phận bên ngoài hoặc các đường dây chạy ngầm trong đất (Bảng E.1);

TCVN 9888-1:2013

Z_2 là trở kháng đất của phân bố nối đất nối đường dây trên không xuống đất. Nếu không xác định được trở kháng đất của điểm nối đất thì có thể sử dụng giá trị Z_1 chỉ trên Bảng E.1 (trong đó điện trở suất liên quan đến điểm tiếp đất).

CHÚ THÍCH 1: Giá trị này được ước lượng theo công thức trên là như nhau đối với mỗi điểm tiếp đất. Nếu không phải trường hợp này thì cần sử dụng các công thức phức tạp hơn.

- n_1 là tổng các bộ phận bên ngoài hoặc các đường dây chôn ngầm;
- n_2 là tổng các bộ phận bên ngoài hoặc các đường dây trên không;
- I là dòng điện sét liên quan đến mức bảo vệ chống sét (LPL) được xét

Giả thiết giá trị ban đầu xấp xỉ với một nửa dòng điện sét dẫn trong hệ thống tiếp đất và có $Z_2 = Z_1$, thì giá trị k_e có thể được đánh giá cho một bộ phận dẫn điện bên ngoài hoặc đường dây theo:

$$k_e = 0,5 / (n_1 + n_2) \quad (E.4)$$

Nếu các đường dây vào (như đường điện và viễn thông) đều không có vỏ bảo vệ hoặc không được chia lộ trong ống dẫn kim loại thì mỗi dây dẫn n' của đường dây mang một phần dòng điện sét bằng nhau

$$k'_e = k_e / n' \quad (E.5)$$

n' là tổng số các dây dẫn điện

Đối với các đường dây có vỏ bảo vệ được liên kết ở lõi vào, các giá trị hệ số chia dòng k'_e đối với mỗi dây dẫn n' của một đường dây có vỏ bảo vệ được đưa ra theo:

$$k'_e = k_e \times R_s / (n' \times R_s + R_c) \quad (E.6)$$

trong đó:

- R_s là trở kháng thuần trở trên mỗi đơn vị chiều dài của vỏ bảo vệ;
- R_c là trở kháng thuần trở trên mỗi đơn vị chiều dài của dây dẫn bên trong.

CHÚ THÍCH 2: Công thức này có thể đánh giá thấp vai trò của vỏ bảo vệ trong việc chuyển hướng dòng điện sét do điện cảm tương hỗ giữa lõi và vỏ.

Bảng E.1 – Các giá trị trở kháng đất quy ước Z và Z₁ theo điện trở suất của đất

ρ Ωm	Z ₁ ^a Ω	Trở kháng đất quy ước liên quan đến loại hệ thống LPS ^b		
		Z Ω		
		I	II	III
≤100	8	4	4	4
200	11	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	35	10	15	60

CHÚ THÍCH: Các giá trị được nêu trong bảng này liên quan đến trở kháng đất quy ước của một dây dẫn chôn ngầm trong điều kiện xung (10/350 μs).

^a Các giá trị đề cập đến các bộ phận bên ngoài dài hơn 100 m. Với chiều dài bộ phận bên ngoài nhỏ hơn 100 m trong các điện trở suất đất cao (> 500 Ωm) Z₁ có thể được tăng gấp đôi.

^b Hệ thống tiếp đất tuân thủ 5.4 của TCVN 9888-3:2013 (IEC 62305-3:2010).

E.2.2 Các hệ số ảnh hưởng đến chia dòng điện sét trên các đường dây điện

Với các tính toán chi tiết, một số hệ số có thể ảnh hưởng đến biên độ và hình dạng của các đợt biến như vậy:

- chiều dài cáp có thể ảnh hưởng đến các đặc trưng chia dòng và đặc điểm hình dạng do tỷ số L/R;
- trở kháng khác nhau của dây dẫn điện trung tính và pha có thể ảnh hưởng đến chia dòng giữa các dây dẫn điện;

CHÚ THÍCH 1: Ví dụ, nếu dây trung tính (N) có nhiều điểm nối đất, thì trở kháng của N thấp hơn so với dây dẫn pha L₁, L₂, L₃ và có thể dẫn đến 50 % dòng điện chạy qua dây dẫn N và 50 % còn lại được chia cho 3 dây dẫn pha khác (mỗi dây 17 %). Nếu N, L₁, L₂, L₃ có cùng trở kháng thì mỗi dây dẫn sẽ mang khoảng 25 % dòng điện.

- trở kháng biến áp khác nhau có thể ảnh hưởng đến chia dòng (hiệu ứng này là không đáng kể, nếu các máy biến áp được bảo vệ bởi thiết bị SPD nối tắt trở kháng của nó);
- quan hệ giữa các điện trở nối đất quy ước của máy biến áp và các phần ở phía chịu tải có thể ảnh hưởng đến chia dòng (trở kháng biến áp thấp hơn, dòng đột biến cao hơn dòng dẫn vào hệ thống hạ áp);
- các hộ tiêu thụ song song làm giảm hiệu quả trở kháng của hệ thống điện hạ áp, điều này có thể làm tăng phần dòng điện sét dẫn vào hệ thống này.

CHÚ THÍCH 2: Tham khảo Phụ lục D của TCVN 9888-4:2013 (IEC 62305-4:2010) để biết thêm thông tin.

E.3 Đột biến liên quan đến các đường dây được nối tới kết cấu

E.3.1 Đột biến do sét đánh vào đường dây (nguồn gây thiệt hại S3)

Khi sét đánh trực tiếp vào đường dây nối, cần tính đến việc chia dòng điện sét theo cả hai hướng của đường dây và đánh thủng cách điện.

Việc lựa chọn các giá trị I_{imp} có thể dựa trên giá trị cho trong bảng E.2 cho các hệ thống điện hạ áp và bảng E.3 cho các hệ thống viễn thông, trong đó các giá trị ưu tiên của I_{imp} liên quan với mức độ bảo vệ sét (LPL).

Bảng E.2 – Quá dòng đột biến dự kiến do sét đánh vào hệ thống điện hạ áp

LPL (mức)	Hệ thống điện hạ áp			
	Các sét đánh trực tiếp và gián tiếp tới dịch vụ		Sét đánh gần kết cấu ^a	Sét đánh vào kết cấu ^a
	Nguồn gây thiệt hại S3 (đánh trực tiếp) ^b Dạng dòng điện: 10/350 μ s kA	Nguồn gây thiệt hại S4 (đánh gián tiếp) ^c Dạng dòng điện: 8/20 μ s kA	Nguồn gây thiệt hại S2 (dòng điện cảm ứng) Dạng dòng điện: ^d 8/20 μ s kA	Nguồn gây thiệt hại S1 (dòng điện cảm ứng) Dạng dòng điện: ^d 8/20 μ s kA
III-IV	5	2,5	0,1	5
II	7,5	3,75	0,15	7,5
I	10	5	0,2	10

CHÚ THÍCH: Tất cả các giá trị đều liên quan đến từng dây pha.

^a Tuyến dây dẫn mạch vòng và khoảng cách đến dòng điện cảm ứng sẽ ảnh hưởng đến các giá trị quá dòng đột biến dự kiến. Giá trị trong Bảng E.2 liên quan đến các dây dẫn mạch vòng ngắn mạch không được bảo vệ, có tuyến khác nhau trong các tòa nhà lớn (diện tích mạch vòng cỡ 50 m², rộng 5 m), cách tường kết cấu 1 m, bên trong kết cấu không được bảo vệ hoặc tòa nhà có LPS ($k_c = 0,5$). Đối với các đặc trưng mạch vòng và kết cấu khác, giá trị này cần được nhân với các hệ số K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} (xem Điều B.4 của TCVN 9888-2:2013 (IEC 62305-2:2010)).

^b Các giá trị liên quan đến trường hợp đánh lửa tới cực cuối của đường dây sát với đường dây của hộ tiêu thụ và đường dây nhiều lõi (ba pha + trung tính).

^c Các giá trị liên quan đến đường dây trên không. Đối với đường dây chôn ngầm, giá trị có thể giảm một nửa.

^d Điện trở và điện cảm vòng lặp sẽ ảnh hưởng đến hình dạng của dòng cảm ứng. Khi điện trở vòng ghép không đáng kể thì giả thiết là dòng điện cảm ứng có dạng 10/350 μ s. Đây là trường hợp một loại chuyển mạch SPD được lắp trong mạch cảm ứng.

Bảng E.3 – Quá dòng đột biến được dự kiến do sét đánh lên các hệ thống viễn thông

LPL (mức)	Các hệ thống viễn thông ^a			
	Các sét đánh trực tiếp và gián tiếp tới dịch vụ		Sét đánh gần kết cấu ^b	Sét đánh vào kết cấu ^b
	Nguồn gây thiệt hại S3 (đánh trực tiếp) ^c Dạng dòng điện: 10/350 μ s kA	Nguồn gây thiệt hại S4 (đánh gián tiếp) ^d Dạng dòng điện: 8/20 μ s kA	Nguồn gây thiệt hại S2 (dòng điện cảm ứng) Dạng dòng điện 8/20 μ s kA	Nguồn gây thiệt hại S1 (dòng điện cảm ứng) Dạng dòng điện 8/20 μ s kA
III-IV	1	0,035	0,1	5
II	1,5	0,085	0,15	7,5
I	2	0,160	0,2	10

CHÚ THÍCH: Tất cả các giá trị đều liên quan đến từng dây pha

^a Tham khảo khuyến cáo ITU-T K.67⁽⁶⁾ để biết thêm thông tin.

^b Tuyến dây dẫn mạch vòng và khoảng cách đến dòng điện cảm ứng sẽ ảnh hưởng đến các giá trị quá dòng đột biến dự kiến. Giá trị trong Bảng E.3 liên quan đến các dây dẫn mạch vòng ngắn mạch không được bảo vệ, có tuyến khác nhau trong các tòa nhà lớn (diện tích mạch vòng cỡ 50 m², rộng 5 m), cách tường kết cấu 1 m, bên trong kết cấu không được bảo vệ hoặc tòa nhà có LPS ($k_c = 0,5$). Đối với các đặc trưng mạch vòng và kết cấu khác, giá trị này cần được nhân với các hệ số K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} (xem Điều B.4 của TCVN 9888-2:2013 (IEC 62305-2:2010)).

^c Các giá trị liên quan đến các đường dây không được bảo vệ có nhiều cặp dây dẫn. Đối với dây không có vỏ bảo vệ, các giá trị có thể cao hơn 5 lần.

^d Các giá trị liên quan đến đường dây trên không không được bảo vệ. Đối với đường dây chôn ngầm, các giá trị có thể giảm một nửa.

Đối với các đường dây được bảo vệ, các giá trị quá dòng được cho trong Bảng E.2 có thể được giảm đi 0,5 lần.

CHÚ THÍCH: Giả thiết rằng điện trở của vỏ bảo vệ xấp xỉ bằng với điện trở của tất cả các dây pha nối song song.

E.3.2 Các đột biến do sét đánh gần đường dây (nguồn gây thiệt hại S4)

Các đột biến do sét đánh gần đường dây có năng lượng thấp hơn nhiều so với các đột biến do sét đánh vào đường dây (nguồn gây thiệt hại S3).

Quá dòng điện dự kiến, liên quan đến một mức bảo vệ sét cụ thể (LPL) được cho trong Bảng E.2 và Bảng E.3.

Đối với đường dây được bảo vệ, các giá trị quá dòng điện được cho trong Bảng E.2 và Bảng E.3 có thể được giảm đi 0,5 lần.

E.4 Các đột biến do ảnh hưởng của cảm ứng (nguồn gây thiệt hại S1 hoặc S2)

E.4.1 Qui định chung

Các đột biến do ảnh hưởng cảm ứng của trường từ, phát ra hoặc do sét đánh gần (nguồn S2) hoặc do dòng điện sét dẫn trong hệ thống LPS bên ngoài hoặc màn chắn không gian của vùng LPZ 1 (nguồn

TCVN 9888-1:2013

S1) có dạng dòng điện điển hình 8/20 μ s. Các đợt biến như vậy được xét gần tới hoặc tới đầu cuối của máy móc bên trong vùng LPZ 1 và ở ranh giới của LPZ 1/2.

E.4.2 Các đợt biến bên trong vùng LPZ 1 không được bảo vệ

Bên trong các vùng không được bảo vệ LPZ 1 (ví dụ chỉ được bảo vệ bằng một hệ thống LPS ngoài theo TCVN 9888-3 (IEC 62305-3) có độ rộng lưới lớn hơn 5m) các đợt biến tương đối cao được dự kiến do các hiệu ứng cảm ứng của từ trường không tắt dần.

Quá dòng dự kiến, liên quan đến mức bảo vệ sét cụ thể (LPL) được đưa ra trong Bảng E.2 và E.3.

E.4.3 Các đợt biến bên trong các vùng LPZ được bảo vệ

Bên trong vùng LPZ có màn chắn không gian hiệu quả (yêu cầu chiều rộng lưới dưới 5 m theo Phụ lục A của IEC 62305-4:2010), việc phát các đợt biến do hiệu ứng cảm ứng từ từ trường bị giảm mạnh. Trong trường hợp như vậy, các đợt biến thấp hơn nhiều các giá trị được cho trong E.4.2.

Bên trong vùng LPZ 1, các hiệu ứng cảm ứng thấp hơn do hiệu ứng tắt dần của màn chắn không gian của nó.

Bên trong vùng LPZ 2, các đợt biến bị giảm mạnh hơn nữa do hiệu ứng xếp chồng hai màn chắn không gian của vùng LPZ 1 và LPZ 2.

E.5 Thông tin chung liên quan đến các thiết bị SPD

Việc sử dụng các thiết bị SPD phụ thuộc vào khả năng chịu đựng của chúng, với hệ thống điện thì được phân loại trong IEC 61643-1^[7] và trong IEC 61643-21^[8] đối với hệ thống viễn thông.

Các thiết bị SPD sẽ được sử dụng theo vị trí lắp đặt chúng như sau:

a) Tại lối đường dây đi vào kết cấu (tại ranh giới của vùng LPZ 1, ví dụ tại bảng phân phối chính MB):

- thiết bị SPD được thử nghiệm với I_{imp} (dạng dòng điện hình 10/350), ví dụ: thiết bị SPD được thử nghiệm theo Cấp I;
- thiết bị SPD được thử nghiệm với I_n (dạng dòng điện hình 8/20), ví dụ: thiết bị SPD được thử nghiệm theo Cấp II.

b) Gần với máy được bảo vệ (tại ranh giới của vùng LPZ 2 và cao hơn, ví dụ tại bảng phân phối thứ cấp SB, hoặc tại một ổ cắm SA):

- SPD được thử nghiệm với I_{imp} (dạng dòng điện hình 10/350), ví dụ SPD được thử nghiệm theo Cấp I cho các thiết bị SPD công suất);
- SPD được thử nghiệm với I_n (dạng dòng điện hình 8/20), ví dụ SPD được thử nghiệm theo Cấp II;
- SPD được thử nghiệm với một sóng kết hợp (dạng dòng điện hình 8/20), ví dụ SPD được thử nghiệm theo Cấp III.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] IEC 60664-1:2007, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests* (Kết hợp cách điện cho thiết bị trong các hệ thống hạ áp - Phần 1: Nguyên lý, yêu cầu và thử nghiệm)
- [2] IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test* (Tương thích điện từ - Phần 4-5: Các kỹ thuật thử nghiệm và đo lường – Thử nghiệm loại trừ đột biến)
- [3] BERGER K., ANDERSON R.B., KRÖNINGER H., *Parameters of lightning flashes*. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37 (Các tham số của sét)
- [4] ANDERSON R.B., ERIKSSON A.J., *Lightning parameters for engineering application*. CIGRE Electra No 69 (1980), p. 65 – 102 (Các tham số sét cho ứng dụng kỹ thuật)
- [5] IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines- Analytical models*. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993 (Tính năng ước tính của sét cho các mô hình phân tích các đường dây truyền tải)
- [6] ITU-T Recommendation K.67, *Expected surges on telecommunications and signalling networks due to lightning* (Các đột biến dự kiến trên các mạng viễn thông và tín hiệu do sét)
- [7] IEC 61643-1, *Low-voltage surge protective devices – Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests* (Các thiết bị bảo vệ đột biến hạ áp – Phần 1: Các thiết bị bảo vệ đột biến được nối với các hệ thống phân phối điện năng hạ áp – Các yêu cầu và thử nghiệm)
- [8] IEC 61643-21 *Low-voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods* (Các thiết bị bảo vệ đột biến hạ áp – Phần 21: Các thiết bị bảo vệ đột biến được nối tới các mạng viễn thông và tín hiệu – Các phương pháp thử nghiệm và các yêu cầu tính năng).
-