

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 10687-24: 2015

IEC 61400-24 : 2010

Xuất bản lần 1

**TUABIN GIÓ –
PHẦN 24: BẢO VỆ CHỐNG SÉT**

*Wind turbines –
Part 24: Lightning protection*

HÀ NỘI - 2014

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	10
4 Ký hiệu và đơn vị	17
5 Các từ viết tắt	22
6 Môi trường sét của tuabin gió	22
7 Đánh giá tác động với sét	24
8 Bảo vệ chống sét của các bộ phận đi kèm	32
9 Nối đất các tuabin gió và trang trại gió	49
10 An toàn cá nhân	56
11 Tài liệu cho hệ thống bảo vệ chống sét	57
12 Kiểm tra hệ thống bảo vệ chống sét	61
Phụ lục A (tham khảo) – Hiện tượng sét liên quan đến các tuabin gió	64
Phụ lục B (tham khảo) – Đánh giá chịu tác động sét	76
Phụ lục C (tham khảo) – Các biện pháp bảo vệ cánh tuabin	96
Phụ lục D (tham khảo) – Thông số kỹ thuật thử nghiệm	109
Phụ lục E (tham khảo) – Áp dụng khái niệm các vùng bảo vệ chống sét (LPZ) trong tuabin gió	136
Phụ lục F (tham khảo) – Lựa chọn và lắp đặt bảo vệ SPD phối hợp trong tuabin gió	142
Phụ lục G (tham khảo) – Thông tin bổ sung về liên kết và kỹ thuật che chắn và lắp đặt.....	146
Phụ lục H (tham khảo) – Phương pháp thử nghiệm cho các thử nghiệm miễn nhiễm cấp hệ thống	151
Phụ lục I (tham khảo) – Hệ thống đầu thu sét	153
Phụ lục J (tham khảo) – Ví dụ về các điểm đo xác định	162
Phụ lục K (tham khảo) – Bảng câu hỏi thiệt hại sét đánh điển hình	164
Phụ lục L (tham khảo) – Hệ thống giám sát	167
Phụ lục M (tham khảo) – Hướng dẫn cho các tuabin gió nhỏ - Vi máy phát	169
Thư mục tài liệu tham khảo	170

Lời nói đầu

TCVN 10687-24:2015 hoàn toàn tương đương với IEC 61400-24:2010;

TCVN 10687-24:2015 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.

Lời giới thiệu

Tiêu chuẩn này đưa ra các yêu cầu thiết kế tối thiểu cho các tuabin gió mà không nhằm sử dụng như một bản thông số kỹ thuật thiết kế hoàn chỉnh hay hướng dẫn sử dụng.

Bất kỳ các yêu cầu nào của tiêu chuẩn này đều có thể thay đổi nếu có thể chứng tỏ một cách thích hợp rằng an toàn của hệ thống không bị ảnh hưởng. Tuy nhiên, quy định này không áp dụng cho việc phân loại và các định nghĩa kèm theo của các điều kiện bên ngoài nêu trong Điều 6. Việc phù hợp với tiêu chuẩn này không hỗ trợ cho bất kỳ người nào, tổ chức nào hay tập đoàn nào về trách nhiệm tuân thủ các quy định pháp luật khác.

Tiêu chuẩn này không nhằm đưa ra các yêu cầu đối với các tuabin gió được lắp đặt ngoài khơi, đặc biệt đối với các kết cấu đỡ.

Bộ Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 10687, *Tuabin gió* được xây dựng trên cơ sở chấp nhận hoàn toàn IEC 61400 do Ban kỹ thuật Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* xây dựng. Bộ TCVN 10687 (IEC 61400) hiện đã có các tiêu chuẩn sau:

- 1) TCVN 10687-1:2015 (IEC 61400-1:2014), Tuabin gió – Phần 1: Yêu cầu thiết kế
- 2) TCVN 10687-24:2015 (IEC 61400-24:2010), Tuabin gió – Phần 24: Bảo vệ chống sét

Ngoài ra bộ tiêu chuẩn IEC 61400 còn có các tiêu chuẩn sau:

- 1) IEC 61400:2015, Wind turbines
- 2) IEC 61400-2:2013, Wind turbines - Part 2: Small wind turbines
- 3) IEC 61400-3:2009, Wind turbines - Part 3: Design requirements for offshore wind turbines
- 4) IEC 61400-4:2012, Wind turbines - Part 4: Design requirements for wind turbine gearboxes
- 5) IEC 61400-11:2012, Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques
- 6) IEC 61400-12-1:2005, Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines
- 7) IEC 61400-12-2:2013, Wind turbines - Part 12-2: Power performance of electricity-producing wind turbines based on nacelle anemometry
- 8) IEC TS 61400-13:2001, Wind turbine generator systems - Part 13: Measurement of mechanical loads
- 9) IEC TS 61400-14:2005, Wind turbines - Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values
- 10) IEC 61400-21:2008, Wind turbines - Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines
- 11) IEC 61400-22:2010, Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification

TCVN 10687-24:2015

- 12) IEC 61400-23:2014, Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades
- 13) IEC 61400-25-1:2006, Wind turbines - Part 25-1: Communications for monitoring and control of wind power plants - Overall description of principles and models
- 14) IEC 61400-25-2:2015, Wind turbines - Part 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models
- 15) IEC 61400-25-3:2015, Wind turbines - Part 25-3: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information exchange models
- 16) IEC 61400-25-4:2008, Wind turbines - Part 25-4: Communications for monitoring and control of wind power plants - Mapping to communication profile
- 17) IEC 61400-25-5:2006, Wind turbines - Part 25-5: Communications for monitoring and control of wind power plants - Conformance testing
- 18) IEC 61400-25-6:2010, Wind turbines - Part 25-6: Communications for monitoring and control of wind power plants - Logical node classes and data classes for condition monitoring
- 19) IEC 61400-26-1:2011, Wind turbines - Part 26-1: Time-based availability for wind turbine generating systems
- 20) IEC 61400-26-2:2014, Wind turbines - Part 26-2: Production-based availability for wind turbines
- 21) IEC 61400-27-1:2015, Wind turbines - Part 27-1: Electrical simulation models - Wind turbines

Tuabin gió –

Phần 24: Bảo vệ chống sét

Wind turbines –

Part 24: Lightning protection

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này áp dụng cho bảo vệ chống sét của máy phát điện bằng tuabin gió và hệ thống điện gió.

Tài liệu viện dẫn được thực hiện cho các tiêu chuẩn chung của bảo vệ chống sét, hệ thống điện hạ áp và hệ thống điện cao áp cho máy móc và hệ thống lắp đặt và tương thích điện từ (EMC).

Tiêu chuẩn này xác định môi trường sét cho các tuabin gió và ứng dụng môi trường trong việc đánh giá rủi ro đối với tuabin gió. Tiêu chuẩn này xác định các yêu cầu bảo vệ các cánh, các thành phần kết cấu khác và các hệ thống điện và điều khiển chống các tác động trực tiếp và gián tiếp của sét. Tiêu chuẩn này cũng khuyến cáo các phương pháp thử nghiệm sự phù hợp.

Tiêu chuẩn này đưa ra hướng dẫn sử dụng các tiêu chuẩn bảo vệ chống sét, tiêu chuẩn điện công nghiệp và tiêu chuẩn EMC kể cả nối đất; hướng dẫn về an toàn cho con người và hướng dẫn thống kê hư hại và báo cáo.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố, áp dụng bản được nêu. Đối với tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất (bao gồm cả các sửa đổi).

TCVN 6099-1:2007 (IEC 60060-1:1989), *Kỹ thuật thử nghiệm cao áp – Phần 1: Định nghĩa chung và các yêu cầu thử nghiệm.*

TCVN 7447-4-44 (IEC 60364-4-44), *Hệ thống lắp đặt điện hạ áp – Phần 4-44: Bảo vệ an toàn – Bảo vệ chống nhiễu điện áp và nhiễu điện từ*

TCVN 7447-5-53:2005 (IEC 60364-5-53:2001), *Hệ thống lắp đặt điện của tòa nhà – Phần 5-53: Lựa chọn và lắp đặt thiết bị điện – Cách ly, đóng cắt và điều khiển*

TCVN 7699 (IEC 60068) (*tất cả các phần*), *Thử nghiệm môi trường*

TCVN 10687-24:2015

TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), *Ảnh hưởng của dòng điện lên người và gia súc – Phần 1: Khía cạnh chung*

TCVN 9621-4 (IEC 60479-4), *Ảnh hưởng của dòng điện lên người và gia súc – Phần 4: Ảnh hưởng của sét*

TCVN 9630-1 (IEC 60243-1), *Độ bền điện của vật liệu cách điện – Phương pháp thử – Phần 1: Thử nghiệm ở tần số công nghiệp*

TCVN 9630-3 (IEC 60243-3), *Độ bền điện của vật liệu cách điện – Phương pháp thử – Phần 3: Yêu cầu bổ sung đối với các thử nghiệm xung 1,2/50 μ s*

IEC 60071 (tất cả các phần), *Insulation co-ordination (Phối hợp cách điện)*

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide (Phối hợp cách điện – Phần 2: Hướng dẫn áp dụng)*

IEC 60099-4, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems (Bộ chống sét – Phần 4: Bộ bảo vệ chống sét oxit kim loại không có khe hở cho các hệ thống điện xoay chiều)*

IEC 60099-5, *Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations (Bộ chống sét – Phần 5: Các đề xuất lựa chọn và áp dụng)*

IEC 60204-1, *Safety of machinery - Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements (An toàn máy – Thiết bị điện của máy – Phần 1: Yêu cầu chung)*

IEC 60204-11, *Safety of machinery - Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV (An toàn máy – Thiết bị điện của máy – Phần 11: Các yêu cầu cho thiết bị cao áp đối với điện áp trên 1 000 V xoay chiều hoặc 1 500 V một chiều nhưng không vượt quá 36 kV)*

IEC 60464-2, *Varnishes used for electrical insulation – Part 2: Methods of test (Véc ni được sử dụng để cách điện – Phần 2: Phương pháp thử nghiệm)*

IEC 60587, *Electrical insulating materials used under severe ambient conditions - Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion (Vật liệu cách điện được sử dụng trong nhiều điều kiện môi trường xung quanh – Các phương pháp thử nghiệm để đánh giá độ bền đối với dò điện và ăn mòn)*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests (Phối hợp cách điện dùng cho thiết bị trong hệ thống điện hạ áp – Phần 1: Nguyên lý, yêu cầu và thử nghiệm)*

IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 4-5: Kỹ thuật thử nghiệm và đo lường – Thử nghiệm miễn nhiễm đột biến điện)*

IEC/TR 61000-5-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines - Section 2: Earthing and cabling (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 5: Các chỉ dẫn lắp đặt và giảm nhẹ – Mục 2: Nối đất và nối cáp)*

IEC/TS 61400-23, *Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades (Tuabin gió – Phần 23: Thử nghiệm kết cấu thực tế cho các cánh roto)*

IEC 61643-1, *Low-voltage surge protective devices - Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests (Thiết bị bảo vệ đột biến điện hạ áp – Phần 1: Thiết bị bảo vệ đột biến điện được nối với hệ thống phân phối công suất hạ áp – Yêu cầu và thử nghiệm)*

IEC 61643-12, *Low-voltage surge protective devices - Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and application principles (Thiết bị bảo vệ chống đột biến điện hạ áp – Phần 12: Thiết bị bảo vệ chống đột biến điện được nối với hệ thống phân phối điện hạ áp – Nguyên tắc lựa chọn và áp dụng)*

IEC 61643-21, *Low voltage surge protective devices - Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Performance requirements and testing methods (Thiết bị bảo vệ chống đột biến điện hạ áp – Phần 21: Thiết bị bảo vệ chống đột biến điện được nối với mạng viễn thông và tín hiệu – Yêu cầu tính năng và các phương pháp thử)*

IEC 61643-22, *Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles (Thiết bị bảo vệ chống đột biến điện hạ áp – Phần 22: Thiết bị bảo vệ chống đột biến điện được nối với mạng viễn thông và tín hiệu – Nguyên tắc lựa chọn và áp dụng)*

IEC 62153-4-3, *Metallic communication cable test methods - Part 4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) - Surface transfer impedance - Triaxial method (Phương pháp thử nghiệm cáp thông tin bằng kim loại – Phần 4-3: Tương thích điện từ (EMC) – Trở kháng truyền bề mặt – Phương pháp ba trục)*

IEC 62305-1:2006, *Protection against lightning - Part 1: General principles (Bảo vệ chống sét – Phần 1: Nguyên lý chung)*

IEC 62305-2:2006¹, *Protection against lightning - Part 2: Risk management (Bảo vệ chống sét – Phần 2: Quản lý rủi ro)*

IEC 62305-3:2006², *Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard (Bảo vệ chống sét – Phần 3: Thiệt hại vật chất cho kết cấu và nguy hiểm sự sống)*

IEC 62305-4:2006³, *Protection against lightning - Part 4: Electrical and electronic systems within structures (Bảo vệ chống sét – Phần 4: Các hệ thống điện và điện tử có trong các kết cấu)*

¹ Đã có TCVN 9888-2:2013 hoàn toàn tương đương với IEC 62305-2:2010.

² Đã có TCVN 9888-3:2013 hoàn toàn tương đương với IEC 62305-3:2010.

TCVN 10687-24:2015

EN 50164-1, *Lightning Protection Components (LPC) – Part 1: Requirements for connection components (Các thành phần bảo vệ chống sét (LPC) – Phần 1: Yêu cầu đối với các thành phần kết nối)*

CLC HD 637 S1, *Power installations exceeding 1 kV A.C. (Hệ thống lắp đặt điện xoay chiều vượt quá 1 kV)*

ITU-T K.2, *Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents (Khả năng chịu quá điện áp và quá dòng của thiết bị viễn thông được lắp đặt trong trung tâm viễn thông)*

ITU-T K.21, *Resistibility of telecommunications equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents (Khả năng chịu quá điện áp và quá dòng của thiết bị viễn thông được lắp đặt trong các tòa nhà của khách hàng)*

ITU-T K.46, *Protection of telecommunication lines using metallic symmetric conductors against lightning-induced surges (Bảo vệ đường dây viễn thông sử dụng dây dẫn kim loại đối xứng khỏi các đột biến điện do sét gây ra)*

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này, áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau.

3.1

Hệ thống đầu thu sét (air-termination system)

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

3.2

Độ dốc trung bình sườn trước dòng điện cú sét ngắn (average steepness of the front of short stroke current)

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

CHÚ THÍCH: Độ dốc này 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 trong khoảng thời gian này, chia cho khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ (xem Hình A.3).

3.3

Thanh liên kết (bonding bar)

Thanh kim loại trên đó hệ thống lắp đặt bằng kim loại, các phần dẫn bên ngoài, đường dây điện, đường dây thông tin và các cáp khác có thể được nối liên kết với LPS.

³ Đã có TCVN 9888-4:2013 hoàn toàn tương đương với IEC 62305-4:2010.

3.4

Diện tích thu sét (collection area)

A_d

Đối với mỗi kết cấu, diện tích mặt đất có cùng tần suất của chùm sét đánh trực tiếp hàng năm với kết cấu.

3.5

Tiên đạo sét tiếp nối (connecting leader)

Tiên đạo sét phát triển từ một kết cấu là đáp ứng với điện trường bên ngoài bị khống chế hoặc bởi một đám mây tích điện trên không hoặc bởi một tiên đạo dẫn xuống tiếp cận kết cấu.

3.6

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.

3.7

Bảo vệ SPD phối hợp (coordinated SPD protection)

Các SPD được lựa chọn, kết hợp và lắp đặt thích hợp làm giảm hỏng hóc các hệ thống điện và điện tử.

CHÚ THÍCH: Phối hợp bảo vệ SPD phải có các mạch kết nối để cung cấp phối hợp cách điện cho hệ thống hoàn chỉnh.

3.8

Hệ thống dẫn sét (down-conductor system)

Bộ phận của LPS bên ngoài dùng để dẫn dòng điện sét từ hệ thống đầu thu sét xuống hệ thống đầu thu sét.

3.9

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 ngắn ban đầu, có thể có một chuỗi xung ngắn tiếp theo và có thể bao gồm cú sét dài.

3.10

Điện cực đất (earth electrode)

Phần hoặc nhóm các phần của hệ thống đầu thu sét cung cấp tiếp xúc điện trực tiếp và phân tán dòng điện trực tiếp xuống đất.

TCVN 10687-24:2015

3.11

Hệ thống đầu thu sét (earth-termination system)

Bộ phận của LPS bên ngoài được thiết kế để dẫn và phân tán dòng điện sét xuống đất.

3.12

Chiều cao hiệu dụng (effective height)

H

Điểm cao nhất của bán kính cánh, đối với một tuabin gió, nghĩa là chiều cao hub cộng với bán kính roto.

3.13

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 dây dẫn sét và hệ thống đầu thu sét.

CHÚ THÍCH: Dây dẫn sét thường đặt bên trong các cánh của tuabin gió.

3.14

Điện tích sét (flash charge)

Q_{flash}

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

3.15

Điện cực đất móng (foundation earth electrode)

Phần cốt thép của móng tòa nhà hoặc phần dẫn điện bổ sung được gắn vào móng bê tông của một kết cấu và được sử dụng như một điện cực đất.

3.16

Mật độ sét đánh xuống đất (ground flash density)

N_g

Số chùm sét đánh trên mỗi kilo mét vuông trong một năm trong vùng đặt kết cấu.

3.17

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 sét và/hoặc cách điện của hệ thống bảo vệ chống sét bên ngoài.

CHÚ THÍCH: Phù hợp với khoảng cách ly và giảm các hiệu ứng điện từ của dòng điện sét trong kết cấu cần bảo vệ có thể được coi là các bộ phận của hệ thống bảo vệ chống sét bên trong.

3.18

Hiệu suất chặn (interception efficiency)

Xác suất chặn sét mà hệ thống đầu thu sét của LPS có thể thực hiện.

3.19

Điểm tiếp nối tiên đạo sét (leader connection point)

Đặt trong khe hở không khí giữa đối tượng thử nghiệm và điện cực cao áp ở đó các tiên đạo sét âm và dương gặp nhau và bắt đầu phóng điện.

3.20

Hệ thống biện pháp bảo vệ xung sét điện từ (LEMP protection measures system)

LPMS

Hệ thống các biện pháp bảo vệ hoàn chỉnh cho các hệ thống bên trong chống LEMP.

3.21

Dòng điện sét (lightning current)

i

Dòng điện tại điểm sét đánh.

3.22

Xung sét điện từ (lightning electromagnetic impulse)

LEMP

Tất cả các hiệu ứng điện từ của dòng điện sét

CHÚ THÍCH: LEMP bao gồm các đột biến dẫn cũng như các hiệu ứng trường điện từ xung bức xạ.

3.23

Liên kết đẳng thế chống sét (lightning equipotential bonding)

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.

3.24

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

Sét đánh tới một kết cấu cần bảo vệ.

3.25

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.

CHÚ THÍCH: Một chùm sét âm làm giảm điện tích âm từ mây dông xuống đất. Một chùm sét dương dẫn đến điện tích dương được truyền từ mây dông xuống đất.

TCVN 10687-24:2015

3.26

Mức bảo vệ chống sét (lightning protection level)

LPL

Số liên quan đến một tập các giá trị tham số dòng điện sét có liên quan đến xác suất mà 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 bộ các tham số dòng điện sét liên quan.

3.27

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 này bao gồm hệ thống bảo vệ chống sét bên trong và bên ngoài.

3.28

Vùng bảo vệ chống sét (lightning protection zone)

LPZ

Khu vực mà trong đó môi trường sét điện từ được xác định

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

3.29

Cú sét (lightning stroke)

Phóng điện đơn nằm trong chùm sét đánh xuống đất.

3.30

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.4).

3.31

Màn chắn từ (magnetic shield)

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

CHÚ THÍCH: Hiệu ứng bảo vệ của màn chắn từ đạt được nhờ sự suy giảm trường từ.

3.32

Hệ thống lắp đặt bằng kim loại (metal installations)

Các hạng mục bằng kim loại kéo dài trong kết cấu cần bảo vệ có thể tạo thành tuyến dẫn dòng điện sét như đế vỏ động cơ, dây và ray dẫn hướng của cơ cấu nâng, thang, bộ máy và cốt thép được nối liên kết.

3.33**Cú sét chùm (multiple strokes)**

Sét có trung bình từ 3 đến 4 cú sét.

Khoảng thời gian điển hình giữa các cú sét cỡ 50 ms.

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

3.34**Thành phần tự nhiên của hệ thống LPS (natural component of LPS)**

Thành phần dẫn điện được lắp đặt không phải dùng riêng cho bảo vệ chống sét mà có thể được sử dụng bổ sung cho LPS hoặc trong một số trường hợp có thể cung cấp chức năng của một hoặc nhiều bộ phận của LPS.

CHÚ THÍCH: Ví dụ về việc sử dụng mục này bao gồm:

- đầu thu sét tự nhiên;
- đầu dẫn sét tự nhiên;
- điện cực đất tự nhiên.

3.35**Số lượng trường hợp nguy hiểm do sét đánh vào kết cấu (number of dangerous events due to flashes to a structure)**

N_d

Số lượng trường hợp nguy hiểm dự kiến trung bình hàng năm do sét đánh vào kết cấu.

3.36**Giá trị đỉnh (peak value)**

I

Giá trị lớn nhất của dòng điện sét

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

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

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

3.38**Đầu thu (receptor)**

Một dạng của đầu thu sét trên các cánh tuabin gió, như các đỉnh tán riêng lẻ bằng kim loại xuyên qua bề mặt cánh được nối đến hệ thống dây dẫn sét

TCVN 10687-24:2015

3.39

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 của kết cấu cần bảo vệ (về người và hàng hóa).

3.40

Khoảng cách ly (separation distance)

Khoảng cách giữa hai phần dẫn mà tại đó không thể đánh tia lửa điện nguy hiểm.

3.41

Đường dây cung cấp (service line)

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

3.42

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 một nửa thường nhỏ hơn 2ms (xem Hình A.3).

3.43

SPD được thử nghiệm với I_{imp} (SPD tested with I_{imp})

SPD chịu được dòng điện sét cục bộ với dạng sóng điển hình 10/350 μ s và đòi hỏi dòng điện thử nghiệm xung I_{imp} .

CHÚ THÍCH: Đối với đường dây tải điện, dòng điện thử nghiệm thích hợp I_{imp} được xác định trong quy trình thử nghiệm Cấp 1 của IEC 61643-1.

3.44

SPD được thử nghiệm với I_n (SPD tested with I_n)

SPD chịu được dòng điện đột biến cảm ứng với dạng sóng điển hình 8/20 μ s và đòi hỏi dòng điện thử xung tương ứng I_n .

CHÚ THÍCH: Đối với đường dây tải điện, dòng điện thử nghiệm thích hợp I_n được xác định trong quy trình thử nghiệm Cấp 2 của IEC 61643-1.

3.45

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.

3.46**Đột biến (surge)**

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

CHÚ THÍCH 1: Đột biến do xung sét điện từ LEMP có thể phát sinh từ dòng điện sét (một phần), từ các hiệu ứng cảm ứng trong các vòng dây lắp đặt và khi đột biến còn lại hướng xuống của SPD.

CHÚ THÍCH 2: Đột biến có thể phát sinh từ các nguồn khác như theo tác động cắt hoặc tác động của cầu chì.

3.47**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.

Thiết bị này chứa tối thiểu một thành phần phi tuyến.

3.48**Số ngày dông bão (thunderstorm days)** **T_d**

Số ngày dông bão hàng năm thu được từ bản đồ Isokeraunic

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

Giá trị rủi ro tối đa mà được cho phép với kết cấu được bảo vệ.

3.50**Sét hướng lên (upward flash)**

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

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

3.51**Mức bảo vệ điện áp (voltage protection level)** **U_p**

Tham số đặc trưng cho tính năng của SPD nhằm giới hạn điện áp đặt trên các đầu nối được chọn từ một loạt các giá trị ưu tiên.

Giá trị này phải lớn hơn giá trị lớn nhất của điện áp giới hạn đo được.

4 Ký hiệu và đơn vị

A_d Diện tích thu sét đánh vào kết cấu được cách ly

A_i Diện tích thu sét đánh vào đường dây

A_l Diện tích thu sét đánh gần đường dây

TCVN 10687-24:2015

A_m	Diện tích ảnh hưởng đối với sét đánh gần kết cấu
C_s	Nhiệt ẩn nóng chảy
C_t	Tổng giá trị của kết cấu, quy ra tiền
C_w	Dung lượng nhiệt
C	Giá trị trung bình của tổn thất có thể xảy ra
C_e	Hệ số môi trường
C_d	Hệ số vị trí
C_t	Hệ số hiệu chỉnh cho một biến áp HV/LV trên đường dây
D1	Tổn thương sinh vật
D2	Thiệt hại vật chất
D3	Hỏng các hệ thống điện và điện tử
h_z	Hệ số tăng tổn thất khi có nguy hiểm đặc biệt
i	Dòng điện
I	Dòng điện đỉnh
I_n	Dòng điện thử nghiệm danh nghĩa; dòng phóng điện
I_t	Dòng điện trong vỏ cáp
I_{imp}	Dòng điện thử nghiệm xung
di/dt	Đạo hàm theo thời gian của dòng điện, độ dốc trung bình
$di/dt_{30/90\%}$	Độ dốc dòng điện giữa các điểm 30 % và 90 % biên độ đỉnh trên sườn trước
L_A	Tổn thất liên quan đến tổn thương sinh vật
L_B	Tổn thất trong một kết cấu liên quan đến thiệt hại vật chất (sét đánh vào kết cấu)
L_C	Tổn thất liên quan đến hỏng hóc các hệ thống bên trong (sét đánh vào đường dây)
L_M	Tổn thất liên quan đến hỏng hóc các hệ thống bên trong (sét đánh gần đường dây)
L_U	Tổn thất liên quan đến tổn thương sinh vật (sét đánh vào đường dây)
L_V	Tổn thất trong kết cấu do thiệt hại vật chất (sét đánh vào đường dây)
L_W	Tổn thất liên quan đến hỏng các hệ thống bên trong (sét đánh vào đường dây)
L_I	Tổn thất làm tổn thương do điện áp bước và điện áp chạm
L_o	Tổn thất do thiệt hại vật chất
L_t	Tổn thất do hỏng các hệ thống bên trong

L_x	Tổng tổn thất đối với thành phần x
L_z	Tổn thất liên quan đến hỏng các hệ thống bên trong (sét đánh gần đường dây)
L_1	Tổn thất chết người trong một kết cấu
L_2	Tổn thất dịch vụ công cộng trong kết cấu
L_3	Tổn thất di sản văn hóa trong kết cấu
L_4	Tổn thất giá trị kinh tế trong kết cấu
n_p	Số người có khả năng bị đe dọa (nạn nhân)
n_t	Tổng số người chịu tác động hiện có trong kết cấu
N_D	Số lượng trường hợp nguy hiểm do sét đánh vào kết cấu hàng năm
N_x	Số lượng trường hợp nguy hiểm đối với thành phần x hàng năm
N_d	Số lần sét đánh gần kết cấu hàng năm
N_M	Số lần sét đánh vào kết cấu hàng năm
N_L	Số lần sét đánh vào đường dây cung cấp hàng năm
N_I	Số lần sét đánh gần đường dây cung cấp hàng năm
$N_{d,x}$	Số lần sét đánh vào kết cấu tại đầu "x" của đường dây cung cấp hàng năm
N_g	Mật độ sét đánh xuống đất hàng năm
P_A	Xác suất sét đánh vào kết cấu sẽ gây điện giật cho sinh vật
P_B	Xác suất sét đánh vào kết cấu sẽ gây thiệt hại vật chất
P_C	Xác suất hỏng hệ thống bên trong do sét đánh vào kết cấu
P_{LD}	Xác suất sét đánh vào đường dây sẽ gây hỏng hệ thống bên trong
P_{LI}	Xác suất sét đánh gần đường dây sẽ gây hỏng hệ thống bên trong
P_M	Xác suất sét đánh gần kết cấu sẽ gây hỏng hệ thống bên trong
P_{SPD}	Xác suất hỏng hệ thống bên trong dựa vào việc áp dụng SPD bảo vệ
P_U	Xác suất sét đánh vào đường dây sẽ gây tổn thương sinh vật
P_V	Xác suất sét đánh vào đường dây sẽ gây thiệt hại vật chất
P_W	Xác suất sét đánh vào đường dây sẽ gây hỏng hệ thống bên trong
P_x	Xác suất thiệt hại cho kết cấu x
P_z	Xác suất sét đánh gần đường dây sẽ gây hỏng hệ thống bên trong
r_a	Hệ số suy giảm kết hợp với loại đất bề mặt

TCVN 10687-24:2015

r_f	Hệ số giảm tổn thất do thiệt hại vật chất phụ thuộc vào rủi ro cháy
r_p	Hệ số giảm tổn thất do thiệt hại vật chất phụ thuộc vào việc thực hiện các biện pháp dự phòng
r_u	Hệ số giảm tổn thất chết người phụ thuộc vào kiểu sàn nhà
R	Rủi ro
R	Bán kính quả cầu lửa
R_S	Điện trở vỏ cáp trên mỗi đơn vị chiều dài
R_T	Rủi ro cho phép
R_x	Thành phần rủi ro x
S	Khoảng cách giữa các thanh nối đất
t_p	Số giờ mỗi năm con người có mặt ở nơi nguy hiểm
t hoặc T	Thời gian
Δt	Khoảng thời gian
t_x	Tham số thời gian
t_{long}	Khoảng thời gian của cú sét dài
T_d	Số ngày mưa dông
u_a, u_c	Điện áp rơi trên anốt hoặc catốt
U_C	Hiệu điện thế giữa vỏ và các lõi cáp
U_w	Điện áp chịu xung
U_p	Mức bảo vệ điện áp
Q	Điện tích dòng điện sét
Q_{flash}	Điện tích sét
Q_{short}	Điện tích cú sét ngắn
Q_{long}	Điện tích cú sét dài
W/R	Năng lượng riêng
Z_T	Trở kháng truyền
α	Hệ số nhiệt độ của trở kháng (1/K)
γ	Mật độ vật liệu
μ_0	Độ từ thẩm của không khí (chân không)

Φ	Từ thông
ρ	Điện trở suất
ρ_0	Điện trở thuần riêng ở nhiệt độ môi trường
θ	Nhiệt độ
θ_0	Nhiệt độ ban đầu
θ_s	Nhiệt độ nóng chảy
θ_u	Nhiệt độ môi trường
A	Ampe
kA	Kilo ampe
C	Cu lông
°C	độ Celsius
H	Henry
K	Kelvin
S	Siemens
G	Gam
kg	Kilo gam
MJ	Mega Jun
μm	Micro mét
mm	Mini mét
cm	Xăng ti mét
m	Mét
km	Kilô mét
ms	Mini giây
Ω	Ôm
S	Giây
μs	Micro giây
V	Vôn
Wb	Webe

5 Các từ viết tắt

LPS	Lightning protection system – Hệ thống bảo vệ chống sét
LPL	Lightning protection level – Cấp bảo vệ chống sét
LPZ	Lightning protection zone – Vùng bảo vệ chống sét
LEMP	Lightning electromagnetic impulse – Xung sét điện từ
LPMS	Lightning protection measures system – Hệ thống các biện pháp bảo vệ chống sét
SEMP	Switching electromagnetic impulse – Xung điện từ chuyển mạch
SPD	Surge protective device – Thiết bị bảo vệ chống đột biến
PE	Protective earth – Đất bảo vệ
OCPD	Overcurrent protection device – Thiết bị bảo vệ chống quá dòng
QA	Quality assurance system – Hệ thống bảo đảm chất lượng
GFRP	Glass fibre reinforced plastic – Nhựa được gia cố bằng sợi thủy tinh
CFRP	Carbon fibre reinforced plastic – Nhựa được gia cố bằng sợi các bon
CFC	Carbon fibre composite – Hợp chất sợi các bon

6 Môi trường sét của tuabin gió

6.1 Qui định chung

Môi trường sét của tuabin gió dưới dạng các giá trị tham số dòng điện sét được sử dụng để đánh giá kích thước, phân tích và thử nghiệm hệ thống bảo vệ chống sét nêu trong IEC 62305-1.

Thông tin thảo luận về hiện tượng sét liên quan đến tuabin gió được nêu trong Phụ lục A.

6.2 Tham số dòng điện sét và mức bảo vệ chống sét (LPL)

IEC 62305-1 đưa ra bốn mức bảo vệ chống sét (từ I đến IV). Đối với mỗi mức LPL, xác định được một bộ các tham số dòng điện sét tối đa và tối thiểu.

Giá trị tham số dòng điện sét tối đa liên quan đến mức LPL I sẽ không bị vượt quá với xác suất 99 %. Giá trị tham số dòng điện sét tối đa liên quan đến mức LPL I được giảm xuống còn 75 % đối với mức LPL II và còn 50 % đối với mức LPL III và IV (tuyến tính đối với các tham số I, Q và di/dt, nhưng bậc hai đối với tham số W/R). Các tham số thời gian không thay đổi.

Bảng 1– Các giá trị tối đa của các tham số sét theo mức bảo vệ LPL (Bảng 3 trong IEC 62305-1)

Cú sét 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	WR	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Các tham số thời gian	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10/350			
Cú sét 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			
Cú sét ngắn tiếp theo ^a			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.

Giá trị tối đa của tham số dòng điện sét đối với các mức bảo vệ chống sét khác nhau được cho trong Bảng 1 và được sử dụng để thiết kế các thành phần bảo vệ chống sét (như tiết diện dây dẫn, độ dày của các tấm kim loại, khả năng mang dòng của SPD, khoảng cách ly chống đánh tia lửa nguy hiểm) và xác định các tham số thử nghiệm mô phỏng các hiệu ứng của sét lên các thành phần này (xem Phụ lục D và IEC 62305-1).

TCVN 10687-24:2015

CHÚ THÍCH: Đối với các tuabin gió đặt trong các khu vực địa lý nhất định, nơi chúng chịu số lượng lớn sét hướng lên, đặc biệt trong mùa đông, có thể liên quan đến việc tăng độ bền yêu cầu của các hệ thống đầu thu sét (ví dụ các bộ thu) theo diện tích sét hơn là mức bảo vệ chống sét I, $Q_{nash} = 300 C$, vì tham số này quyết định độ mòn (nóng chảy) của vật liệu và do đó ảnh hưởng đến nhu cầu bảo trì hệ thống đầu thu sét.

Giá trị biên độ dòng điện sét tối thiểu đối với các mức LPL khác nhau được sử dụng để suy ra bán kính quả cầu lăn nhằm xác định vùng bảo vệ chống sét LPZ 0_B, mà không phải chịu tác động kèm theo sét. Giá trị tham số dòng điện sét tối thiểu cùng với bán kính quả cầu lăn liên quan được cho trong Bảng 2. Các giá trị này được sử dụng để định vị hệ thống đầu thu sét và để xác định vùng bảo vệ chống sét LPZ 0_B.

Bảng 2 – Các giá trị tối thiểu của tham số sét và bán kính quả cầu lăn ứng với mức bảo vệ LPL
(Bảng 4 trong IEC 62305-1)

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

7 Đánh giá tác động với sét

7.1 Qui định chung

Các tuabin gió có kết cấu cao và thường được đặt theo cách mà chúng phải chịu tác động lớn của sét. Từ lâu tuabin gió đã được nhận biết là thường cần được bảo vệ chống sét để giảm tổn thất kinh tế do hỏng và tổn thất doanh thu, để bảo vệ chống nguy hiểm cho sinh vật (chủ yếu là nhân viên vận hành) và để giảm yêu cầu bảo dưỡng.

Thiết kế của hệ thống bảo vệ chống sét bất kỳ phải tính đến rủi ro do sét đánh vào và/hoặc gây hỏng kết cấu đang xét. Sét gây thiệt hại cho tuabin gió không được bảo vệ có thể ở dạng hỏng cánh, các bộ phận cơ khí và các hệ thống điện và điều khiển. Hơn nữa, con người ở trong và xung quanh tuabin gió chịu các nguy hiểm do điện áp bước/điện áp chạm hoặc nổ và cháy do sét gây ra.

Mục tiêu của hệ thống bảo vệ chống sét bất kỳ là giảm các nguy cơ về mức cho phép R_T . Mức cho phép dựa trên rủi ro có thể chấp nhận nếu liên quan đến an toàn cho con người. Nếu rủi ro thấp hơn mức chấp nhận được cho con người thì nhu cầu bảo vệ hơn nữa có thể dựa trên một phân tích kinh tế thuần túy, mà được thực hiện bằng cách đánh giá các chi phí hệ thống bảo vệ chống sét đối với chi phí thiệt hại mà nó sẽ ngăn chặn.

Trách nhiệm của các cơ quan có thẩm quyền là xác định giá trị rủi ro cho phép. Một giá trị đại diện của rủi ro cho phép R_T , khi sét liên quan đến tổn thất chết người hoặc thương tích vĩnh viễn là 10^{-5} năm⁻¹.

CHÚ THÍCH: Các giá trị rủi ro cho phép được nêu trong IEC 62305-2, Bảng 7.

Rủi ro do sét đánh gắn với kết cấu bất kỳ là hàm theo chiều cao của kết cấu, địa hình và mức độ hoạt động của sét tại địa phương. Rủi ro liên quan đến sét có thể được đánh giá chi tiết theo IEC 62305-2. Tuy nhiên, quy trình mô tả trong đó khá tỷ mỉ, chỉ dẫn được đưa ra ở đây về cách thực hiện đánh giá tác động sét đơn giản cho tuabin gió riêng, và cách mở rộng cho các nhóm tuabin gió và các trang trại gió.

Thông tin về các điều kiện sét địa phương phải được thu thập bất cứ khi nào có thể (như ở các cao độ nơi mùa đông sét có thể gây ra mối đe dọa đặc biệt).

Như một lời cảnh báo, cách đánh giá rủi ro như vậy sẽ không bao giờ chính xác hơn thông tin được đưa vào tính toán, và hơn nữa, vì việc đánh giá mang tính xác suất, do thông tin xuất hiện sét là các trung bình thống kê, và vì bản thân sét là ngẫu nhiên trong tự nhiên, nên người sử dụng không nên mong đợi một dự báo ngắn hạn chính xác về số lượng trường hợp sét đối với tuabin gió hoặc trang trại gió riêng lẻ. Tuy nhiên, thực hiện đánh giá rủi ro có thể đánh giá việc giảm thiểu rủi ro đạt được bằng cách áp dụng bảo vệ chống sét và ví dụ sẽ cho phép so sánh rủi ro đối với các dự án tuabin gió khác nhau. Thông tin chi tiết hơn được cung cấp trong Phụ lục B.

7.2 Đánh giá tần suất sét ảnh hưởng đến tuabin gió

Giai đoạn đầu tiên trong phân tích rủi ro sét là ước lượng tần suất sét đánh vào tuabin gió. IEC 62305-2 đưa ra chỉ dẫn về cách có thể ước tính con số này. Khi đánh giá tần suất sét đánh vào kết cấu, cần thiết thu thập dữ liệu chi tiết về mật độ đánh xuống đất tại địa phương (N_g). Các tổ chức quốc gia như cơ quan dự báo thời tiết có thể có khả năng cung cấp thông tin này. Nếu không có sẵn mật độ sét đánh xuống đất, có thể được ước tính bằng cách sử dụng mối quan hệ sau:

$$N_g \approx 0,1 T_d \quad (1)$$

trong đó:

N_g [$\text{km}^{-2}\text{-năm}^{-1}$] là mật độ đánh xuống đất trung bình hàng năm;

T_d [năm^{-1}] số ngày dông bão hàng năm thu được từ bản đồ isokeraunic (thường có sẵn từ cục thời tiết quốc gia)

Số lượng trường hợp nguy hiểm trung bình hàng năm có thể gây nguy hại đến tuabin gió có thể được tách thành:

N_D [năm^{-1}] do sét đánh vào tuabin gió;

N_M [năm^{-1}] do sét đánh gần tuabin gió (trong vòng 250 m);

N_L [năm^{-1}] do sét đánh vào đường dây cung cấp nối với tuabin gió, tức là cáp điện và cáp viễn thông nối với tuabin gió;

TCVN 10687-24:2015

N_i [năm⁻¹] do sét đánh gần đường dây cung cấp nối với tuabin gió, tức là cáp điện và cáp viễn thông nối với tuabin gió;

ND,b [năm⁻¹] do sét đánh vào tuabin gió hoặc kết cấu khác tại điểm "b" (khác) của đường dây cung cấp nối tới tuabin gió đang được đề cập

Tần suất sét đánh trung bình hàng năm vào tuabin gió có thể được đánh giá theo:

$$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

trong đó:

A_d [m²] là diện tích thu sét đánh vào kết cấu;

C_d hệ số môi trường.

Giá trị thích hợp là $C_d = 1$ đối với tuabin gió trên đất bằng phẳng và $C_d = 2$ đối với tuabin gió trên đồi hoặc sườn núi.

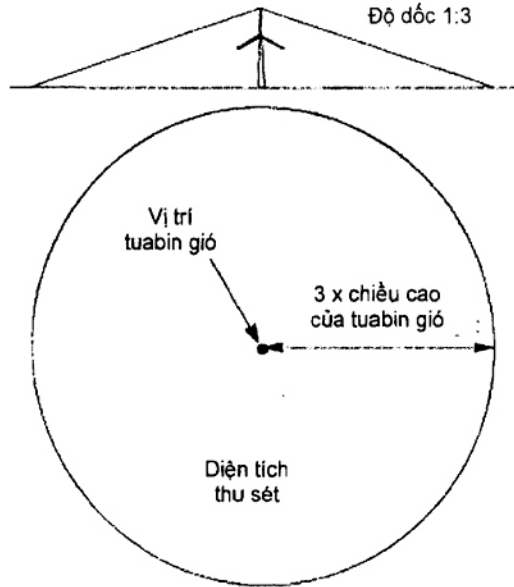
CHÚ THÍCH 1: Các tuabin gió được đặt ở những nơi được biết đến là chịu tác động rất lớn với sét nói chung hay sét đánh vào mùa đông nói riêng thì có thể chỉ định hệ số môi trường C_d cao hơn để xét đến sét hướng lên sẽ được kích hoạt trong các điều kiện như vậy.

CHÚ THÍCH 2: Các tuabin gió được đặt ngoài khơi có thể phải chỉ định hệ số môi trường C_d từ 3 đến 5 để có được ước lượng thực tế về tần suất sét đánh kèm theo.

Diện tích thu sét của một kết cấu được xác định là diện tích mặt đất mà có cùng tần suất sét đánh xuống đất hàng năm với kết cấu. Đối với các kết cấu cách ly, diện tích thu sét tương đương là diện tích bao quanh bởi đường biên giới thu được từ giao điểm giữa mặt đất và đường thẳng có độ dốc 1:3 tính từ các phần trên cùng của kết cấu (tiếp xúc tại đó) và quay xung quanh nó.

Các tuabin gió nên được mô hình hóa như một tháp có chiều cao bằng chiều cao hub cộng với bán kính rotor. Điều này được khuyến cáo cho tuabin gió có các kiểu cánh bất kỳ kể cả các cánh được làm từ vật liệu không dẫn điện như nhựa gia cố bằng sợi thủy tinh.

Hình 1 biểu diễn diện tích thu sét tạo ra từ một tuabin được đặt trên đất bằng phẳng. Rõ ràng đây là một vòng tròn có bán kính bằng ba lần chiều cao của tuabin.



Hình 1 – Diện tích thu sét của tuabin gió

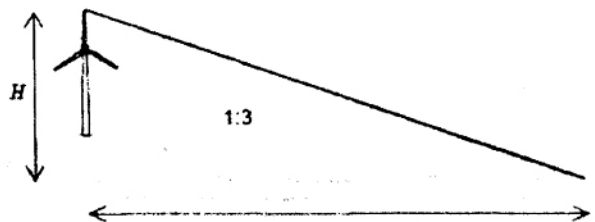
Do đó, có thể sử dụng công thức sau để ước lượng số lượng sét đánh hàng năm vào tuabin gió đặt trên đất bằng phẳng.

$$N_d = N_g \cdot A_d \cdot 10^{-6} = N_g \cdot 9\pi \cdot H^2 \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

trong đó:

H [m] chiều cao tuabin gió.

Với địa hình phức tạp hơn, cần xét đến chiều cao hiệu dụng của các tuabin gió gồm cả chiều cao vị trí tuabin gió, ví dụ nếu đặt trực tiếp trên đồi hay sườn núi (xem Hình 2). IEC 62305-2 cung cấp hướng dẫn cho các kết cấu trong địa hình phức tạp hoặc gần với các kết cấu khác.



Hình 2 – Chiều cao hiệu dụng, H , của tuabin gió đặt trên đồi

Hơn nữa, các tuabin gió có thể bị đe dọa do sét đánh gần tuabin gió:

$$N_M = N_g \cdot (A_m - A_d C_d) \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

TCVN 10687-24:2015

trong đó:

A_m [m²] diện tích thu sét đánh gần kết cấu, là diện tích trong phạm vi 250 m.

Khi áp dụng bảo vệ chống sét thích hợp cho một tuabin gió và các đường dây cung cấp nối tới nó, có thể giả thiết rằng việc bảo vệ cũng bao gồm bảo vệ chống hồng tuabin gió do sét đánh gần tuabin gió và do sét đánh gần đường dây cung cấp nối tới tuabin gió.

Tuabin gió lớn thường được nối với một hệ thống thu nhận cấp điện cao áp và cũng thường được nối với trung tâm kiểm soát bên ngoài qua đường dây viễn thông, cả hai đường dây cung cấp này có thể bị ảnh hưởng do sét đánh vào hoặc gần chúng (xem Hình 3). Trong trường hợp dây viễn thông là kết nối cáp quang (được khuyến cáo), rủi ro thiệt hại do sét tới đường dây viễn thông có thể được bỏ qua.

Số lượng sét đánh vào đường dây cung cấp nối với tuabin gió có thể được đánh giá theo IEC 62305-2, Phụ lục A như sau:

$$N_L = C_d \cdot C_t \cdot N_g \cdot A_t \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Và số lượng sét đánh gần đường dây cung cấp (nghĩa là đủ gần để tác động đến đường dây) có thể được đánh giá như sau:

$$N_I = C_e \cdot C_t \cdot N_g \cdot A_t \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

trong đó:

C_d hệ số vị trí: bằng 1 trong diện tích bằng phẳng và bằng 2 ở địa hình đồi núi ;

C_e hệ số môi trường, bằng 1 đối với các vùng nông thôn;

C_t hệ số biến áp;

A_t [m²] diện tích thu sét đánh vào đường dây cung cấp – xem Bảng 3;

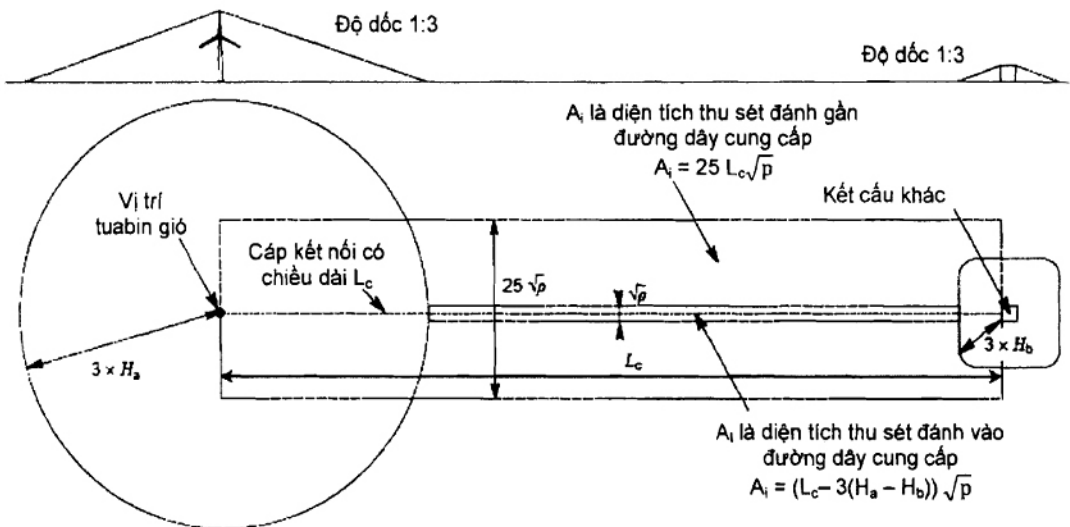
A_i [m²] diện tích thu sét đánh gần đường dây cung cấp – xem Bảng 3.

Hệ số biến áp $C_t = 1$ nếu không có biến áp nào giữa điểm sét đánh và tuabin gió, và $C_t = 0,2$ nếu có biến áp. Vì thường có một biến áp cao thế trong các tuabin gió lớn, có thể ước lượng $C_t = 0,2$ cho các loại cáp trung thế nối tuabin gió vào lưới điện (xem IEC 62305-2, Phụ lục A).

CHÚ THÍCH 3: $C_d=0$ cho các đường dây cung cấp dưới biển (các cáp cao thế và cáp viễn thông dưới biển).

Bảng 3 – Diện tích thu sét A_1 và A_i của đường dây cung cấp phụ thuộc vào hoặc trên không hoặc chôn ngầm (tương ứng theo Bảng A.3 trong IEC 62305-2)

	Trên không	Chôn ngầm
A_1	$(L_c - 3(H_a - H_b))6H_c$	$(L_c - 3(H_a - H_b))\sqrt{\rho}$
A_i	$1000 L_c$	$25 L_c\sqrt{\rho}$
L_c [m]	chiều dài của đường dây cung cấp từ tuabin gió tới kết cấu kế tiếp trên đường dây. Ước lượng giá trị tối đa là $L_c = 1000$ m.	
H_a [m]	chiều cao của tuabin gió được nối tới đầu "a" của đường dây cung cấp.	
H_b [m]	chiều cao của tuabin gió (hoặc của kết cấu khác) được nối tới đầu "b" của đường dây cung cấp.	
H_c [m]	chiều cao của các vật dẫn trên đường dây cung cấp so với mặt đất.	
ρ [Ω m]	điện trở suất của đất nơi chôn ngầm đường dây cung cấp. Ước lượng giá trị tối đa là $\rho = 500 \Omega$ m.	



Sét đánh bên trong diện tích hẹp A_1 dọc theo tuyến cáp có thể xuyên qua và ảnh hưởng trực tiếp đến cáp, trong khi sét đánh trong diện tích rộng hơn A_i có thể gây ra các quả độ và làm thủng cách điện cáp.

Hình 3 – Diện tích thu sét của tuabin gió có chiều cao H_a và kết cấu khác có chiều cao H_b được nối bằng cáp ngầm có chiều dài L_c

CHÚ THÍCH: Trong các trạng thái gió, diện tích thu sét của các tuabin gió lân cận có thể thường bị xếp chồng. Trong trường hợp như vậy, diện tích thu sét cần chia một cách đơn giản giữa các tuabin có đường dây dốc 1:3 từ đỉnh của các tuabin giao nhau.

7.3 Đánh giá rủi ro thiệt hại

7.3.1 Công thức cơ bản

Rủi ro do sét gây thiệt hại tới hệ thống lắp đặt tuabin gió và do đó gây tổn thất về tài chính có thể được xem là tổng của nhiều thành phần rủi ro. Mỗi thành phần rủi ro có thể được biểu diễn bằng công thức tổng quát sau:

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x \quad (7)$$

trong đó

N_x [năm⁻¹] là số lượng trường hợp nguy hiểm hàng năm;

P_x xác suất thiệt hại cho kết cấu (hàm số theo các biện pháp bảo vệ khác nhau);

L_x tổn thất kéo theo.

Công thức cơ bản được sử dụng để đánh giá rủi ro thiệt hại dựa trên các loại xác suất thiệt hại khác nhau và tổn thất kéo theo khác nhau (xem Phụ lục B).

Trong trường hợp rủi ro được tìm thấy là quá cao, biện pháp bảo vệ phải được áp dụng khi cần thiết để giảm rủi ro đến mức nhỏ hơn rủi ro cho phép R_T .

$$R_x \leq R_T \quad (8)$$

CHÚ THÍCH: Rủi ro cho phép R_T có thể được quy định bởi cơ quan chức năng.

7.3.2 Đánh giá các thành phần rủi ro do sét đánh vào tuabin gió (S1)

Để đánh giá các thành phần rủi ro liên quan đến sét đánh vào tuabin gió, áp dụng mối quan hệ sau:

- thành phần liên quan đến tổn thương sinh vật (D1)

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A \quad (9)$$

- thành phần liên quan đến thiệt hại vật chất (D2)

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (10)$$

- thành phần liên quan đến hỏng hệ thống bên trong (D3)

$$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C \quad (11)$$

Các tham số để đánh giá các thành phần rủi ro này được cho trong Bảng 4.

7.3.3 Đánh giá thành phần rủi ro do sét đánh gần tuabin gió (S2)

Để đánh giá thành phần rủi ro liên quan đến sét đánh gần tuabin gió, áp dụng quan hệ sau:

- thành phần liên quan đến hỏng hệ thống bên trong (D3)

$$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M \quad (12)$$

Các tham số để đánh giá các thành phần rủi ro này được cho trong Bảng 4.

7.3.4 Đánh giá thành phần rủi ro do sét đánh vào đường dây cung cấp nối tới tuabin gió (S3)

Để đánh giá thành phần rủi ro liên quan đến sét đánh vào đường dây cung cấp nối tới tuabin gió, áp dụng quan hệ sau:

- thành phần liên quan đến tổn thương sinh vật (D1)

$$R_U = (N_L + N_{D,s}) \cdot P_U \cdot L_U \quad (13)$$

- thành phần liên quan đến thiệt hại vật chất (D2)

$$R_V = (N_L + N_{D,s}) \cdot P_V \cdot L_V \quad (14)$$

- thành phần liên quan đến hỏng hệ thống bên trong (D3)

$$R_W = (N_L + N_{D,s}) \cdot P_W \cdot L_W \quad (15)$$

Các tham số để đánh giá các thành phần rủi ro này được nêu trong Bảng 4.

7.3.5 Đánh giá thành phần rủi ro do sét đánh gần đường dây cung cấp nối tới tuabin gió (S4)

Để đánh giá thành phần rủi ro liên quan đến sét đánh gần đường dây cung cấp nối tới tuabin gió, áp dụng quan hệ sau:

- Thành phần liên quan đến hỏng hệ thống bên trong (D3)

$$R_Z = (N_I - N_L) \cdot P_Z \cdot L_Z \quad (16)$$

Đối với mục đích đánh giá này, nếu $(N_I - N_L) < 0$, thì giả thiết $(N_I - N_L) = 0$.

Các tham số để đánh giá các thành phần rủi ro này được cho trong Bảng 4.

Bảng 4 – Các tham số liên quan đến việc đánh giá các thành phần rủi ro cho tuabin gió (tương ứng với Bảng 5 trong IEC 62305-2)

	Số lượng trường hợp nguy hiểm trung bình hàng năm do chù sét
N_D [năm ⁻¹]	vào tuabin gió
N_M [năm ⁻¹]	gần tuabin gió
N_L [năm ⁻¹]	vào đường dây cung cấp đi vào tuabin gió
N_I [năm ⁻¹]	gần đường dây cung cấp đi vào tuabin gió
$N_{D,b}$ [năm ⁻¹]	vào kết cấu tại đầu "b" của đường dây cung cấp (xem Hình 3)
	Khả năng chù sét tới tuabin gió sẽ gây ra
P_A	tổn thương sinh vật do điện giật
P_B	thiệt hại vật chất
P_C	hỏng hệ thống bên trong
	Khả năng chù sét đánh gần tuabin gió sẽ gây ra
P_M	hỏng hệ thống bên trong
	Khả năng chù sét đánh vào đường dây cung cấp sẽ gây ra
P_U	tổn thương sinh vật do điện giật
P_V	thiệt hại vật chất
P_W	hỏng hệ thống bên trong
	Khả năng chù sét đánh gần đường dây cung cấp sẽ gây ra
P_Z	hỏng hệ thống bên trong
	Tổn thất do
$L_A = L_U = r_a \cdot L_t$	tổn thương sinh vật do điện giật
$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_t$	thiệt hại vật chất
$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o$	hỏng hệ thống bên trong
CHÚ THÍCH: Các giá trị tổn thất L_t ; L_f ; L_o ; các hệ số r_p , r_a , r_u , r_f làm giảm tổn thất và hệ số h_z làm tăng tổn thất được đưa ra trong Phụ lục B.	

8 Bảo vệ chống sét của các bộ phận đi kèm

8.1 Qui định chung

Nếu không được thể hiện bằng phân tích rủi ro, tất cả bộ phận đi kèm được bảo vệ theo mức LPL-I.

Việc tuân thủ trong suốt vòng đời với mức LPL nhất định có thể yêu cầu bảo dưỡng và kiểm tra cụ thể trên hiện trường. Các yêu cầu bảo dưỡng và kiểm tra cho hệ thống bảo vệ chống sét gồm hệ thống nối đất phải được mô tả trong hướng dẫn kiểm tra và bảo dưỡng. Quy trình bảo dưỡng và kiểm tra được nêu tại Điều 12.

CHÚ THÍCH: Việc đánh giá rủi ro chi tiết có thể cho thấy rằng mức bảo vệ thấp hơn mức LPL-I là tối ưu về kinh tế đối với một số tuabin gió hoặc trang trại gió, chỉ khi có thể thuận lợi để phân biệt sao cho cánh tuabin gió được bảo vệ ở mức LPL cao hơn trong khi các bộ phận khác có thể được sửa chữa hoặc thay thế với chi phí thấp hơn có thể được bảo vệ theo mức LPL thấp hơn.

8.2 Cánh tuabin

8.2.1 Qui định chung

Các cánh tuabin gió là bộ phận chịu tác động nhất của tuabin, và sẽ chịu tác động đầy đủ của trường điện liên quan đến quá trình sét đánh, dòng điện sét, và trường từ kết hợp với dòng điện sét. Giải thích chính thức của quá trình sét đánh và dẫn dòng điện/điện tích được mô tả trong Phụ lục A.

Các cánh tuabin gió được đặt trong vùng bảo vệ chống sét 0_A theo IEC 62305-1 và phải được bảo vệ thích hợp.

Một mô tả chung về các vấn đề khác nhau liên quan đến bảo vệ chống sét cho các cánh tuabin được nêu trong Phụ lục C.

8.2.2 Các yêu cầu

Bảo vệ chống sét phải đủ để cho phép cánh chấp nhận mức LPL-I cho sét đánh không thiệt hại kết cấu mà sẽ làm hỏng chức năng của cánh (trừ khi phân tích rủi ro cho thấy mức LPL-II hoặc LPL-III là đủ).

Thiệt hại sét phải được giới hạn để có thể chấp nhận được cho đến kỳ bảo dưỡng và kiểm tra định kỳ kế tiếp.

8.2.3 Kiểm tra xác nhận

Khả năng của hệ thống đầu thu sét và hệ thống dẫn xuống để chặn sét và dẫn dòng điện sét phải được kiểm tra bằng một trong các phương pháp sau:

- a) thử nghiệm điện áp cao và dòng điện cao theo 8.2.5;
- b) chứng minh kiểu (thiết kế) cánh tương tự với kiểu cánh đã được kiểm tra trước đó, hoặc kiểu cánh có bảo vệ chống sét thành công đã được nêu trong tài liệu;
- c) sử dụng dụng cụ phân tích được kiểm tra trước đó bằng cách so sánh với các kết quả thử nghiệm hoặc với các thiết kế bảo vệ cánh đã qua quá trình làm việc thành công.

Để khẳng định việc kiểm tra xác nhận theo cách b), các cánh phải có cùng thành phần vật liệu cấu tạo, cùng hệ thống bảo vệ chống sét và có cùng kích thước kết cấu đặc trưng. Không cho phép có các thay

TCVN 10687-24:2015

đòi đáng kể ảnh hưởng đến độ nhạy sét mà không được kiểm tra xác nhận. Tuy nhiên, các đánh giá giống với những đánh giá được thực hiện trên thiết kế cánh đã được kiểm tra trước đó sẽ không cần phải lặp lại.

Nhà chế tạo cánh phải đưa ra tài liệu mô tả về phương pháp được sử dụng và các kết quả kiểm tra xác nhận.

8.2.4 Các lưu ý về thiết kế bảo vệ

Các điều dưới đây mô tả các vấn đề quan trọng đối với thiết kế và kết hợp các hệ thống bảo vệ chống sét liên quan đến cánh.

8.2.4.1 Hệ thống đầu thu sét

Hệ thống đầu thu sét được đặt trong các diện tích bề mặt trên cánh nơi các tiên đạo kết nối có thể khởi nguồn và gây ra sét hoặc đánh thủng nếu không có đầu thu sét. Các hệ thống đầu thu sét có thể là một phần của kết cấu cánh của nó, các thành phần thêm vào cánh, hoặc kết hợp của chúng.

Không áp dụng các công cụ định vị hệ thống đầu thu sét (qua cầu lặn, góc bảo vệ, v.v...) đã mô tả trong IEC 62305-3 cho các cánh tuabin gió. Do vậy, thiết kế hệ thống đầu thu sét phải được kiểm tra theo 8.2.3.

Nhà chế tạo phải đảm bảo rằng hệ thống đầu thu sét được gắn thích hợp trong giá lắp đặt của nó, và phải thiết kế hệ thống đầu thu sét sao cho có thể chịu được hao mòn dự kiến do gió, hơi ẩm, các hạt bụi, v.v.... Như một phần của việc kiểm tra, các thành phần bảo vệ chống sét phải có trong thiết kế cuối cùng của cánh, các thử nghiệm độ bền trước đó và các thử nghiệm cơ khí khác.

Tất cả các bộ phận bên trong của hệ thống đầu thu sét, giá lắp đầu thu sét và các kết nối tới dây dẫn sét phải được thiết kế để giảm thiểu rủi ro do phóng điện bên trong hình thành từ những bộ phận này (nghĩa là các dải phát xạ và các tiên đạo sét).

Nhà chế tạo phải thiết kế hệ thống đầu thu sét sao cho nhân viên bảo trì có thể sửa chữa hoặc thay thế các bộ phận của nó khi bị hỏng hoặc bị giảm chất lượng do các ảnh hưởng của sét hoặc của môi trường khác. Các đầu thu sét sẽ hao mòn qua thời gian do sự ăn mòn tại các nguồn hồ quang sét. Sự ăn mòn liên quan đến sự tích điện vào các nguồn hồ quang sét và vật liệu và hình dáng bề mặt của hệ thống đầu thu sét. Các cánh mà nhận một số lượng lớn các chùm sét cuối cùng có thể yêu cầu thay thế các đầu thu sét. Vòng đời của hệ thống đầu thu sét phải được tối đa nhờ lựa chọn vật liệu và thiết kế phù hợp. Nhà chế tạo phải cung cấp chỉ dẫn về cách kiểm tra và bảo trì hệ thống đầu thu sét.

Ví dụ nếu hệ thống đầu thu sét được phủ bằng một lớp mạ thì chức năng và khả năng bù cho vòng đời của cánh phải được bảo dưỡng. Các thử nghiệm được đề xuất để xác định hiệu quả các đầu thu sét được mô tả trong Phụ lục D

Nhà chế tạo phải xác định quy trình kiểm tra chính thức cho các hệ thống đầu thu sét sao cho có thể thiết lập và kiểm tra vòng đời thiết kế và khoảng thời gian sửa chữa/thay thế đã ước tính.

Kiểm tra hiệu quả hệ thống đầu thu sét phải được thực hiện theo mô tả trong 8.2.3.

8.2.4.2 Hệ thống dẫn sét và các thành phần kết nối

Hệ thống dẫn sét và các thành phần kết nối của nó là hệ thống dẫn dòng điện sét từ hệ thống đầu thu sét về phía gốc của cánh.

Các kết nối với hệ thống dẫn sét phải chắc chắn, cố định và đảm bảo rằng toàn bộ hệ thống có thể chịu được tác động kết hợp của các hiệu ứng điện, nhiệt, và điện động của dòng điện sét. Khả năng của hệ thống bảo vệ chống sét chịu được các tác động cơ học ở cánh phải được xác minh, tốt nhất là lắp vào cánh hệ thống đã qua các thử nghiệm trong IEC/TS 61400-23.

Mặt cắt của dây dẫn sét và các bộ phận dẫn điện tự nhiên của cánh được sử dụng như dây dẫn sét phải có thể dẫn dòng điện sét tương ứng theo mức LPL đã chọn. Nói chung, các dây dẫn kim loại phải được chọn theo IEC 62305-3.

Thử nghiệm các thành phần kết nối phải được thử nghiệm phù hợp với EN 50164-1 mà không cần áp dụng ổn định/lão hóa. Các mức thử nghiệm dòng điện phải được chọn theo cú sét ngắn đầu tiên của mức LPL đã chọn. Nếu sử dụng kết nối mềm, chẳng hạn như liên kết quay, vòng bi hoặc khe đánh lửa, thì thử nghiệm phải được thực hiện với dòng điện cú sét dài. Nếu có một vài đường dẫn dòng điện sét, biên độ dòng điện thử nghiệm cho mỗi đường dẫn có thể được chia tỷ lệ theo sự phân bố của dòng điện giữa các đường dẫn.

Tất cả các bộ phận bên trong của hệ thống dẫn sét và các thành phần kết nối phải được thiết kế để giảm thiểu nguy cơ phóng điện cục bộ hình thành từ những bộ phận này. Điều này nhằm mục đích cản trở phát triển phóng điện từ các kết cấu không phải hệ thống đầu thu sét bên ngoài; nhờ đó giới hạn được rủi ro phóng điện bên trong làm thủng cánh.

Các dây dẫn sét lắp bên ngoài được xác định như các hệ thống đầu thu sét, do đó áp dụng các yêu cầu trong 8.2.4.1.

Các nhà chế tạo phải xác định quy trình kiểm tra thường xuyên cho bộ phận bất kỳ của hệ thống dẫn sét và các thành phần kết nối của nó mà có thể bị suy giảm bởi môi trường làm việc để có thể kiểm tra tình trạng và tuổi thọ thiết kế ước tính và khoảng thời gian làm việc của các bộ phận này.

Các thử nghiệm được đề xuất để xác định khả năng của dây dẫn sét và các thành phần kết nối được mô tả trong Phụ lục D.

Kiểm tra hệ thống dây dẫn sét và các bộ phận kết nối của nó phải được thực hiện như mô tả trong 8.2.3.

8.2.4.3 Thành phần dẫn điện bổ sung

Trong trường hợp các thành phần dẫn điện bổ sung (thành phần kết cấu dẫn điện, CFC, trọng lượng, cáp hầm đầu cánh, cáp điện cho các cảm biến, đèn cảnh báo, v.v...) có trong cánh, nói chung các bộ

TCVN 10687-24:2015

phần này phải được liên kết với hệ thống bảo vệ chống sét, được thiết kế để dẫn chia dòng điện sét và ngăn chặn phóng điện bề mặt giữa các bộ phận dẫn điện.

Một cách khác, phải được chứng minh bằng thử nghiệm ứng với mức LPL và/hoặc phân tích xem liệu các thành phần dẫn điện bổ sung, kết cấu CFC, v.v... có được liên kết với nhau và với hệ thống bảo vệ chống sét hay không.

Các phương pháp liên kết các thành phần dẫn điện bổ sung phải được chứng minh bằng thử nghiệm dòng điện cao như được mô tả trong 8.2.5.2.

Trong trường hợp dây dẫn tạo thành các tuyến dẫn dòng song song dẫn trong cánh, các dây dẫn này phải được kết nối với nhau theo IEC 62305-1, và phải chú ý đến những ảnh hưởng của các lực điện động.

8.2.4.4 Ứng suất trường điện tác động lên thiết kế vật liệu tổng hợp

Do độ cao và chịu nhiều tác động của cánh tuabin gió, toàn bộ kết cấu cánh sẽ bị đặt trong điện trường cao nhiều lần trong suốt tuổi thọ. Các điện trường tĩnh và tức thời cao được sinh ra từ các đám mây dông và tác động về điện lên kết cấu cánh.

Các tiên đạo sét hướng đến sẽ đặt kết cấu cánh vào các điện trường cao hơn. Trong cả hai trường hợp, các điện trường có thể suy giảm theo thời gian các đặc tính cách nhiệt của vật liệu tổng hợp. Do đó, hệ thống bảo vệ chống sét phải được thiết kế có xét đến nguyên tắc thiết kế cách điện cao áp.

8.2.5 Phương pháp thử nghiệm

Áp dụng các phương pháp sau đây cho toàn bộ các thiết kế cánh hoặc các phần nhỏ như đầu cánh hay các miếng thử nghiệm dát mỏng.

8.2.5.1 Thử nghiệm cao áp

Hiệu quả thu nhận của hệ thống đầu thu sét trên cánh có thể được đánh giá bằng cách sử dụng thử nghiệm gắn với tiên đạo ban đầu được mô tả trong D.2.1 của Phụ lục D.

Việc phát triển các chi tiết thiết kế cụ thể xung quanh các bộ nhận ở đầu, bộ nhận ở mặt bên hoặc tương tự có thể đạt được từ thử nghiệm gắn với tiên đạo ban đầu mô tả trong D.2.1 của Phụ lục D.

Việc cải thiện khả năng dát mỏng của cánh để cản trở việc phóng điện bên trong và ngăn phóng điện đâm xuyên bề mặt cánh có thể đạt được bằng cách tăng độ bền điện của vật liệu. Độ bền điện của composite cách điện và các lớp phủ có thể được đánh giá theo TCVN 6099-1 (IEC 60060-1), TCVN 9630-1 (IEC 60243-1) (điện xoay chiều), TCVN 9630-3 (IEC 60243-3) (điện áp xung) và IEC 60464-2 (lớp phủ).

Khi hoạt động điện xảy ra trên bề mặt cách điện (phóng điện bề mặt, v.v...), bề mặt có thể xuống cấp vì chịu ăn mòn điện và tạo vết. Kết hợp với độ ẩm, tác động này có thể làm thay đổi các thuộc tính bề mặt

cách điện làm cho dẫn điện nhiều hơn, và do đó tăng rủi ro sét đánh trực tiếp. Điện trở tạo vết của các cánh và vật liệu phủ khác nhau có thể được đánh giá và so sánh sử dụng IEC 60587.

8.2.5.2 Thử nghiệm với dòng điện cao

Các hệ thống đầu thu sét sẽ chịu ảnh hưởng lớn bởi tác động của điện tích khi sét đánh (tức là tích phân theo thời gian của dòng điện sét), một hiện tượng có thể được đánh giá bởi thử nghiệm thiệt hại vật chất dòng điện cao trong Phụ lục D, Điều D.3.

Các thành phần và bộ phận kết nối của dây dẫn sét có thể được thử nghiệm bằng thử nghiệm thiệt hại vật chất dòng điện cao trong Phụ lục D, Điều D.3, hoặc EN 50164-1 mà không cần áp dụng ổn định/lão hóa.

Các dạng sóng và mức dòng điện thử nghiệm phải bao gồm cú sét ngắn đầu tiên và, nếu có liên quan, và cú sét dài (dòng liên tục) xác định đối với mức LPL đã chọn.

8.3 Vô tuabin và các thành phần kết cấu khác

8.3.1 Qui định chung

Bảo vệ chống sét cho vỏ tuabin và các thành phần kết cấu khác của tuabin gió phải được thực hiện bằng cách sử dụng bản thân các kết cấu kim loại lớn làm đầu thu sét, liên kết đẳng thế, vỏ che chắn và dẫn dòng điện sét xuống hệ thống nối đất. Các thành phần bảo vệ chống sét bổ sung như hệ thống đầu thu sét để bảo vệ các thiết bị đo khí tượng và đèn cảnh báo máy bay trên vỏ tuabin, dây dẫn sét và các kết nối liên kết phải được tạo ra và có kích thước theo IEC 62305-3. Tuabin gió phải được chia thành các khu vực bảo vệ sét, LPZ (xem Phụ lục E).

8.3.2 Hub

Hub của các tuabin gió lớn là một quả cầu bằng sắt đúc rỗng đường kính từ 2 m đến 3 m. Do đó riêng độ dày của vật liệu đã đảm bảo chính kết cấu hub đã miễn nhiệm với sét. Trong hầu hết các trường hợp, hệ thống điều khiển điện và cơ, và bộ dẫn động được đặt trong hub có các mạch đi ra bên ngoài hub, tới cánh và vỏ tuabin. Hub sẽ tạo thành một lồng Faraday bằng cách cung cấp màn chắn từ tại các khe hở trong hub về phía các cánh, mặt trước và vỏ tuabin (tức là hub phải được xác định là một LPZ). Trong nhiều trường hợp, các khe hở này được đóng kín nhờ các tấm mặt bích của cánh và mặt bích của trục chính, có thể được coi là các màn chắn từ rất hiệu quả. Khi các khe hở được khép kín bằng các màn chắn từ như mô tả trên, thì bên trong hub không cần bảo vệ chống sét riêng. Khi đó, bảo vệ chống sét của hub được giới hạn ở liên kết đẳng thế và bảo vệ tạm thời các hệ thống được đặt bên ngoài hub, như hệ thống dẫn động cánh, và các hệ thống điện và điều khiển trong hub được nối với các mạch đi ra bên ngoài hub.

8.3.3 Mũ cánh

Thông thường hub có một nắp bằng sợi thủy tinh, gọi là mũ cánh, được gắn trên hub và quay cùng với hub. Ví mô hình quả cầu lăn luôn cho thấy rằng có khả năng sét đánh vào mặt trước của mũ cánh, nên phải xem xét bảo vệ chống sét. Trong một số thiết kế tuabin gió, có thêm hệ thống điều khiển điện và cơ khí và thiết bị truyền động đặt bên ngoài hub và được che phủ bởi mũ cánh. Các hệ thống như vậy phải được chắn sét bởi các hệ thống đầu thu sét. Trong trường hợp không đặt hệ thống nào như thế ở mũ cánh thì có thể chấp nhận rủi ro sét đánh thủng xuyên qua mũ cánh và không cần bất kỳ hệ thống bảo vệ chống sét nào cho mũ cánh. Tuy nhiên, trong hầu hết các trường hợp, bảo vệ chống sét đơn giản và khả thi cho mũ cánh có thể được thực hiện khi sử dụng kết cấu đỡ bằng kim loại cho mũ cánh làm hệ thống đầu thu sét và kết nối với hub.

8.3.4 Vỏ tuabin

Kết cấu vỏ tuabin cần là bộ phận bảo vệ chống sét để đảm bảo rằng sét đánh vào vỏ tuabin sẽ đánh vào các bộ phận kim loại có thể chịu được ứng suất hoặc gắn vào một hệ thống đầu thu sét được thiết kế cho mục đích này. Các vỏ tuabin có phủ GFRP hoặc tương tự phải có hệ thống đầu thu sét và dây dẫn sét tạo thành lồng bao quanh vỏ tuabin. Hệ thống đầu thu sét có các dây dẫn tiếp xúc trong lồng này phải có khả năng chịu được các chùm sét ứng với mức bảo vệ chống sét đã chọn. Các dây dẫn khác trong lồng Faraday phải có kích thước để chịu được dòng điện sét thành phần có thể phải chịu. Hệ thống đầu thu sét để bảo vệ thiết bị đo, v.v... bên ngoài vỏ tuabin phải được thiết kế theo các quy tắc chung trong IEC 62305-3, và các dây dẫn sét phải được nối với lồng nêu trên.

Có thể dùng một lưới kim loại cho vỏ tuabin có phủ vật liệu GFRP để cung cấp bảo vệ chống trường điện và trường từ bên ngoài, và trường từ từ các dòng điện chạy trong lưới kim loại. Một cách khác, tất cả các mạch điện bên trong vỏ tuabin có thể được đặt trong ống dẫn kim loại kín hoặc máng cáp, v.v... Hệ thống liên kết đẳng thế phải được thiết lập bao gồm cả các kết cấu kim loại chính bên trong và trên vỏ tuabin, khi có yêu cầu trong các qui tắc điện, và khi sẽ cung cấp một mặt phẳng đẳng thế hiệu quả để thực hiện tất cả các kết nối liên kết đẳng thế và nối đất.

Dòng điện sét đánh vào các cánh tốt hơn cả nên được dẫn trực tiếp tới lồng nói trên, khi đó sẽ hoàn toàn tránh được dòng điện sét dẫn qua các vòng bi dẫn động và vòng bi xoay cánh của cánh (xem 8.2 và 8.4 đối với bảo vệ cánh và vòng bi). Các loại hệ thống chổi than khác nhau thường được sử dụng để chuyển hướng dòng điện sét khỏi vòng bi. Tuy nhiên, hiệu quả của các chổi than rời rạc này có thể thấp, vì rất khó để kết cấu các hệ thống chổi than và nối đất có trở kháng đủ thấp để giảm đáng kể dòng đi qua trở kháng thấp của trục chính và các hệ thống vòng bi đến đế đỡ vỏ tuabin.

CHÚ THÍCH: Vỏ tuabin được phủ màn chắn từ như vậy sẽ không thể bảo vệ khỏi các ảnh hưởng của từ trường từ các dòng điện sét chạy bên trong vỏ tuabin, ví dụ như trong trục chính.

8.3.5 Cột tháp

Một cột tháp thép hình ống, vì được sử dụng chủ yếu cho tuabin gió lớn, thường đáp ứng các kích thước cần thiết cho dây dẫn sét công bố trong IEC 62305-3 và có thể được coi là một lồng Faraday chắn điện từ gần như hoàn hảo, vì có dạng điện từ gần như khép kín ở cả hai mặt tiếp xúc với vỏ tuabin và với mặt đất. Do đó, trong nhiều trường hợp là hợp lý để xác định bên trong cột tháp như vùng bảo vệ chống sét cấp LPZ1 hoặc LPZ2. Để giữ cho cột tháp có điện từ khép kín càng tốt, cần có tiếp xúc điện trực tiếp tất cả các con đường dọc theo mặt tích giữa các đoạn cột tháp. Cột tháp và tất cả các bộ phận kim loại chính trong nó phải được hợp nhất vào các dây dẫn bảo vệ đất (PE) và các hệ thống liên kết đẳng thế để thực hiện bảo vệ tốt nhất được cung cấp bởi các lồng Faraday. Liên quan đến liên kết các kết cấu kim loại và các hệ thống bên trong cột tháp như thang, dây điện và đường ray, xem 9.3.5.

Mặt tiếp xúc phía vỏ tuabin thường gắn với bộ đỡ và các cửa lối vào kim loại, mà cũng có thể dùng làm vỏ chắn điện từ khép kín cột tháp (xem 8.4.2 về bảo vệ chống sét của ổ trục xoay tuabin).

Mặt tiếp xúc cột tháp với hệ thống nối đất được đề cập tại Điều 9. Nếu cột tháp được xây dựng như một lồng Faraday mô tả ở trên, thì bên trong cột tháp không cần bảo vệ chống sét riêng. Do đó, nhiệm vụ bảo đảm bảo vệ chống sét cột tháp được giới hạn ở liên kết đẳng thế và bảo vệ tạm thời của các mạch điện và mạch điều khiển mở rộng đến khu vực bảo vệ sét khác như đến vỏ tuabin và ra bên ngoài cột tháp.

Cột tháp dạng lưới đan về bản chất không thể được coi là một lồng Faraday hiệu quả, mặc dù sẽ có một số suy giảm từ trường và giảm dòng điện sét bên trong cột tháp dạng này. Khu vực bên trong cột tháp dạng lưới đan nên được xem là vùng bảo vệ chống sét LPZ0_b. Việc dẫn sét cần thông qua các thành phần kết cấu cột tháp dạng lưới đan, do đó các dây dẫn sét phải đáp ứng các kích thước cần thiết đối với dây dẫn sét nêu trong IEC 62305-3 có tính đến sự phân dòng giữa các đường dẫn song song. Vỏ chắn cáp trong cột tháp dạng lưới đan có thể cần phải được liên kết với cột tháp tại những khoảng cách nhất định để tránh làm thùng cách điện cáp; yêu cầu này được đánh giá bằng cách tính toán (xem IEC 62305-2, Phụ lục D).

Trong các cột tháp bê tông cốt thép, cốt thép có thể được sử dụng để dẫn sét đánh xuống bằng cách đảm bảo từ 2 đến 4 dây nối song song thẳng đứng có mặt cắt đủ lớn nối theo phương ngang ở phía trên, phía dưới và cứ mỗi 20 m ở giữa. Cốt thép sẽ tạo ra suy giảm từ trường khá hiệu quả và giảm dòng điện sét bên trong cột tháp nếu được liên kết theo cách này.

8.3.6 Phương pháp thử nghiệm

Các phương pháp thử nghiệm sơ bộ được nêu trong Phụ lục D.

8.4 Hệ thống truyền động cơ khí và xoay tuabin

8.4.1 Qui định chung

Nhìn chung, tuabin gió sẽ có một số vòng bi cho độ rơ lắc của cánh, quay trục chính, hộp số, máy phát điện và hệ thống xoay tuabin.

Các hệ thống truyền động thủy lực hoặc điện được sử dụng để kiểm soát và vận hành các thành phần chính.

Hệ thống dẫn động và vòng bi có các bộ phận chuyển động trực tiếp hoặc gián tiếp bắc cầu các bộ phận khác nhau của tuabin gió nơi có thể dẫn dòng điện sét.

Tất cả các hệ thống dẫn động và vòng bi có thể ở trong tuyến dẫn dòng điện sét phải được bảo vệ khi cần thiết để giảm mức dòng điện dẫn qua thành phần xuống mức cho phép.

8.4.2 Vòng bi

Vòng bi rất khó để giám sát, và không thể chấp nhận vòng bi được kiểm tra sau khi sét đánh vào tuabin gió. Do đó, các hệ thống bảo vệ vòng bi phải được chứng minh và ghi tài liệu.

Bảo vệ có thể là một phần của bản thân kết cấu vòng bi hoặc có thể là một hệ thống bên ngoài được lắp đặt ngang qua vòng bi để bỏ qua dòng điện.

Nếu các vòng bi được vận hành không có bảo vệ, phải chứng minh rằng bản thân vòng bi có thể hoạt động trong suốt vòng đời thiết kế, sau khi chịu tác động với số lượng dòng điện sét dự kiến. Nếu vòng bi không thể hoạt động trong suốt vòng đời thiết kế, phải áp dụng biện pháp bảo vệ (xem 8.4.4).

8.4.3 Hệ thống thủy lực

Nếu các hệ thống thủy lực nằm trên tuyến dẫn dòng điện sét, phải bảo đảm rằng dòng điện sét đi qua sẽ không ảnh hưởng đến hệ thống. Với các hệ thống thủy lực, cần xét đến rủi ro rò chất lỏng do hỏng các phụ kiện và đánh lửa dầu thủy lực.

Các biện pháp bảo vệ như tiếp xúc trượt hay dải liên kết có thể được sử dụng để làm cho dòng điện không dẫn qua các xilanh truyền động.

Ống thủy lực chịu dòng điện sét phải được bảo vệ để tránh sự dẫn dòng vào trong ống. Nếu ống thủy lực có vỏ cơ khí, thì phải được liên kết với kết cấu thép của máy móc ở hai đầu ống. Cũng phải đảm bảo rằng vỏ thép có mặt cắt đủ lớn để dẫn các phần dòng điện sét mà có thể đi qua.

Có thể áp dụng xem xét tương tự cho hệ thống làm mát bằng nước.

8.4.4 Khe đánh lửa và các tiếp điểm trượt

Để không đi qua hệ thống ổ trục và bộ dẫn động, phải xem xét sử dụng các khe đánh lửa hay các tiếp điểm trượt. Các hệ thống đường vòng như vậy kể cả các dây kết nối của chúng để có hiệu quả phải có trở kháng nhỏ hơn tuyến dẫn dòng tự nhiên trực tiếp qua các thành phần.

Các khe đánh lửa và tiếp điểm trượt phải có thể dẫn dòng điện sét mà có thể phải chịu tại nơi sử dụng trong tuabin gió.

Cả khe đánh lửa và tiếp điểm trượt phải được thiết kế để duy trì tính năng cần thiết không phụ thuộc vào các tác động của môi trường như mưa, băng, ô nhiễm mặn, bụi bẩn, v.v....

Khi sử dụng các khe đánh lửa hoặc các tiếp điểm trượt, phải xem xét đến việc hao mòn các bộ phận và tuổi thọ vận hành của các thiết bị này phải được tính toán và ghi thành tài liệu. Các khe đánh lửa và các tiếp điểm trượt phải thường xuyên được kiểm tra theo các hướng dẫn bảo dưỡng và vận hành.

8.4.5 Thử nghiệm

Tất cả các hệ thống bảo vệ hệ thống ổ trục và bộ dẫn động phải có chức năng được ghi thành tài liệu. Nên thực hiện các thử nghiệm với dòng điện xung đại diện cho dòng điện sét tự nhiên.

Nên thực hiện các thử nghiệm dòng điện xung trên các đối tượng thử nghiệm kích thước thực mà các bộ phận quan trọng của hệ thống được thể hiện trong mô hình thử nghiệm.

Phải chứng tỏ rằng hệ thống bảo vệ có thể chịu được ảnh hưởng có hại của cú sét đầu tiên kết hợp với dòng điện cú sét kéo dài.

Nếu sử dụng các tiếp điểm trượt như một phần của hệ thống, các thử nghiệm cơ khí phải được thực hiện để ghi vào tài liệu sự ổn định của hệ thống, tập trung đặc biệt vào ăn mòn tiếp điểm có và không bị ăn mòn ảnh hưởng của dòng điện sét. Sự hao mòn phải đủ thấp để không ảnh hưởng đến vận hành giữa các khoảng thời gian vận hành theo kế hoạch.

Các thử nghiệm có thể được thực hiện trên các mô hình thu nhỏ, nhưng các tính toán phải chứng minh các hệ số và các ảnh hưởng tỷ lệ.

Thông tin về các phương pháp thử nghiệm được nêu trong Phụ lục D, D.3.4.

8.5 Hệ thống điện hạ áp và hệ thống điện tử và hệ thống lắp đặt

8.5.1 Quy định chung

Điều này đề cập đến việc bảo vệ các hệ thống điện và điều khiển của tuabin gió khỏi các ảnh hưởng của:

- sét đánh vào tuabin gió;
- dòng tiên đạo khởi phát từ tuabin gió;

TCVN 10687-24:2015

- sét đánh gián tiếp (tức là ảnh hưởng thông qua xung sét điện từ LEMP do sét đánh không ảnh hưởng trực tiếp đến tuabin gió).

CHÚ THÍCH 1: Các quá điện áp và đột biến quá độ gây ra do các thao tác đóng cắt trong hệ thống điện (xung điện từ chuyển mạch, SEMP) cũng phải được xem xét. Tuy nhiên, nó không thuộc phạm vi áp dụng của tiêu chuẩn này. Để biết thông tin chung, tham khảo IEC 62305-2 Phụ lục F về quá điện áp đóng cắt. Điều 8.5.6.9 và Điều F.7 của tiêu chuẩn này đưa ra một số thông tin về lựa chọn SPD liên quan đến các quá điện áp tạo ra trong tuabin gió.

Tất cả các loại chùm sét đều phát xung sét điện từ (LEMP).

CHÚ THÍCH 2: Phải tuân thủ các yêu cầu chung đối với thiết bị điện trong các máy mô tả trong IEC 60204-1.

8.5.2 Biện pháp bảo vệ xung sét điện từ LEMP (LPMS)

Các hệ thống điện và điều khiển chịu thiệt hại do xung sét điện từ LEMP. Do đó các biện pháp bảo vệ LEMP (LPMS) phải được trang bị để tránh hỏng hóc các hệ thống này. Bảo vệ hiệu quả cho hệ thống điện và điều khiển tuabin gió khỏi xung sét điện từ LEMP đòi hỏi sự tiếp cận một cách hệ thống các khái niệm về các vùng bảo vệ chống sét (LPZ) theo IEC 62305-4. Các biện pháp bảo vệ (LPMS) là một phần của khái niệm về vùng bảo vệ chống sét (LPZ) cho tuabin gió hoàn chỉnh, được mô tả trong 8.5.3. Ví dụ áp dụng khái niệm vùng bảo vệ chống sét (LPZ) trong tuabin gió được đưa ra trong Phụ lục E.

Nhà chế tạo tuabin gió phải cung cấp hệ thống các biện pháp bảo vệ LEMP theo IEC 62305-4 đối với hệ thống điện hoàn chỉnh.

CHÚ THÍCH: Có thể giả thiết rằng các biện pháp bảo vệ LEMP hiệu quả cũng cung cấp hiệu quả bảo vệ chống các ảnh hưởng gián tiếp của sét.

Các biện pháp bảo vệ cơ bản trong LPMS theo IEC 62305-4 gồm:

- liên kết – xem 8.5.4;
- vỏ chắn điện và từ của cáp và tuyến dây (lắp đặt hệ thống) – xem 8.5.5;
- bảo vệ SPD kết hợp – xem 8.5.6;
- nối đất – xem Điều 9.

Các phương pháp bổ sung gồm:

- cách ly, thiết kế mạch, các mạch cân bằng, trở kháng nối tiếp, v.v....

Đối với LEMP, các thông tin cơ bản sau đây phải được ghi thành tài liệu (xem thêm Điều 11):

- xác định cấp bảo vệ chống sét (LPL) theo IEC 62305-1;
- các bản vẽ tuabin gió xác định LPZ và ranh giới của chúng;
- sơ đồ mạch biểu diễn các SPD, vỏ cáp và các điểm liên kết vỏ cáp.

Hình E.5 và Hình E.6 cung cấp ví dụ cơ bản cho tài liệu như vậy.

8.5.3 Vùng bảo vệ chống sét (LPZ)

Một tuabin gió có thể được chia thành các khu vực vật lý xác định ước chừng mức độ ảnh hưởng của sét đánh vào các thành phần trong khu vực đó. Việc phân chia tuabin gió thành các vùng bảo vệ chống sét là công cụ để đảm bảo cho bảo vệ đầy đủ và hệ thống cho tất cả các thành phần của tuabin gió. Các vùng bảo vệ chống sét này (LPZ) được xác định phụ thuộc vào việc có hay không có sét đánh trực tiếp và biên độ dòng điện sét và các trường điện và trường từ kết hợp dự kiến trong khu vực đó (xem Bảng E.1). Khi đó áp dụng các phương pháp bảo vệ chống sét để đảm bảo các bộ phận, như máy móc, hệ thống điện hay hệ thống điều khiển, có thể chịu được các trường điện và trường từ và dòng điện sét có thể đi vào khu vực đặt các bộ phận đó. Ví dụ, bảo vệ chống quá điện áp chỉ cần thiết cho các loại cáp đi từ khu vực có các thành phần nhạy cảm hơn (tức là từ khu vực LPZ có số thấp hơn tới khu vực LPZ có số cao hơn), trong khi các kết nối nội bộ trong khu vực có thể không được bảo vệ. Cách tiếp cận này được chi tiết hơn trong IEC 62305-4, Điều 4 "Thiết kế và lắp đặt hệ thống các biện pháp bảo vệ LEMP (LPMS)", và được đề cập trong Phụ lục E.

Hướng dẫn thêm về cách thực hiện các yêu cầu này được đưa ra trong Phụ lục E.

8.5.4 Liên kết đẳng thế trong tuabin gió

Phải sử dụng liên kết đẳng thế theo IEC 62305-4 trong tuabin gió để đảm bảo việc đánh tia lửa nguy hiểm tiềm ẩn không thể xảy ra giữa các bộ phận dẫn điện của tuabin gió. Các liên kết đẳng thế này cung cấp bảo vệ chống các điện áp chạm và điện áp bước khi sét đánh. Các liên kết đẳng thế đóng vai trò quan trọng trong việc giảm khả năng thiệt hại cho hệ thống điện và hệ thống điều khiển. Các kết nối liên kết trở kháng thấp ngăn chênh lệch điện thế nguy hiểm giữa các thiết bị bên trong tuabin gió.

Để có hiệu quả nhất, các kết nối liên kết phải tận dụng tối đa các kết cấu kim loại lớn của tuabin gió (tức là cột tháp chính, đế đỡ vỏ tuabin, khung và trụ cho vỏ tuabin). Dây dẫn liên kết như vậy có thể làm giảm thêm các mức từ trường do sét. Ví dụ, nếu các kết nối liên kết được đặt giữa bộ đỡ kim loại và thành cột tháp tại một số vị trí được phân bố xung quanh mặt tiếp xúc giữa đế đỡ - tháp, thì các liên kết này sẽ có hiệu quả cung cấp vỏ chắn điện từ cho phần bên trong cột tháp.

Nhiều thiệt hại từng có trong các hệ thống điều khiển tuabin gió có thể được tránh được bằng các liên kết và che chắn hiệu quả. Một số lưu ý thêm về liên kết cần thiết trong tuabin gió được nêu trong Phụ lục G.

8.5.5 Màn chắn và đi dây

Màn chắn là biện pháp làm suy giảm trường điện từ. Việc giảm trường điện từ có thể làm giảm đáng kể các mức điện áp được cảm ứng trong mạch điện.

Từ trường tạo ra trong vùng bảo vệ chống sét LPZ do sét đánh vào kết cấu hoặc đất gần đó có thể được giảm bằng màn chắn không gian của LPZ. Các đột biến được cảm ứng trong hệ thống điều khiển

TCVN 10687-24:2015

thông qua cáp kết nối có thể được giảm thiểu hoặc bằng màn chắn không gian, hoặc bằng tuyến dây và màn chắn (ví dụ các cáp bọc được liên kết ở cả hai đầu), hoặc bằng cách kết hợp cả hai phương pháp.

Sử dụng màn chắn từ và tuyến dây theo IEC 62305-4, Điều 4, và theo các hướng dẫn chung về thực hành lắp đặt tương thích điện từ chính xác được mô tả trong IEC/TR 61000-5-2.

Khi dòng điện sét dẫn qua một tuabin gió sẽ sinh ra một từ trường lớn. Nếu các từ trường thay đổi này dẫn qua một vòng kín được hình thành từ hệ thống đi dây hoặc từ hệ thống đi dây và kết cấu tuabin gió, chúng sẽ cảm ứng điện áp và dòng điện đột biến trong vòng kín đó. Biên độ của các đột biến liên quan đến tốc độ thay đổi của từ trường và diện tích vòng kín đang xét. Người thiết kế phải xem xét độ lớn của điện áp cảm ứng và đảm bảo rằng các đột biến như vậy không vượt quá mức độ chịu đựng của cáp và thiết bị kết nối.

Sử dụng màn chắn và tuyến dây phải được ghi thành tài liệu bằng phân tích và/hoặc thử nghiệm.

Một số lưu ý thêm về màn chắn cần thiết trong tuabin gió được nêu trong Phụ lục G.

8.5.6 Bảo vệ SPD phối hợp

8.5.6.1 Qui định chung

Bảo vệ SPD phối hợp gồm một tập hợp các SPD được lựa chọn thích hợp, được kết hợp và lắp đặt để giảm các hỏng hóc hệ thống điện và điện tử.

CHÚ THÍCH: Bảo vệ SPD kết hợp phải có các mạch kết nối để cung cấp phối hợp cách điện cho toàn bộ hệ thống.

Bảo vệ SPD kết hợp giới hạn các ảnh hưởng của các đột biến do sét và các đột biến do đóng cắt sinh ra từ bên trong. Bảo vệ các hệ thống điện và điều khiển đòi hỏi sự tiếp cận một cách hệ thống các SPD kết hợp cho cả hệ thống điện hạ áp và hệ thống điều khiển. Các khuyến cáo cho bảo vệ SPD phối hợp trong các tuabin gió được nêu trong Phụ lục F.

8.5.6.2 Vị trí các SPD

Theo IEC 62305-4, trong LPMS, SPD phải được đặt tại lối đường dây đi vào mỗi khu vực LPZ:

- càng gần với ranh giới của khu vực LPZ 1 càng tốt, phải lắp đặt SPD đã thử nghiệm với dòng I_{imp} (thử nghiệm cấp I), theo phân loại trong IEC 61643-1;
- càng gần với ranh giới của khu vực LPZ 2 và cao hơn càng tốt, và nếu cần thiết thì càng gần với thiết bị được bảo vệ càng tốt, phải lắp đặt các SPD đã thử nghiệm với dòng I_n (thử nghiệm cấp II), theo phân loại trong IEC 61643-1;

CHÚ THÍCH: Nếu chiều dài mạch điện giữa SPD và thiết bị là quá dài (tức là dài hơn 10 m), sự lan truyền đột biến có thể dẫn đến hiện tượng dao động - xem IEC 62305-4, D.2.3 và D.2.4.

8.5.6.3 Lựa chọn các SPD

Các SPD chịu được một phần dòng điện sét có dạng sóng điển hình 10/350 μ s đòi hỏi dòng điện thử nghiệm xung tương ứng I_{imp} . Đối với đường dây điện, dòng điện thử nghiệm phù hợp I_{imp} được xác định trong quy trình thử nghiệm cấp I của IEC 61643-1.

Các SPD chịu được các dòng đột biến cảm ứng có dạng sóng điển hình 8/20 μ s đòi hỏi dòng điện thử nghiệm tương ứng I_n . Đối với đường dây điện, dòng điện thử nghiệm phù hợp I_n được xác định trong quy trình thử nghiệm cấp II của IEC 61643-1.

Các SPD phải phù hợp với

- IEC 61643-1 đối với các hệ thống điện;
- IEC 61643-21 đối với các hệ thống tín hiệu và viễn thông.

8.5.6.4 Lắp đặt các SPD

Các SPD phải phù hợp với các quy tắc lắp đặt được đưa ra trong

- TCVN 7447-4-44 (IEC 60364-4-44), TCVN 7447-5-53 (IEC 60364-5-53) và IEC 61643-12 đối với bảo vệ các hệ thống điện;
- IEC 61643-22 đối với bảo vệ các hệ thống điều khiển và truyền thông.

Vị trí lắp đặt các SPD phải được ghi thành tài liệu, như bằng các bản vẽ và sơ đồ hệ thống dây điện theo LPMS. Đối với SPD được lắp đặt tại ranh giới các khu vực LPZ khác nhau và các thành phần bảo vệ đột biến điện có thể có được lắp đặt bên trong thiết bị, phải đáp ứng các yêu cầu điều phối năng lượng theo IEC 62305-4 và IEC 61643-12.

Theo IEC 62305-4, phải thực hiện các xem xét liên quan đến sự phối hợp các SPD trong hệ thống điện và điều khiển. Tài liệu phải cung cấp đầy đủ thông tin về cách đạt được sự phối hợp giữa các SPD.

Hướng dẫn thêm cho các liên kết (nối đất) và nối cáp của hệ thống điện và điều khiển được đưa ra trong 8.5.4 và 8.5.5 và được minh họa tại Phụ lục G.

8.5.6.5 Ứng suất môi trường

Các SPD phải chịu các ứng suất môi trường đặc trưng cho vị trí lắp đặt như:

- nhiệt độ môi trường;
- độ ẩm;
- môi trường ăn mòn;
- rung, xóc cơ khí.

Tùy thuộc vào các điều kiện tại điểm lắp đặt trong tuabin gió, các yêu cầu bổ sung và cụ thể về tính năng và lắp đặt các SPD có thể phát sinh. Nếu cần thiết, nhà chế tạo tuabin gió phải tính đến các điều kiện môi trường cho các điểm lắp đặt cụ thể, như vỏ tuabin và hub.

TCVN 10687-24:2015

8.5.6.6 Bảo trì

Việc bảo trì và thay thế các SPD phải được thực hiện theo kế hoạch bảo dưỡng.

Phải lắp đặt các SPD theo cách mà chúng có thể kiểm tra được.

CHÚ THÍCH: Nhà chế tạo SPD có thể cung cấp thông tin về tuổi thọ vận hành của SPD.

8.5.6.7 Giám sát SPD

Việc bảo vệ SPD của các bộ phận quan trọng của hệ thống điện và điều khiển các tuabin gió có thể đòi hỏi giám sát.

8.5.6.8 Lựa chọn các SPD theo mức bảo vệ (U_p) và tính miễn nhiễm của hệ thống

Để xác định bảo vệ cần thiết U_p trong vùng bảo vệ chống sét LPZ, cần thiết lập các mức miễn nhiễm của thiết bị trong khu vực LPZ, ví dụ của

- các đầu cuối của đường dây điện và thiết bị theo IEC 61000-4-5 và IEC 60664-1;
- các đầu cuối của đường dây viễn thông và thiết bị theo IEC 61000-4-5, ITU-T K.20 và ITU-T K.21;
- các đầu cuối của các đường dây và thiết bị khác theo thông tin thu được từ nhà chế tạo.

Nhà chế tạo các thành phần điện và điện tử cần có khả năng cung cấp thông tin về mức miễn nhiễm cần thiết theo các tiêu chuẩn EMC. Nếu không thì nhà chế tạo tuabin gió cần thực hiện các thử nghiệm để thiết lập mức miễn nhiễm.

Mức miễn nhiễm được thiết lập của các thành phần bên trong khu vực LPZ trực tiếp xác định bảo vệ cần thiết cần đạt được tại ranh giới khu vực LPZ.

Miễn nhiễm hệ thống phải được xác nhận bao gồm tất cả các SPD được lắp đặt và thiết bị được bảo vệ nếu có. Các phương pháp thử nghiệm có thể có được mô tả trong Phụ lục H.

8.5.6.9 Quá điện áp tạo ra trong tuabin gió

Có thể áp dụng các yêu cầu cụ thể cho các SPD do các biến động điện áp lớn và quá điện áp tạm thời trong hệ thống điện của tuabin gió. Trong trường hợp như vậy, các bộ phận liên quan của hệ thống điện và mức điện áp, mức dòng điện và thời gian phải được xác định bằng cách phân tích và/hoặc thử nghiệm và các SPD đã chọn một cách phù hợp. Ví dụ được nêu trong Phụ lục F.

Phải cung cấp bằng chứng về các SPD đã chọn có thể chịu được các mức ứng suất cụ thể này.

8.5.6.10 Lựa chọn các SPD đối với dòng phóng điện I_n và dòng điện xung I_{imp}

Nên phân tích phân bố dòng điện sét trong tuabin gió theo IEC 62305-4. Dựa trên các tính toán này, các SPD có thể được chọn đối với dòng phóng điện I_n và dòng điện xung I_{imp} .

Các SPD dùng cho các mạch điện tiếp xúc đặc biệt có thể đòi hỏi mức độ cao hơn so với các mức đưa ra trong TCVN 7447-5-53 (IEC 60364-5-53) hoặc các mạch điện này cần được che chắn. Các mạch điện này tiếp xúc đặc biệt với các ứng suất lớn hoặc các ứng suất lặp lại cần được nhận biết bằng phân tích. Nếu có thể, các mạch điện tiếp xúc này bên trong các hệ thống điện và điều khiển của tuabin gió phải được ghi thành tài liệu trong sơ đồ đi dây của nhà chế tạo tuabin gió. Thông tin chi tiết về điều này đưa ra trong Phụ lục F.

8.5.6.11 Lựa chọn các SPD liên quan đến dòng điện ngắn mạch, thông số ngắt dòng kéo theo và chu kỳ làm việc (tuổi thọ vận hành) của các thiết bị SPD

Thông số đặc trưng của khả năng chịu dòng ngắn mạch của tổ hợp các SPD và thiết bị bảo vệ quá dòng (OCPD – ví dụ cầu chảy) và thông số đặc trưng ngắt dòng kéo theo của SPD như công bố của nhà chế tạo SPD phải bằng hoặc lớn hơn dòng ngắn mạch lớn nhất dự kiến tại điểm lắp đặt. Ngoài ra, khi thông số đặc trưng ngắt dòng kéo theo được công bố cho SPD, bằng tính toán hoặc bằng thử nghiệm, phải chứng tỏ rằng thiết bị OCPD thực tế được đặt trong mạch điện cụ thể sẽ không tác động.

CHÚ THÍCH: Nhà chế tạo SPD có thể cung cấp thông tin về tuổi thọ vận hành của SPD.

8.5.6.12 Phản ứng của SPD trong trường hợp cú sét chùm

Do tần suất sét đánh tương đối cao vào tuabin gió và bản chất quan trọng của hệ thống lắp đặt SPD trong tuabin gió, các SPD phải có khả năng chịu được cú sét đánh chùm.

8.5.7 Phương pháp thử nghiệm đối với các thử nghiệm miễn nhiễm hệ thống

Các phương pháp thử nghiệm sơ bộ nêu trong Phụ lục H.

8.6 Hệ thống điện cao áp (HV)

Tuabin gió lớn thường được nối qua một máy biến áp cao áp (HV) đến hệ thống cáp ngầm HV có thể nối một loạt các tuabin gió trực tiếp đến lưới điện hoặc đến trạm biến áp tăng áp đến điện áp của hệ thống truyền dẫn ở, ví dụ, 132 kV.

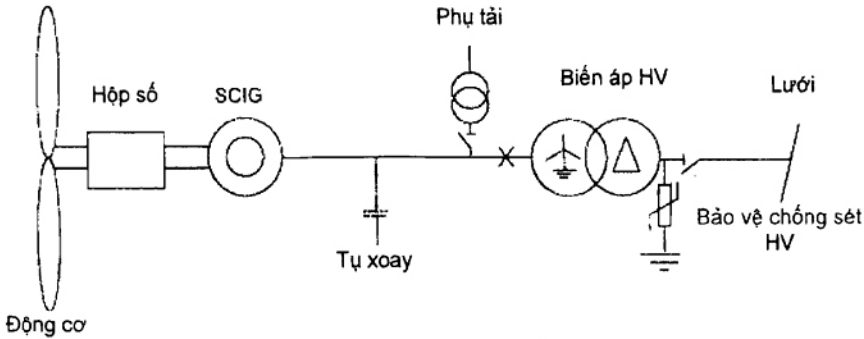
Máy biến áp cao áp của tuabin gió có thể được đặt ở phía sau vỏ tuabin, trong phần đáy của cột tháp hoặc bên cạnh cột tháp tuabin gió.

Các thiết bị bảo vệ đột biến HV thường được gọi là các bộ bảo vệ chống sét. Trong một ứng dụng tuabin gió, các bộ bảo vệ chống sét bảo vệ máy biến áp và hệ thống điện cao áp nói chung chống lại sự gia tăng điện thế đất do các dòng điện sét dẫn qua hệ thống nối đất tuabin gió, và để bảo vệ chống các chuyển tiếp tức thời đưa vào tuabin gió từ hệ thống cáp HV bên ngoài tuabin gió. Cần đánh giá sự cần thiết của các bộ bảo vệ chống sét trên phía HV của máy biến áp dựa trên các nguyên tắc trong IEC 62305-2 (xem Điều 7 và Phụ lục B).

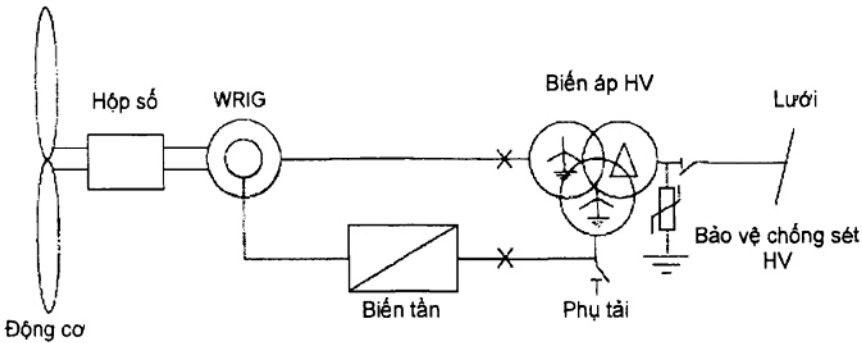
TCVN 10687-24:2015

Việc đánh giá các mức quá độ từ hệ thống cáp HV bên ngoài tuabin gió đòi hỏi các mô phỏng mạng điện quá độ đặc biệt. Các nghiên cứu được thực hiện theo IEC 60071. Trong trường hợp không thực hiện các nghiên cứu này, các bộ bảo vệ chống sét HV là thích hợp để phòng ngừa chung.

Các bộ bảo vệ chống sét HV phải là các bộ bảo vệ chống sét oxit kim loại có các khe trống phù hợp với IEC 60099-4 và phải được chọn và áp dụng phù hợp với IEC 60099-5.



Hình 4a – Máy phát cảm ứng động cơ lồng sóc (SCIG)



Hình 4b – Máy phát cảm ứng động cơ dây quấn (WRIG)

Hình 4 – Ví dụ về vị trí của bộ bảo vệ chống sét HV trong hai mạch điện chính điển hình của tuabin gió

Các bộ bảo vệ chống sét cao áp ưu tiên đặt tại các đầu cuối của máy biến áp HV như trên Hình 4 nhờ đó cung cấp bảo vệ tối đa cho máy biến áp. Tuy nhiên, có thể thuận tiện để đặt các bộ bảo vệ chống sét tại thiết bị đóng cắt. Nói chung, khoảng cách 10 m đến 40 m giữa bộ bảo vệ chống sét và thành phần được bảo vệ là chấp nhận được tùy thuộc vào mức cách điện của các thành phần, nếu khoảng cách lớn hơn, cần có nghiên cứu chặt chẽ hơn để quyết định, chẳng hạn như nếu đối với các bảo vệ chống sét ở đáy cột tháp có thể cung cấp bảo vệ cần thiết cho máy biến áp đặt trong vỏ tuabin hay không. Nếu máy biến áp đặt bên ngoài cột tháp, quan trọng là hệ thống nối đất của biến áp được nối với hệ thống nối đất của tuabin gió, và tốt nhất là cùng một hệ thống nối đất.

Các SPD ở phía hạ áp (LV) của máy biến áp HV có thể là một biện pháp phòng ngừa chung thích hợp, đặc biệt nếu quá độ đáng kể có thể đi qua các máy biến áp từ phía cao áp, trong trường hợp đó, cần chọn được kiểu SPD cho ứng dụng máy biến áp (tức là SPD có khả năng hấp thụ năng lượng cao). Móc vòng quá độ kiểu cảm ứng và kiểu điện dung giữa phía HV và LV của máy biến áp, và do đó cũng là các mức quá độ truyền đến phía LV, phụ thuộc rất nhiều vào thiết kế của máy biến áp và đặc biệt vào nối đất của cuộn dây LV (xem IEC 60071-2, Phụ lục E để biết thêm thông tin). Do đó, chúng nên được sử dụng như biện pháp phòng ngừa chung để lắp đặt SPD trên phía LV của máy biến áp, hoặc một cách khác để thu được mô hình máy biến áp đầy đủ chi tiết từ nhà chế tạo đối với các nghiên cứu quá độ để quyết định xem liệu có cần SPD trên phía LV của máy biến áp không.

CHÚ THÍCH: Tuân thủ các yêu cầu chung đối với hệ thống cao áp trên máy móc theo IEC 60204-11.

9 Nối đất các tuabin gió và trang trại gió

9.1 Qui định chung

Để phân tán dòng điện sét và tránh thiệt hại cho tuabin gió, hệ thống nối đất hiệu quả cho máy móc là thiết yếu. Hệ thống nối đất cũng phải bảo vệ cho người và gia súc khỏi điện giật. Khi sự cố xảy ra trong lưới điện, cần phải giới hạn việc tăng các điện áp bước và điện áp chạm và toàn bộ điện thế đất tăng ở mức an toàn cho đến khi các thiết bị bảo vệ tác động và làm ngắt một cách an toàn dòng điện sự cố. Đối với sét, hệ thống nối đất phải phân tán và dẫn dòng điện sét tần số cao và năng lượng cao xuống đất mà không có bất kỳ hiệu ứng nhiệt và/hoặc điện động nguy hiểm.

Nhìn chung, cần thiết lập một hệ thống nối đất cho tuabin gió để bảo vệ chống sét cũng như cho mục đích nối đất hệ thống điện. Hơn nữa, nên có các bộ phận kim loại trong các kết cấu móng của hệ thống nối đất, vì sử dụng các bộ phận kim loại của kết cấu nền móng lớn sẽ tạo ra trở kháng nối đất thấp nhất có thể, và sự tách biệt giữa hệ thống nối đất và các bộ phận kim loại của móng dẫn đến nguy hiểm kết cấu, đặc biệt đối với các móng bê tông.

Liên quan đến thiết kế hệ thống đầu thu sét để ngăn chặn điện áp bước và điện áp chạm cao do hồng học trong các thành phần điện áp cao, tham khảo các quy tắc điện áp cao như CENELEC HD637 S1 hoặc tiêu chuẩn quốc gia có liên quan. Liên quan đến an toàn cho người, tham khảo TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1) và TCVN 9621-4 (IEC 60479-4).

9.1.1 Yêu cầu cơ bản

Hệ thống nối đất của tuabin gió được thiết kế để cung cấp đầy đủ bảo vệ chống thiệt hại do sét đánh tương ứng với mức LPL mà hệ thống bảo vệ tuabin gió được thiết kế.

Hệ thống đầu thu sét phải được thiết kế để đáp ứng bốn yêu cầu thiết kế cơ bản:

a) đảm bảo an toàn cá nhân liên quan đến các điện áp bước và điện áp chạm xuất hiện trong các sự cố tiếp đất;

TCVN 10687-24:2015

- b) tránh thiệt hại cho thiết bị;
- c) chịu được các ứng suất nhiệt và lực điện động trong quá trình sự cố;
- d) có đủ độ bền cơ khí và chống ăn mòn trong thời gian dài.

9.1.2 Bố trí điện cực đất

Áp dụng hai cách bố trí điện cực đất cơ bản được mô tả trong IEC 62305-3 cho các tuabin gió:

- **Bố trí kiểu A:** Bố trí này không được khuyến cáo cho tuabin gió, nhưng có thể được sử dụng cho các tòa nhà nhỏ (ví dụ cho các tòa nhà có thiết bị đo hoặc các phần xường được nối với trang trại tuabin gió). Các bố trí nối đất kiểu A được thực hiện với các điện cực ngang hoặc thẳng đứng được nối với không ít hơn hai dây dẫn sét trên các kết cấu;

CHÚ THÍCH: Để biết thêm thông tin về các bố trí kiểu A, xem IEC 62305-3, 5.4.2.1.

- **Bố trí kiểu B:** Bố trí kiểu B được khuyến cáo để sử dụng cho các tuabin gió. Kiểu bố trí này bao gồm điện cực đất mạch vòng bên ngoài tiếp xúc với đất tối thiểu 80 % tổng chiều dài của chúng hoặc với điện cực đất móng. Các điện cực mạch vòng và các bộ phận kim loại trong móng phải được nối với kết cấu cột tháp.

9.1.3 Trờ kháng hệ thống nối đất

Trờ kháng nối đất quy ước của hệ thống nối đất không ảnh hưởng đến hiệu quả của hệ thống đầu thu sét và hệ thống dây dẫn sét. Hệ thống nối đất phải được thiết kế để có trở kháng xung càng thấp càng tốt để có thể giảm tổng sụt áp (tức là giảm gia tăng thế đất), để giảm phần dòng điện sét dẫn vào đường dây cung cấp nối với tuabin gió và giảm rủi ro đánh lửa đến đường dây vận hành khác gần hệ thống nối đất.

Độ sâu chôn ngầm và loại điện cực đất phải giảm thiểu các tác động do ăn mòn, độ khô và đóng băng của đất và khi đó làm ổn định trở kháng nối đất quy ước. Việc đánh giá mét đầu tiên của điện cực đất thẳng đứng không được coi là hiệu quả trong điều kiện sương giá.

Các thành phần hệ thống nối đất phải có khả năng chịu được dòng điện sét cũng như dòng điện sự cố hệ thống điện. Điều này được đảm bảo bằng cách chọn các thành phần hệ thống nối đất theo IEC 62305-3. Hệ thống nối đất được phải có kết cấu để phân tán dòng điện sét xuống đất mà không gây hư hỏng về nhiệt hoặc điện động, và chiều dài của dây dẫn phải càng ngắn càng tốt.

Thông tin bổ sung được nêu trong Phụ lục I, I.2.2.

9.2 Liên kết đẳng thế

9.2.1 Qui định chung

Đạt được đẳng thế bằng cách nối LPS với

- bộ phận kim loại của kết cấu;

- hệ thống lắp đặt kim loại;
- hệ thống bên trong;
- bộ phận dẫn điện bên ngoài và các đường dây cung cấp được nối tới kết cấu.

Khi thiết lập liên kết đẳng thế sét cho các hệ thống bên trong, phần dòng điện sét có thể chạy qua các hệ thống này và ảnh hưởng của chúng phải được tính đến.

Cách để đạt được liên kết đẳng thế sét của đường dây cung cấp ví dụ như đường dây viễn thông và đường dây điện là rất quan trọng và phải được thảo luận với nhà vận hành mạng viễn thông, nhà vận hành hệ thống điện và các nhà vận hành hay cơ quan quản lý liên quan, khi có thể có các yêu cầu mâu thuẫn.

9.2.2 Liên kết đẳng thế sét cho hệ thống lắp đặt kim loại

Các đầu nối liên kết đẳng thế sét phải được thực hiện càng trực tiếp và càng thẳng càng tốt.

Giá trị mật cắt tối thiểu của các dây dẫn liên kết nối các điểm/thanh liên kết khác nhau và của các dây dẫn nối các điểm/thanh với hệ thống đầu thu sét được liệt kê trong Bảng 5.

Giá trị mật cắt tối thiểu của các dây dẫn liên kết nối hệ thống lắp đặt kim loại bên trong với các điểm/thanh liên kết được liệt kê trong Bảng 6.

Bảng 5 – Kích thước nhỏ nhất của dây dẫn nối các điểm/thanh liên kết khác nhau hoặc nối các điểm/thanh liên kết với hệ thống đầu thu sét (Bảng 8 trong IEC 62305-3)

Cấp LPS	Vật liệu	Tiết diện mm ²
Từ I đến IV	Đồng	14
	Nhôm	22
	Thép	50

Bảng 6 – Kích thước nhỏ nhất của dây dẫn nối các bố trí kim loại bên trong với các điểm/thanh liên kết (Bảng 9 trong IEC 62305-3)

Cấp LPS	Vật liệu	Tiết diện mm ²
Từ I đến IV	Đồng	5
	Nhôm	8
	Thép	16

9.2.3 Hệ thống LPS được cách điện

Không khuyến cáo sử dụng hệ thống LPS được cách điện bên ngoài cho tuabin gió.

9.3 Thành phần kết cấu

9.3.1 Qui định chung

Nói chung, tất cả các thành phần dẫn điện của kết cấu tuabin gió sẽ có thể dẫn một phần dòng điện sét và do đó phải thực hiện liên kết đẳng thế các thành phần dẫn điện của kết cấu.

9.3.2 Cột tháp kiểu hình ống kim loại

Cột tháp được coi như dây dẫn nối đất bảo vệ chính (PE) và kết nối liên kết đẳng thế.

Do chiều cao cột tháp, sét đánh trực tiếp vào kết cấu cột tháp phải được dự kiến và do đó được xem xét trong thiết kế cột tháp. Tất cả các thành phần dẫn điện và tất cả các bộ phận kim loại lớn có thể dẫn dòng điện sét phải được liên kết với cột tháp. Cột tháp phải được sử dụng như dây dẫn sét và được cấu tạo theo cách để dòng điện sét có thể dẫn dọc theo nó mà không bị cản trở.

9.3.3 Cột tháp bê tông cốt thép

Cột tháp được coi là các dây dẫn nối đất bảo vệ chính (PE) và kết nối liên kết đẳng thế. Do chiều cao cột tháp, sét đánh trực tiếp vào kết cấu cột tháp phải được dự kiến và do đó được xem xét trong thiết kế cột tháp (xem IEC 62305-3, E.4.3).

Hệ thống bảo vệ chống sét bên ngoài có thể được xem xét để sử dụng với cột tháp bê tông, nhưng phải luôn được liên kết với cốt thép của cột tháp.

Đầu ra của liên kết đẳng thế được nối vào cốt thép phải được đặt tại các điểm đầu cuối cố định để liên kết thiết bị bên trong cột tháp. Cột tháp bê tông cốt thép được thiết kế theo 9.3.6.

9.3.4 Cột tháp dạng lưới đan

Một cột tháp dạng lưới đan bảo vệ các phần bên trong cột tháp khỏi sét đánh trực tiếp và làm suy giảm một phần trường điện từ sét, do đó khoảng không bên trong cột tháp được xác định là LPZ 0_B. Dây dẫn sét phải được thực hiện thông qua các phần tử kết cấu cột tháp dạng lưới đan, do đó phải đáp ứng các kích thước yêu cầu cho các dây dẫn sét cho trong IEC 62305-3 tính đến cả phân dòng giữa các đường dẫn song song.

Có thể đạt được việc bảo vệ cáp bằng cách đặt chúng vào các góc bên trong đường bao kim loại chân cột tháp. Các ống dẫn hoặc máng bảo vệ cáp được đặt bên trong cột tháp dạng lưới đan cũng sẽ cung cấp bảo vệ.

9.3.5 Hệ thống bên trong cột tháp

Các hệ thống bên trong cột tháp phải được xác định như một hoặc nhiều vùng bảo vệ chống sét (LPZ) mà mức bảo vệ yêu cầu cho thiết bị bên trong phải được đánh giá như trong 8.5.

Các hệ thống thang phải được liên kết vào cột tháp tại mỗi đầu, cứ mỗi khoảng cách 20 m và tại mỗi bộ máy.

Các đường ray, dẫn hướng cho cần trục, ống thủy lực, các dây bảo vệ riêng và các thành phần khác dẫn qua cột tháp phải được liên kết ở mỗi đầu. Ngoài ra, đối với cột tháp dạng lưới đan, liên kết phải được thực hiện cứ mỗi 20 m, nếu có thể.

Hệ thống nối đất cho biến áp HV phải được liên kết với hệ thống nối đất tuabin gió. Không khuyến cáo sử dụng các hệ thống đầu thu sét riêng rẽ cho các hệ thống điện và bảo vệ chống sét.

9.3.6 Móng bê tông

Vì cốt thép kim loại của móng tuabin gió sẽ luôn là một phần tuyến dẫn dòng điện sét hay dòng sự cố đến đất ở xa do các đầu nối điện và cơ với cột tháp, cốt thép kim loại trong móng sẽ luôn được coi là một phần của hệ thống LPS.

Phải đảm bảo tính liên tục về điện của khung thép trong các kết cấu bê tông cốt thép. Khung thép trong các kết cấu bê tông cốt thép được coi là liên tục về điện nếu các bộ phận chính của các thanh dọc và ngang được kết nối với nhau. Các kết nối giữa các bộ phận gia cố bằng kim loại phải được hàn, kẹp hoặc được chồng lên nhau một đoạn bằng tối thiểu là 20 lần đường kính của chúng và buộc bằng dây dẫn điện hoặc nối chắc chắn theo một cách khác. Cần đặc biệt thận trọng tại các mối liên kết để tránh thiệt hại cho bê tông do phóng điện hồ quang cục bộ qua các tiếp xúc không tốt.

Kết nối giữa các phần tử cốt thép phải được nhà thiết kế quy định, và người lắp đặt phải thực hiện kiểm soát chất lượng của các kết nối. Luôn có yêu cầu đối với các kết nối ngắn và thẳng cho nối đất bảo vệ chống sét.

Nếu cốt thép bằng kim loại được sử dụng cho bảo vệ nối đất hệ thống điện, độ dày của các thanh cốt thép bằng kim loại và các kết nối phải tuân thủ các yêu cầu đối với hệ thống nối đất hệ thống điện mà thường được quy định trong quy tắc điện.

Đầu ra liên kết bên ngoài, đo hoặc mở rộng hệ thống đầu thu sét phải được thực hiện tại các vị trí thích hợp trên móng.

9.3.7 Móng khu vực có đá

Trong các khu vực có đá, điện trở suất thấp nhất thường ở trên mặt đá.

Phải sử dụng hệ thống đầu thu sét kiểu B. Xem I.1.1 để biết thêm thông tin về các chi tiết thiết kế.

Nên sử dụng ít nhất hai điện cực vòng đồng tâm để bảo vệ điện áp bước và điện áp chạm mà có thể kết hợp với các điện cực thẳng đứng được khoan vào đá.

TCVN 10687-24:2015

Các bulông neo vào đá phải được nối với nhau và với hệ thống đầu thu sét vòng. Nếu sử dụng bê tông cốt thép, tham khảo 9.3.6.

Trong các khu vực có đá, có thể không tiếp cận được với trở kháng đất thấp khi không thiết lập nhiều hệ thống đầu thu sét mờ rộng. Vì thế trong các khu vực như vậy, cần tập trung vào việc kiểm soát chênh lệch điện thế bề mặt để hạn chế điện áp bước và điện áp chạm trên bề mặt mà con người và vật nuôi có khả năng hiện diện, chẳng hạn đặt một hoặc nhiều điện cực vòng xung quanh các tuabin gió và các hệ thống lắp đặt khác, trong khi cung cấp bảo vệ đột biến cho tất cả các đường dây cung cấp nối các tuabin gió với hệ thống thu gom điện năng và hệ thống viễn thông (xem 8.5).

9.3.8 Móng đơn trụ kim loại

Móng đơn trụ kim loại có bản chất là một điện cực đất lớn. Nó được sử dụng như điện cực đất chính.

Hệ thống điện cực vòng để kiểm soát chênh lệch điện thế bề mặt gần với móng có thể cần thiết phụ thuộc vào điện trở suất của đất.

9.3.9 Móng ngoài khơi

Điện trở suất của nước biển có thể coi là thấp hơn hầu hết các loại đất. Do đó, đối với một móng ngoài khơi, như móng bê tông cốt thép kim loại hay móng đơn trụ, thì các yêu cầu hệ thống nối đất được coi là đáp ứng và không yêu cầu biện pháp bổ sung như điện cực vòng, v.v.... Việc nối liên kết các móng ngoài khơi không phải bằng cách đấu các vỏ cáp của hệ thống thu nhận thường không được yêu cầu.

Các hệ thống nối đất bên ngoài của đồng không thể sử dụng ngoài khơi do các vấn đề ăn mòn.

9.4 Kích thước hình dạng điện cực

Chiều dài tối thiểu, l_1 , của các điện cực đất phụ thuộc vào cấp bảo vệ chống sét (I đến IV) và điện trở suất của đất.

Đối với các điện trở suất của đất cao hơn 500 Ωm , chiều dài tối thiểu, l_1 , tăng tuyến tính tới 80 m tại điện trở suất của đất là 3 000 Ωm

Bố trí kiểu B bao gồm hoặc một dây dẫn vòng bên ngoài kết cấu được bảo vệ, tiếp xúc với đất ở ít nhất 80 % tổng chiều dài, hoặc một điện cực đất móng. Các điện cực đất này cũng có thể được nối với nhau.

Đối với điện cực đất vòng (hoặc điện cực đất móng), bán kính trung bình, r_e , của diện tích được bao quanh bởi điện cực đất vòng (hoặc điện cực đất móng) không được nhỏ hơn giá trị l_1 :

$$r_e \geq l_1 \quad (17)$$

trong đó l_1 được biểu diễn trong Phụ lục I, Hình I.1 theo các cấp LPS I, II, III và IV.

Khi giá trị yêu cầu của l_1 lớn hơn giá trị thích hợp r_e , các điện cực bổ sung nằm ngang hoặc thẳng đứng (hoặc nghiêng) phải được cộng thêm các đoạn l_r (nằm ngang) và l_v (thẳng đứng) theo công thức sau:

$$l_r = l_1 - r_e \quad (18)$$

$$l_v = (l_1 - r_e)/2 \quad (19)$$

Số lượng điện cực không được nhỏ hơn hai.

Các điện cực bổ sung phải được nối càng cách đều càng tốt.

Chiều dài tối thiểu đã đưa ra, l_1 có thể bỏ qua nếu điện trở đất của hệ thống nối đất nhỏ hơn 10Ω được đo tại một tần số khác với tần số điện (50 Hz đến 60 Hz) và các sóng hài bậc thấp của giá trị.

Thông tin về điện trở suất của đất, dòng điện sự cố nối đất kỳ vọng và thời gian giải trừ là vô cùng quan trọng trong việc lập kế hoạch thiết kế và lắp đặt chính xác hệ thống nối đất.

Điện trở suất đất sẽ rất khác nhau phụ thuộc vào đặc trưng của đất. Các phương pháp tính toán cần thiết cho điện cực đất theo địa hình và các dạng vật lý được nêu trong Phụ lục I.

9.5 Trang trại gió

Một trang trại gió thường bao gồm một số kết cấu như các tuabin gió, các tòa nhà, cơ sở hạ tầng của cáp hoặc đường dây trên không, các trạm biến thế cao áp và các cáp tín hiệu.

Mỗi tuabin gió phải có hệ thống nối đất riêng của mình. Các hệ thống nối đất của các tuabin gió riêng và các trạm phụ tải cao áp thích hợp được nối với các dây dẫn nối đất nằm ngang, để tạo thành một hệ thống nối đất trang trại gió tổng thể. Điều này đặc biệt có lợi trong trường hợp khó thu được trở kháng nối đất tốt tại mỗi vị trí tuabin gió riêng.

CHÚ THÍCH: Các kết nối giữa các hệ thống nối đất tuabin gió phải thực hiện bằng các dây dẫn đất theo các tuyến cáp thu gom điện năng nối với các tuabin gió.

Hệ thống nối đất của một trang trại gió rất quan trọng đối với việc bảo vệ các hệ thống điện, bởi vì một hệ thống nối đất trở kháng thấp giảm chênh lệch điện thế giữa các kết cấu khác nhau của trang trại gió và do đó giảm nhiều đưa vào các liên kết điện.

Để giảm xác suất sét đánh trực tiếp tới các tuyến cáp trên mặt đất và giảm các ảnh hưởng hiệu ứng sét gây ra trên các dây cáp, một dây dẫn nối đất hoặc, trong trường hợp các tuyến cáp rộng hơn, một số dây dẫn nối đất được đề xuất lắp đặt trên các tuyến cáp.

9.6 Thực thi và bảo trì hệ thống đầu thu sét

Nhà thiết kế hệ thống nối đất phải chuẩn bị một kế hoạch lắp đặt, trong đó mô tả cách bố trí hệ thống nối đất có chi tiết các điểm kết nối, sử dụng các kết nối, kẹp và mối hàn, vị trí và tổng số đầu ra và kiểu và chất lượng của chúng. Thực hiện kiểm tra trong quá trình xây dựng, đặc biệt trước khi đổ bê tông.

CHÚ THÍCH: Các quy tắc điện có thể yêu cầu đo điện trở nối đất.

Hướng dẫn sửa chữa và bảo dưỡng phải mô tả mức độ thường xuyên và cách kiểm tra và bảo trì hệ thống nối đất. Khoảng thời gian kiểm tra phải được thống nhất giữa các nhà thiết kế và các nhà vận

TCVN 10687-24:2015

hành các tuabin gió. Phải tính đến môi trường khắc nghiệt mà có thể cần thiết kiểm tra thường xuyên hơn. Nếu các thành phần trong hệ thống nối đất được dự kiến có tuổi thọ nhất định, khoảng thời gian kiểm tra không thể dài hơn so với tuổi thọ mong đợi ngắn nhất của các thành phần.

10 An toàn cá nhân

Việc lắp dựng các tuabin gió lớn trên mặt đất phải mất nhiều ngày, bao gồm cả thời gian cần để lắp ráp và tháo rời cần cẩu lớn được sử dụng. Mặt khác, các tuabin gió ngoài khơi có thể được dựng lên trong vòng chưa đầy một ngày bằng cách sử dụng tàu đặc biệt hoặc các tời nâng. Trong mọi trường hợp, thường tới một vài tuần sau khi công việc lắp dựng hoàn thành trước khi tuabin gió được chuyển giao. Trong thời gian này, nhiều người làm việc trong, trên và xung quanh tuabin gió, và họ có nguy cơ đáng kể bị ảnh hưởng nếu sét đánh tuabin gió. Do đó, các quy trình an toàn liên quan đến sét phải được thiết lập. Các quy trình đó phải bao gồm:

- Kiểm tra thường xuyên dự báo thời tiết địa phương (ví dụ cứ mỗi buổi sáng);
- Đào tạo sơ cấp cứu cho nhân viên liên quan đến tổn thương sét và thương tích do tai nạn điện;
- Ứng dụng các kết nối hệ thống nối đất trung gian càng sớm càng tốt;
- Xác định các địa điểm an toàn;
- Thông tin về tín hiệu cảnh báo sét cho tất cả mọi người trên hiện trường;
- Hướng dẫn nhân viên liên tục tìm các đám mây dông đang hình thành, nghe sấm và nhìn chòm sét
 - phải nhận thức được những dấu hiệu của điện trường cao từ các đám mây dông, chẳng hạn như tóc dựng đứng, các âm thanh lép bép hay ánh sáng phát từ chân trời như các hệ thống đầu thu sét;
 - dừng công việc và đi đến vị trí an toàn gần nhất khi đe dọa sét đánh đã được thấy rõ hoặc nhận được tín hiệu cảnh báo sét.

Quy trình an toàn như vậy phải có trong chương trình sức khỏe và an toàn của công trường và phải có trong hướng dẫn lắp dựng tuabin gió cũng như hướng dẫn bảo trì và sửa chữa được nhà cung cấp tuabin gió đưa ra.

Văn phòng thời tiết thường cung cấp các dự báo bão khá chính xác và thậm chí cung cấp các dịch vụ cảnh báo qua điện thoại, fax hoặc internet, mà dứt khoát phải được xem xét. Tuy nhiên, nó không thay thế được chỉ dẫn cho người ở hiện trường tìm kiếm các đám mây dông đang hình thành, sấm (âm thanh trong vòng 10 km đến 15 km) và sét (có thể nhìn thấy trong ~ 30 km). Khu vực địa phương và thậm chí phát hiện sét đánh di động và các thiết bị cảnh báo bão, mà có thể hữu ích, có sẵn từ các nhà chế tạo khác nhau.

Một số hệ thống cảnh báo sét có thể không cung cấp cảnh báo cho tất cả các chòm sét, đặc biệt với chòm sét đánh đầu tiên trong một cơn bão đang phát triển. Do đó, điều quan trọng là tất cả các nhân viên phải nhận thức được rủi ro của sét đến an toàn cá nhân của họ.

Trong công trường làm việc, kết nối các cần cầu, máy phát điện, v.v... vào hệ thống nối đất phải được thực hiện càng sớm càng tốt.

Người làm việc ở bên ngoài của vỏ tuabin và trên các cánh chắc chắn không an toàn, cũng như người đang đi bên ngoài cột tháp tuabin gió, đang đứng bên cạnh cột tháp, đang leo thang, chạm vào hoặc làm việc trên mạch điện, hệ thống thông tin liên lạc có dây, v.v... sẽ có nguy cơ nếu sét đánh tuabin gió. Do đó họ cần được hướng dẫn ngừng làm việc và đi đến các địa điểm an toàn cho đến khi nguy hiểm đã qua.

Thông thường, sàn bên trong cột tháp hình ống được coi là các vị trí an toàn, vì cột tháp gần như là một lồng Faraday hoàn hảo. Mọi người trong tuabin gió cần được hướng dẫn dừng công việc và đi đến mặt sàn gần nhất bên trong cột tháp và ở lại đó cho đến khi cơn bão đi qua. Nơi an toàn khác là bên trong xe có mái kim loại, các thùng kim loại, v.v....

CHÚ THÍCH 1: Mọi người cần được hướng dẫn để đứng hoặc ngồi trên mặt sàn và tránh tiếp xúc với các hệ thống dẫn điện mở rộng theo chiều dọc trong cột tháp như hệ thống điện.

Vì có thể khó khăn để giao tiếp hiệu quả trong khu vực xây dựng, một số loại tín hiệu âm thanh cảnh báo, phát thanh, phương tiện hiệu quả tương đương với cảnh báo điện rộng cần được thống nhất (chỉ có thể được lặp đi lặp lại tiếng còi xe của còi xe hoặc một còi khí nén).

CHÚ THÍCH 2: Tài liệu tuabin gió cần xác định vị trí an toàn trong tuabin gió gồm cả khoảng cách an toàn cần thiết và biện pháp phòng ngừa khác được thực hiện bởi những người đang ở vị trí an toàn. IEC 62305-3 cung cấp hướng dẫn về cách thực hiện đánh giá chi tiết về khoảng cách an toàn.

11 Tài liệu cho hệ thống bảo vệ chống sét

11.1 Qui định chung

Điều này tóm tắt tất cả các tài liệu cần thiết tại các điều khác. Các mô tả được rút ngắn và nhóm lại để cải thiện cái nhìn qui định chung.

Tài liệu hướng dẫn trong quá trình đánh giá thẩm định thiết kế được đưa ra trong 11.2, và cho đánh giá hiện trường trong 11.3. Tài liệu cần thiết để kiểm tra trước hệ thống bảo vệ chống sét được đưa ra trong 11.4, và hướng dẫn sử dụng được liệt kê trong 11.5.

Tài liệu hoặc có thể là một tài liệu duy nhất, hoặc viện dẫn theo tài liệu chuẩn.

11.2 Tài liệu cần thiết trong quá trình đánh giá thẩm định thiết kế

Tài liệu chung (11.2.1) phải tập trung vào các tuabin gió như một tổng thể triết lý bảo vệ được sử dụng. Chúng phải liên kết với các tài liệu khác, chi tiết hơn về các cánh động cơ, cơ khí, điện, liên kết, các hệ thống nối đất và các hệ thống khác (11.2.2 đến 11.2.6).

TCVN 10687-24:2015

11.2.1 Tài liệu chung

- a) Bản vẽ sắp xếp tổng thể (biểu diễn bằng đường một nét) bảo vệ chống sét các tuabin gió bao gồm:
- 1) Các kết nối và các kết cấu riêng biệt
 - 2) Các sơ đồ mạch biểu diễn khu vực LPZ và ranh giới của chúng, ví dụ Phụ lục E đưa ra tài liệu cơ bản;
 - 3) các hệ thống đầu thu sét;
 - 4) vị trí các dây dẫn sét;
 - 5) kiểm soát điện thế bề mặt và các điện cực đất;
 - 6) vị trí các dây dẫn liên kết và các thanh liên kết;
 - 7) vị trí các SPD;
 - 8) các điểm nối vỏ cáp.

Thiết kế

- 1) mô tả cách dẫn dòng điện sét từ điểm chặn;
 - 2) cấp bảo vệ chống sét được sử dụng cho thiết kế;
 - 3) nếu sử dụng nhỏ hơn mức LPL I thì đánh giá phải được chứng minh bằng tài liệu;
 - 4) phân tích phân bố dòng điện sét trong tuabin gió;
 - 5) lựa chọn và kiểm tra phối hợp năng lượng của SPD.
- các quy trình an toàn cá nhân liên quan đến sét.

11.2.2 Tài liệu cho các cánh của động cơ

- a) Bản vẽ các cánh động cơ bao gồm:
- 1) dây dẫn sét qua các mặt cắt ngang;
 - 2) bất kỳ thành phần dẫn điện bổ sung;
 - 3) các chi tiết liên kết.
- b) Bản mô tả gồm:
- 1) lắp đặt các hệ thống dây dẫn sét và dây thu sét;
 - 2) các biện pháp thực hiện để tránh hồ quang bên trong cánh;
 - 3) xác định kiểm tra và bảo dưỡng cần thiết cho hệ thống dây thu sét, khe đánh lửa hay các công tắc trượt;

- 4) xác định kiểm tra và bảo dưỡng cần thiết cho hệ thống dây dẫn sét và các thành phần kết nối;
 - 5) các chỉ dẫn kiểm tra và bảo dưỡng.
- c) Tài liệu về phương pháp xác minh biểu diễn khả năng của hệ thống dây thu sét để ngắt sét đánh và dòng điện sét dẫn thích hợp.

11.2.3 Tài liệu cho các hệ thống cơ khí

- a) Xác minh khả năng dẫn dòng điện sét.
- b) Mô tả các biện pháp thực hiện để bảo vệ vòng bi và hệ thống thủy lực tránh tác động của dòng điện sét. Mô tả phải bao gồm các tài liệu, chứng cứ của công nghệ đã được chứng minh và/hoặc báo cáo thử nghiệm cho thấy hiệu quả của các biện pháp bảo vệ.
- c) Nếu không cung cấp bảo vệ, các báo cáo thử nghiệm được yêu cầu cho thấy rằng ngay cả với tác động sét đánh thường xuyên, các vòng bi có thể được vận hành trong vòng đời thiết kế.

11.2.4 Tài liệu của các hệ thống điện và điện tử

- a) thiết kế lắp đặt và bảo vệ các hệ thống điện và điện tử;
- b) kết hợp và lựa chọn SPD;
- c) các mức miễn nhiệm của thiết bị trong các khu vực LPZ;
- d) kế hoạch bảo dưỡng của các SPD;
- e) phân tích xác định nhu cầu đối với các bộ bảo vệ chống sét cao thế.

11.2.5 Tài liệu của các hệ thống đầu thu sét và liên kết

- a) bản vẽ đẳng thế điện chung cho tất cả các liên kết và tiếp đất trong tuabin, biểu diễn hệ thống liên kết đẳng thế điện tổng quát;
- b) các mô tả và bản vẽ có các số liệu liên quan;
- c) mô tả kiểm soát Q_A sẽ được thực hiện cho các kết nối.

11.2.6 Tài liệu của các hệ thống bảo vệ chống sét cho vỏ tuabin, hub và cột tháp

- a) Bản vẽ có các thông tin sau:
 - 1) vỏ tuabin, mâm quay cho thấy các bộ phận kim loại được sử dụng như hệ thống đầu thu sét;
 - 2) các hệ thống đầu thu sét;
 - 3) liên kết;
 - 4) lưới kim loại hoặc ống dẫn kim loại khép kín, nếu có;
 - 5) các biện pháp bảo vệ cho hub và vỏ tuabin.

TCVN 10687-24:2015

- b) Các báo cáo thử nghiệm nếu có.
- c) Liên kết các hệ thống bảo vệ chống sét ngoài cho các cột tháp bê tông với cốt thép kim loại của cột tháp.
- d) Kích thước các phần tử kết cấu của cột tháp dạng lưới đan.

11.3 Thông tin cụ thể ở hiện trường

- a) Sét xuất hiện trong vùng đặt trang trại gió.
- b) Đối với tài liệu nổi đất bổ sung thêm:
 - 1) điện trở suất đất;
 - 2) dòng điện sự cố chạm đất;
 - 3) thời gian giải trừ sự cố chạm đất;
- c) Kế hoạch sức khỏe và an toàn tại công trường.

11.4 Tài liệu cần cung cấp để kiểm tra hệ thống LPS

- a) mô tả hệ thống LPS;
- b) mô tả hệ thống nổi đất;
- c) các báo cáo kiểm tra trước đó, nếu có liên quan.

11.4.1 Báo cáo kiểm tra trực quan LPS

11.4.2 Báo cáo kiểm tra LPS hoàn chỉnh

11.5 Tài liệu hướng dẫn

Các tài liệu hướng dẫn sau đây phải bao gồm các vấn đề liên quan đến hệ thống bảo vệ chống sét và hệ thống đầu thu sét:

- a) tài liệu hướng dẫn về chất lượng;
- b) tài liệu hướng dẫn về lắp đặt móng;
- c) tài liệu hướng dẫn về bảo dưỡng móng;
- d) tài liệu hướng dẫn lắp dựng tuabin gió;
- e) tài liệu hướng dẫn bảo dưỡng và kiểm tra tuabin gió.

12 Kiểm tra hệ thống bảo vệ chống sét

12.1 Phạm vi kiểm tra

Như một phần của khái niệm bảo vệ chống sét, phải thiết lập chương trình kiểm tra. Mục tiêu kiểm tra để đảm bảo rằng:

- hệ thống LPS tiếp tục phù hợp với thiết kế ban đầu dựa theo tiêu chuẩn này;
- tất cả các thành phần của hệ thống LPS đều ở tình trạng tốt và thực hiện tốt các chức năng được thiết kế của chúng.

Hệ thống LPS phải được thiết kế theo cách cho phép người vận hành để đảm bảo nhà vận hành kiểm tra các bộ phận quan trọng của hệ thống.

Nhà chế tạo tuabin gió có trách nhiệm thực hiện một chỉ dẫn kiểm tra/một kế hoạch kiểm tra và bao gồm cả các điểm tự kiểm tra trong hướng dẫn công việc, các tài liệu hướng dẫn bảo dưỡng và sửa chữa tuabin gió và tài liệu hướng dẫn bảo dưỡng móng, v.v...

12.2 Thứ tự kiểm tra

12.2.1 Qui định chung

Một chương trình kiểm tra phải được thiết lập. Các kiểm tra phải được thực hiện phù hợp 12.1 và tối thiểu được thực hiện trong các quy trình sau:

- Sản xuất tuabin gió;
- Lắp đặt tuabin gió;
- Khai thác tuabin gió;
- trong khoảng thời gian hợp lý liên quan đến vị trí của tuabin gió với (khoảng tối đa chung giữa các kiểm tra thường xuyên được đưa ra trong Bảng 7);
- sau các trường hợp mà các bộ phận của tuabin gió đã được tháo dỡ hoặc sửa chữa (tức là các cánh, thành phần chính, các hệ thống điều khiển, v.v...).

12.2.2 Kiểm tra trong quá trình sản xuất tuabin gió

Chương trình kiểm tra có thể được thực hiện bằng nhân viên kiểm tra chất lượng hoặc bằng tự kiểm tra theo báo cáo trong kế hoạch kiểm tra. Trong sản xuất, lắp dựng và lắp đặt các tuabin gió phải được bảo đảm rằng tất cả các lắp đặt và các biện pháp liên quan đến bảo vệ chống sét đều được thực hiện đúng. Tất cả các chi tiết quan trọng được mô tả trong hướng dẫn làm việc, v.v...

12.2.3 Kiểm tra trong quá trình lắp đặt tuabin gió

Hệ thống nối đất phải được kiểm tra cẩn thận trong khi lắp đặt, tập trung đặc biệt vào:

TCVN 10687-24:2015

- thiệt hại cơ học trong đào và lấp;
- ổn định cơ học khi đúc;
- kết nối điện đến các bộ phận kim loại khác (như các thang ngoài trời);
- kết nối các hệ thống nối đất móng;
- kết nối các hệ thống nối đất bên ngoài;
- ăn mòn điện.

Có thể có các bộ phận khác của hệ thống không thể kiểm tra trực quan sau này, mà sẽ yêu cầu tập trung đặc biệt trong quá trình lắp đặt.

12.2.4 Kiểm tra trong quá trình khai thác tuabin gió và kiểm tra định kỳ

Như một bộ phận của việc khai thác tuabin gió, hệ thống bảo vệ chống sét phải được kiểm tra. Điều này phải được thực hiện tối thiểu bằng kiểm tra trực quan - và bằng cách đo liên tiếp ở những nơi không thể kiểm tra hệ thống LPS.

Khi thực hiện kế hoạch kiểm tra, quan trọng là xem xét các điểm sau đây:

- xói mòn và ăn mòn các phần tử đầu thu sét (chỉ kiểm tra định kỳ);
- các thuộc tính cơ và điện của các dây dẫn, các kết nối, các tiếp điểm trượt hoặc các khe đánh lửa;
- điều kiện kết nối, liên kết đẳng thế, có định, v.v...;
- các điều kiện cho SPD;
- ăn mòn các điện cực đất (chỉ kiểm tra định kỳ).

Với các khoảng thời gian nhất định (cho trong Bảng 7), thực hiện kiểm tra hoàn chỉnh gồm các phép đo liên tục ở các bộ phận quan trọng của hệ thống LPS và kiểm tra các SPD mà không được giám sát.

Nhà chế tạo cánh và nhà chế tạo tuabin gió có thể xác định cụ thể trong tài liệu hướng dẫn bảo dưỡng và sửa chữa của mình các khoảng thời gian kiểm tra LPS theo hàm số của N_d , số lượng chùy sét đánh vào tuabin gió mỗi năm dựa trên độ bền của thiết kế bảo vệ chống sét đã được chứng minh trong tài liệu phân tích và thử nghiệm.

Các phép đo liên tục có thể được thực hiện như đo với dòng DC hoặc các phương pháp tương tự. Mục tiêu chính là để đảm bảo tính liên tục của kết nối và không thu nhận một giá trị nhất định. Các giá trị cụ thể có thể được sử dụng để tham khảo giữa các phép đo định kỳ.

Điểm và giới hạn đo phải được xác định rõ trong tài liệu hướng dẫn bảo dưỡng và sửa chữa.

Tính liên tục của dây dẫn sét ở cánh tuabin gió phải được đảm bảo bằng việc xây dựng hệ thống và kiểm tra trong quá trình sản xuất sao cho không cần thiết các phép đo liên tục trong khu vực.

Bảng 7 – Các khoảng thời gian kiểm tra chung của hệ thống LPS

Cấp bảo vệ	Kiểm tra trực quan (mỗi X năm)	Kiểm tra trọn bộ gồm các phép đo liên tục (mỗi X năm)
I và II	1	2
III và IV	1	4

12.2.5 Kiểm tra sau khi tháo dỡ hoặc sửa chữa các bộ phận chính

Sau khi tháo dỡ hoặc sửa chữa các bộ phận chính của tuabin gió, nó phải được bảo đảm rằng tất cả các lắp đặt liên quan đến LPS được phục hồi đúng cách. Nếu cần thiết, phải thực hiện kiểm tra đầy đủ.

Khi các tuabin gió đang hoạt động bình thường, tần suất kiểm tra sẽ được xác định phù hợp với các điều kiện môi trường địa phương, nhưng phải bảo đảm rằng tuabin gió được kiểm tra tối thiểu với tần suất đã đưa ra trong Bảng 7.

12.3 Bảo trì

Kiểm tra thường xuyên là một điều kiện cơ bản để bảo trì đáng tin cậy một LPS tuabin gió.

Nếu thiết kế LPS có các bộ phận hao mòn (điểm đầu thu sét, tiếp điểm trượt cơ học, khe đánh lửa, thiết bị bảo vệ chống sét, v.v...), phải được bảo đảm rằng những bộ phận này được bảo trì thường xuyên khi kiểm tra định kỳ - và phù hợp với vòng đời mong đợi của chúng - hoặc chúng được giám sát với hệ thống giám sát tự động sẽ thông báo cho các nhà vận hành của tuabin gió khi có một thành phần bị lỗi.

Tất cả các thành phần bị mòn hoặc bị lỗi được thay thế ngay.

Phụ lục A

(tham khảo)

Hiện tượng sét liên quan đến các tuabin gió

A.1 Môi trường sét đối với các tuabin gió

A.1.1 Qui định chung

Mục tiêu của Phụ lục A này nhằm trình bày dưới hình thức ngắn gọn thông tin cần thiết nhất về hiện tượng sét có liên quan để hiểu hiện tượng sét và các quá trình liên quan khi sét tương tác với tuabin gió. Thông tin toàn diện hơn có sẵn trong các tài liệu [1]⁴.

A.1.2 Thuộc tính của sét

Sét có thể được coi như một nguồn dòng, và bốn tham số dòng điện sét liên quan đến kết nối với thiết kế và kích cỡ của bảo vệ chống sét là: dòng điện sét đỉnh (I), độ dốc các xung dòng điện sét (di/dt), điện tích dịch chuyển (Q) và năng lượng riêng (W/R).

Giá trị tối đa ghi được của dòng điện sét sinh ra từ một cú sét đơn lá trong vùng từ 2 kA đến 300 kA. Các giá trị tối đa ghi được của điện tích truyền và năng lượng riêng lên đến vài trăm Cu lông (C) và, trong những dịp rất hiếm, lên đến 20 MJ/ Ω . Các tham số dòng điện sét này chi phối phần lớn thiệt hại đến cánh tuabin gió và/hoặc phần cứng hệ thống bảo vệ chống sét. Các dòng điện sét sinh ra các áp lực lớn đôi khi làm vỡ kết cấu composite của cánh. Chúng cũng ảnh hưởng tới độ lớn của các hiệu ứng sét gián tiếp trên các hệ thống điện và điện tử. Điện tích truyền làm nóng chảy tại các vị trí sét đánh vào, như các bộ nhận, và ở những vị trí khác mà dòng điện sét phải đi qua các khe hở trên tuyến dẫn dòng. Các ảnh hưởng của bốn tham số dòng điện sét trên hệ thống bảo vệ chống sét được tóm tắt trong Bảng A.3.

Các giá trị tối đa của các tham số này chỉ xuất hiện trong vài phần trăm các chùm sét đánh. Giá trị trung bình của dòng điện sét đỉnh xấp xỉ 30 kA với giá trị trung bình của điện tích dịch chuyển và năng lượng riêng là 5 C và 55 kJ/ Ω tương ứng. Ngoài ra, các đặc tính điện của dòng điện sét sẽ thay đổi theo loại sét, mùa trong năm và vị trí địa lý.

Các trường điện xuất hiện ngay trước khi có sét đánh vào cũng là một phần của môi trường sét và các trường này xác định nơi sét sẽ đánh vào kết cấu, và các bề mặt không dẫn điện của kết cấu có bị đánh thủng bởi các dải phát xạ và tiên đạo tiếp nối cảm ứng trong trường từ của các phần tử dẫn điện bên trong.

⁴ Chữ số trong ngoặc vuông liên quan đến Thư mục tài liệu tham khảo.

A.1.3 Hình thành phóng sét và các tham số về điện

Sét được sinh ra sau khi có khác biệt điện tích giữa các đám mây dông bởi các quá trình được mô tả trong các tài liệu khoa học (ví dụ [1]). Sét được quan sát thấy khi điện tích này được phóng tới trái đất hoặc tới khu vực mang điện tích trái dấu trong cùng một đám mây hoặc đám mây lân cận. Các thảo luận sau đây chỉ liên quan đến sét đánh xuống trái đất, dẫn đến việc dịch chuyển điện tích giữa đám mây dông và trái đất.

Sét đánh thường bao gồm một số thành phần. Toàn bộ sự kiện theo cùng một đường dẫn ion hóa được gọi là một chùm sét, kéo dài đến khoảng 1 s. Các thành phần riêng của một chùm sét được gọi là các cú sét ngắn và cú sét dài, mà thường được gọi là dòng liên tục.

Sét đánh thuộc một trong hai kiểu cơ bản, sét hướng xuống hoặc sét hướng lên. Sét hướng xuống bắt đầu từ mây dông và hướng về phía trái đất. Ngược lại, sét hướng lên bắt đầu từ một vị trí tiếp xúc trên trái đất (như một đỉnh núi) hoặc ở đỉnh một kết cấu nổi đất cao và hướng về phía đám mây dông. Thông thường, các kiểu cơ bản này được gọi là "sét từ mây xuống đất" hay "sét hướng xuống" và "sét từ đất đến mây" hoặc "sét hướng lên".

Cả hai kiểu sét được chia theo sự phân cực của điện tích dịch chuyển ra khỏi mây dông. Một chùm sét âm kéo điện tích âm từ mây dông xuống đất. Một chùm sét dương dẫn đến điện tích dương từ mây dông xuống đất. Phần lớn các chùm sét là âm, chiếm khoảng 90 % tất cả các chùm sét từ mây xuống đất. Phóng điện tích dương tạo thành khoảng 10 % còn lại của tất cả các chùm sét từ mây xuống đất. Thông thường, các chùm sét dương biểu diễn các tham số dòng điện lớn nhất (tức là I, Q và W/R cao hơn), trong khi các chùm sét âm biểu diễn các xung dòng điện dốc nhất (tức là di/dt cao nhất).

Mỗi lần sét đánh là khác nhau do các biến động tự nhiên trong mây dông tạo ra nó và các đường dẫn riêng xuống đất. Ví dụ, không thể dự báo rằng lần sét đánh kế tiếp tới một kết cấu cụ thể sẽ có dòng điện đỉnh có giá trị biết trước. Chỉ có thể dự báo xác suất mà kết cấu sẽ bị sét đánh với các tham số dòng điện vượt quá một giá trị nhất định.

Phân bố xác suất của các tham số điện được sử dụng để mô tả cú sét đánh đã tạo ra bằng cách sử dụng các phép đo trực tiếp các cú sét thực tế đánh vào các tòa tháp cao [2] [3]. Số liệu thống kê về các tham số dòng điện sét được sử dụng trong các tiêu chuẩn bảo vệ chống sét IEC 62305 (xem Bảng A.1) Thông tin hơn nữa hiện nay đã có sẵn trên toàn thế giới từ các hệ thống vị trí sét khu vực và quốc gia. Các hệ thống này có thể ghi lại vị trí của một cú sét đánh và ước lượng dòng điện đỉnh.

Các phân bố xác suất mà mô tả các tham số dòng điện sét là khác nhau đối với mỗi loại sét (lên/xuống và dương/âm). Các phân bố xác suất thích hợp được mô tả dưới đây cùng với các dạng sóng đặc trưng của từng kiểu phóng điện. Mức xác suất cho trước chỉ ra xác suất của tham số dòng điện quy định của một sét cụ thể vượt quá giá trị trong bảng.

A.1.4 Sét từ mây xuống đất

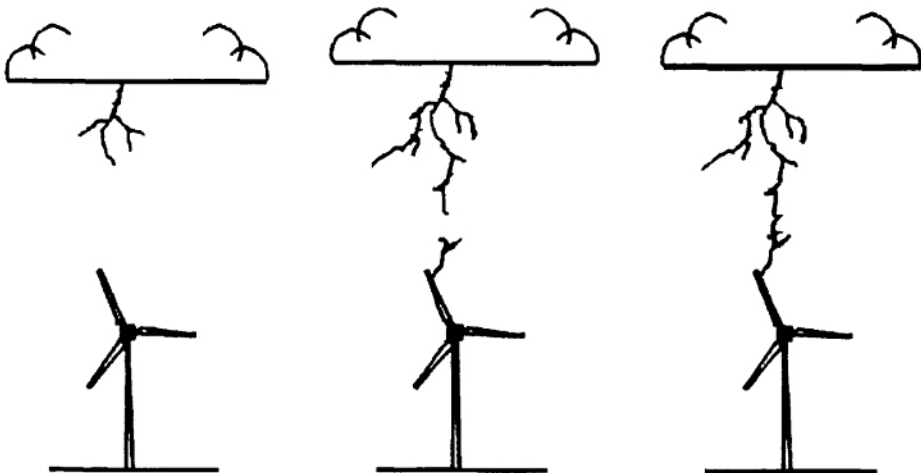
Sét từ mây xuống đất (phóng điện hướng xuống) được hình thành ban đầu bởi sự phóng điện đánh thủng sơ bộ trong đám mây. Tính đến thời điểm này, tính vật lý của quá trình này chưa được hiểu đầy đủ. Các phần của quá trình phóng điện diễn ra bên dưới đám mây được biết nhiều hơn.

A.1.4.1 Sét âm từ mây xuống đất

Trong trường hợp một chùm sét âm, tiên đạo sét từng bậc đi từ đám mây xuống đất theo các bước vài chục mét với thời gian dừng giữa các bước xấp xỉ 50 μ s. Các bước có dòng điện xung thời gian ngắn (điển hình 1 μ s) lớn hơn 1 kA. Khi được phát triển đầy đủ, luồng tiên đạo sét có tổng điện tích khoảng 10 C hoặc lớn hơn. Đường kính luồng trong phạm vi lên đến vài chục mét. Tổng thời gian quá trình tiên đạo sét từng bậc cỡ vài chục mili giây. Luồng tiên đạo sét mờ thường không nhìn thấy được bằng mắt thường.

Kết thúc tiên đạo sét, đầu tiên đạo sét, là tại điện thế vượt quá 10 MV so với trái đất. Khi đầu tiên đạo tiếp cận trái đất, điện thế cao này tăng cường độ điện trường tại bề mặt trái đất. Khi điện trường trên mặt đất vượt quá giá trị đánh thủng không khí, các tiên đạo sét "trả lời" (di chuyển hướng lên) được phát ra từ trái đất hoặc từ các kết cấu trên mặt đất. Các tiên đạo sét dịch chuyển hướng lên này thường được gọi là các tiên đạo sét kết nối. Các tiên đạo sét kết nối đóng một vai trò quan trọng trong việc xác định các điểm sét đánh vào đối tượng.

Khi tiên đạo sét từng bậc đi xuống gặp tiên đạo sét kết nối hướng lên sẽ tạo ra đường dẫn liên tục từ đám mây xuống đất. Điện tích đưa vào luồng tiên đạo sét thường được phóng xuống đất bởi sóng dòng điện truyền tới luồng ion hóa ở khoảng một phần ba tốc độ ánh sáng. Quá trình này được gọi là cú sét phản hồi đầu tiên. Cú sét phản hồi đầu tiên có thể có giá trị đỉnh lên đến vài trăm kilo ampe và thời gian cỡ vài trăm micro giây. Quá trình sét đánh truyền xuống được minh họa trong Hình A.1.

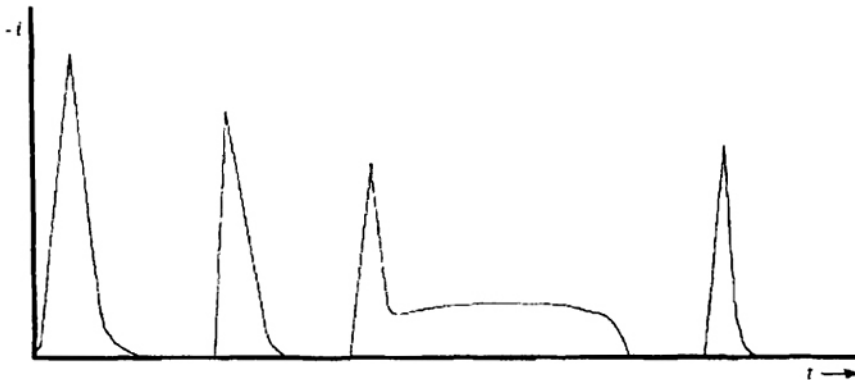


Hình A.1 – Quá trình liên quan đến sự hình thành của sét từ mây xuống đất

Sau một khoảng thời gian cỡ từ 10 ms đến vài trăm ms, chuỗi các cú sét tiên đạo/phản hồi tiếp sau có thể theo đường dẫn được thực hiện bởi cú sét phản hồi đầu tiên. Tiên đạo sét (phóng ra) trước những cú sét phản hồi tiếp theo này thường không phải là tiên đạo từng bậc và nhanh hơn nhiều (thời gian cỡ vài ms). Trung bình, một chùm sét đánh thường có 3 đến 4 cú sét phản hồi (bao gồm cả cú sét đầu tiên). Các cú sét phản hồi tạo ra phần nhìn thấy được của chùm sét đánh.

Theo sau một hoặc nhiều cú sét phản hồi, một dòng điện liên tục (còn được gọi là cú sét dài) có thể dẫn qua các luồng vẫn còn ion hóa. Dòng điện liên tục khác nhau khá nhiều so với các dòng điện biên độ cao, thời gian ngắn của các cú sét phản hồi: biên độ dòng trung bình trong khoảng vài trăm ampe, trong khi thời gian có thể kéo dài tới vài trăm ms. Dòng điện liên tục sẽ dịch chuyển số lượng lớn điện tích trực tiếp từ mây xuống đất. Khoảng một nửa các chùm sét từ mây tới đất có chứa thành phần dòng liên tục.

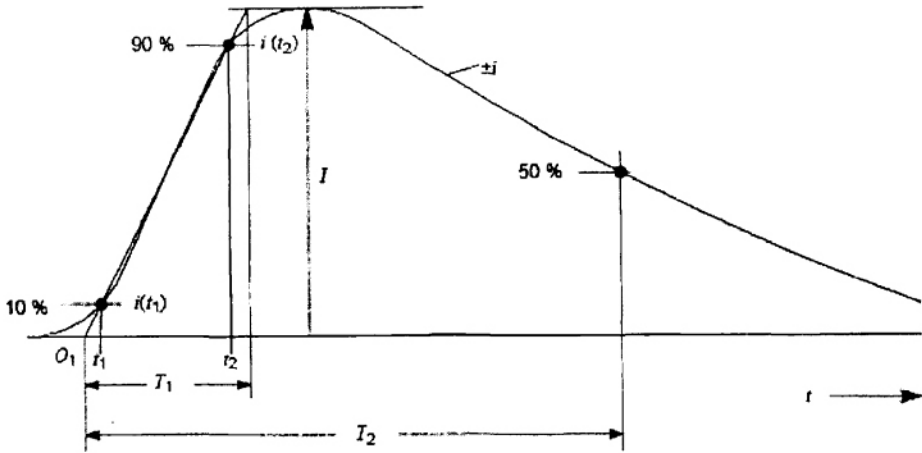
Hình A.2 thể hiện biên dạng điển hình của dòng điện sét trong chùm sét âm từ mây tới đất. Theo sau tiếp xúc của tiên đạo sét từng bậc và tiên đạo sét kết nối, có một cú sét phản hồi tạo ra (tại đất) dòng điện xung biên độ cao kéo dài vài trăm μ s. Giá trị đỉnh của dòng điện trong dải từ vài kA đến 100 kA, giá trị trung bình khoảng 30 kA (Bảng A.1). Tiếp sau các cú sét phản hồi đầu tiên, (các) cú sét phản hồi tiếp theo và (các) dòng điện liên tục có thể xuất hiện. Mặc dù các cú sét phản hồi kéo theo thường có giá trị dòng đỉnh thấp hơn và thời gian ngắn hơn so với cú sét phản hồi ban đầu, nhưng chúng thường có tốc độ gia tăng dòng điện cao hơn. Sự phóng điện âm từ mây tới đất có thể bao gồm các kết hợp khác nhau của các thành phần dòng điện khác nhau đề cập ở trên, như thể hiện trong Hình A.5.



Hình A.2 – Biên dạng điển hình của chùm sét âm từ mây tới đất (không theo tỷ lệ)

Dòng điện sét gồm một hoặc nhiều cú sét khác nhau:

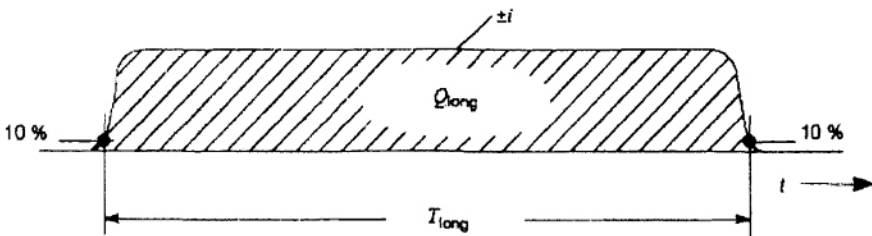
- các cú sét ngắn có thời gian nhỏ hơn 2 ms (Hình A.3);
- các cú sét dài có thời gian lớn hơn 2 ms (Hình A.4).



CHÚ DẪN:

- O_1 điểm gốc giả định
- I dòng điện đỉnh
- i dòng điện
- t thời gian
- T_1 thời gian sườn trước
- T_2 thời gian tới một nửa giá trị

Hình A.3 – Xác định các tham số cú sét ngắn (điển hình $T_2 \leq 2$ ms)



CHÚ DẪN:

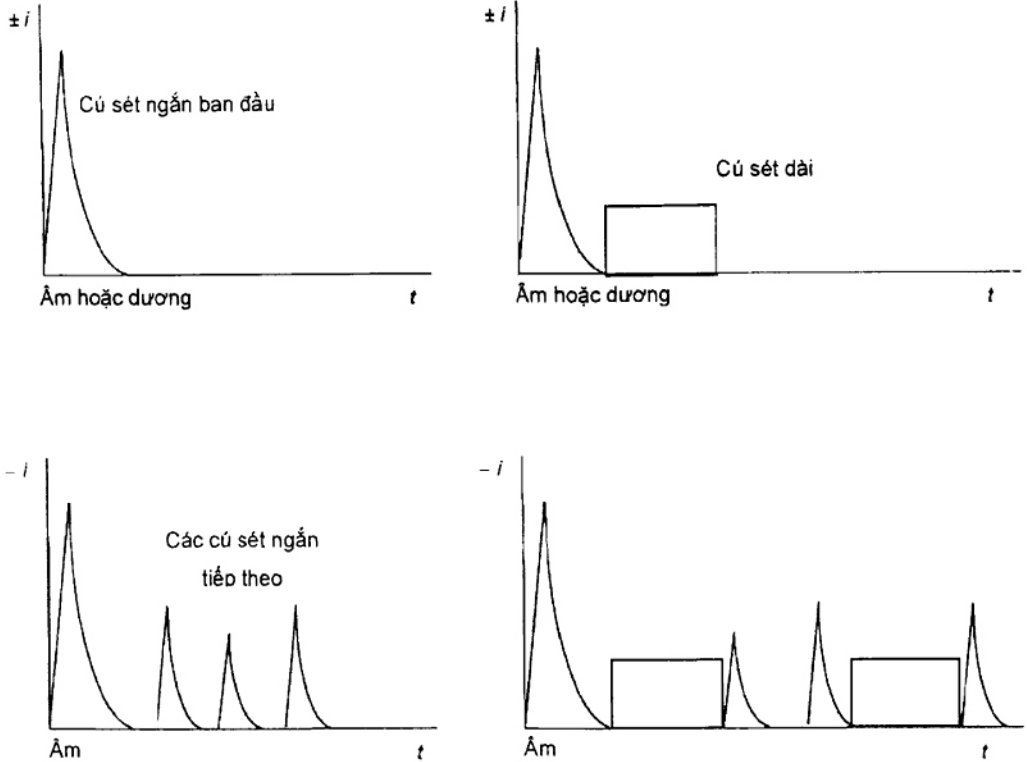
- T khoảng thời gian
- Q_{long} diện tích cú sét dài

**Hình A.4 – Xác định các tham số cú sét dài (điển hình 2 ms $\leq T_{long} \leq 1$ s)
(Hình A.2 trong IEC 62305-1)**

Bảng A.1 – Các tham số dòng điện sét từ mây tới đất
(chuyển từ Bảng A.1 trong IEC 62305-1)

Tham số	Giá trị cố định cho LPL I	Các giá trị			Loại cú sét
		95 %	50 %	5 %	
I (kA)	50	4 (98 %)	20 (80 %)	90	Cú sét ngắn mang điện âm đầu tiên
		4,9	11,8	28,6	Cú sét ngắn mang điện âm tiếp theo
		200	4,6	35	250
Q _{flash} (C)	300	1,3	7,5	40	Chùm sét âm
		20	80	350	Chùm sét dương
Q _{short} (C)	100	1,1	4,5	20	Cú sét ngắn mang điện âm đầu tiên
		0,22	0,95	4	Cú sét ngắn mang điện âm tiếp theo
		2	16	150	Cú sét ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)
W/R (kJ/Ω)	10000	6	55	550	Cú sét ngắn mang điện âm đầu tiên
		0,55	6	52	Cú sét ngắn mang điện âm tiếp theo
		25	650	15000	Cú sét ngắn mang điện dương đầu tiên
di/dt _{max} (kA/μs)	20	9,1	24,3	65	Cú sét ngắn mang điện âm đầu tiên
		9,9	39,9	161,5	Cú sét ngắn mang điện âm tiếp theo
		0,2	2,4	32	Cú sét ngắn mang điện dương đầu tiên
di/dt _{30/90%} (kA/μs)	200	4,1	20,1	98,5	Cú sét ngắn mang điện âm tiếp theo
Q _{long} (C)	200				Cú sét dài
t _{long} (s)	0,5				Cú sét dài
Thời gian sườn trước (μs)		1,8	5,5	18	Cú sét ngắn mang điện âm đầu tiên
		0,22	1,1	4,5	Cú sét ngắn mang điện âm tiếp theo
		3,5	22	200	Cú sét ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)
Thời gian cú sét (μs)		30	75	200	Cú sét ngắn mang điện âm đầu tiên
		6,5	32	140	Cú sét ngắn mang điện âm tiếp theo
		25	230	2000	Cú sét ngắn mang điện dương đầu tiên (đơn)
Khoảng thời gian (ms)		7	33	150	Cú sét chùm mang điện âm
Tổng thời gian sét đánh (ms)		0,15	13	1100	Sét mang điện âm (tất cả)
		31	180	900	Sét mang điện âm (không có đánh đơn)
		14	85	500	Sét mang điện dương

CHÚ THÍCH: Các giá trị I = 4 kA và I = 20 kA tương ứng với xác suất 98 % và 80 %.

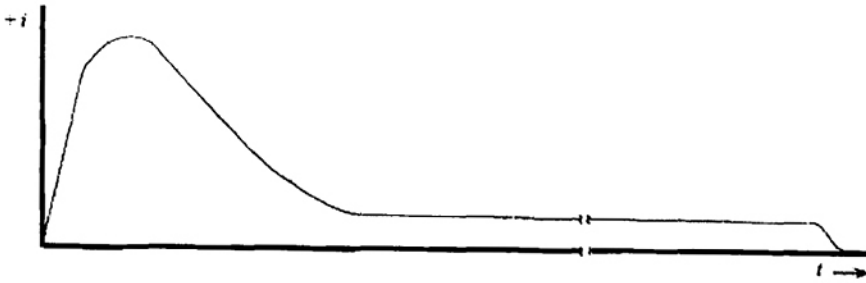


**Hình A.5 – Thành phần có thể có của sét hướng xuống
(điền hình trên địa hình bằng phẳng và tới các kết cấu thấp) (Hình A.3 trong IEC 62305-1)**

A.1.4.2 Sét dương từ mây xuống đất

Ngược với các chùm sét âm, các chùm sét dương từ mây về đất được khởi phát từ một tiên đạo sét truyền xuống liên tục mà không có các bước riêng rẽ. Tiên đạo kết nối và các giai đoạn đánh phản hồi tương tự như các quá trình mô tả ở trên cho các chùm sét âm. Một chùm sét dương từ mây về đất thường chỉ bao gồm một cú sét phản hồi và có thể theo sau bằng một dòng điện liên tục.

Các chùm sét dương từ mây về đất rất quan trọng đối với bảo vệ chống sét thực tiễn vì giá trị dòng điện đỉnh (I), tổng điện tích dịch chuyển (Q), và năng lượng riêng (W/R) có thể lớn hơn so với chùm sét âm. Cú sét phản hồi có xu hướng có tốc độ phát sinh dòng thấp hơn so với cú sét phản hồi ban đầu âm. Biện dạng điển hình của dòng điện đối với sét dương từ mây xuống đất được biểu diễn trên Hình A.6. Tham số điện điển hình được tổng hợp trong Bảng A.1 cùng với các tham số phóng sét âm [2] [3].

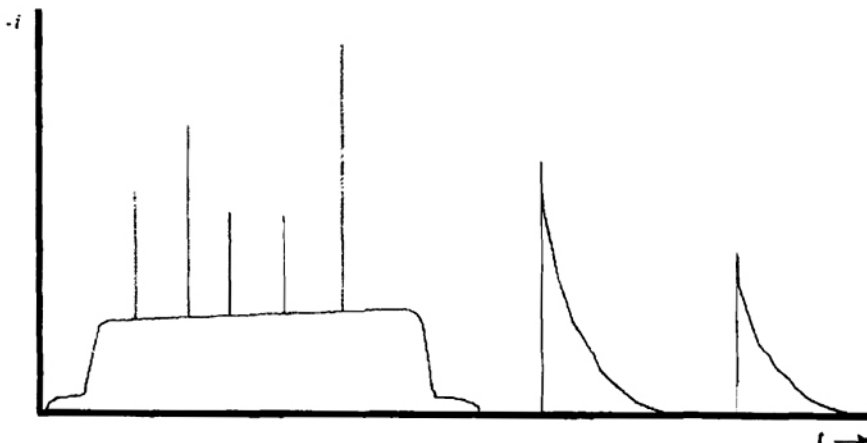


Hình A.6 – Biên dạng điển hình của chùm sét dương từ mây tới đất

A.1.5 Sét hướng lên

Điện tích trong mây dông gây ra sự gia tăng điện trường trên bề mặt trái đất, nhưng thường không đủ để khởi phát một tiên đạo sét di chuyển hướng lên. Tuy nhiên, điện trường có thể được tăng cường đáng kể ở vùng núi, các đối tượng đặt trên mặt đất cao, hoặc các kết cấu cao như các tòa tháp hoặc tuabin gió. Tại các địa điểm như vậy, cường độ điện trường có thể trở nên đủ lớn để khởi phát một tiên đạo sét di chuyển hướng từ mặt đất lên điện tích mây dông. Kết cấu có chiều cao vượt quá 100 m so với địa hình xung quanh (như tuabin gió hiện đại) chịu tiếp xúc đặc biệt với các chùm sét khởi phát hướng lên.

Một chùm sét khởi phát hướng lên có giai đoạn dòng liên tục. Trên xung dòng điện liên tục, các dòng điện có thể bị xếp chồng (Hình A.7). Giai đoạn dòng điện liên tục có thể được theo sau bởi các cú sét phản hồi dọc theo cùng một luồng. Các cú sét phản hồi khá giống với các cú sét phản hồi kéo theo của các chùm sét từ mây xuống đất. Các chùm sét khởi phát hướng lên không chứa thành phần nào tương tự như cú sét phản hồi ban đầu của các chùm sét từ mây xuống đất. Vị trí mà chùm sét khởi phát hướng lên đánh vào kết cấu đơn giản là cùng một điểm hình thành tiên đạo sét hướng lên.



Hình A.7 – Biên dạng điển hình của chùm sét khởi phát hướng lên tích điện âm

TCVN 10687-24:2015

Việc đo các tham số của sét hướng lên được thực hiện trên các đối tượng cao thường phải chịu kiểu sét này. Thông tin chi tiết từ những quan sát trên toàn thế giới cũng như thảo luận toàn diện về sét hướng lên của Rakov và Uman có thể được tìm thấy trong [1]. Trong những năm gần đây, các chùm sét hướng lên cũng đã được nghiên cứu bởi các phép đo trên tuabin gió [4].

Các thông tin dưới đây về tham số dòng liên quan đến các chùm sét âm hướng lên, do đó mặc dù quan sát được nhưng các chùm sét dương khởi phát hướng lên rất hiếm.

Mặc dù các giá trị dòng điện đỉnh khoảng 10 kA là tương đối thấp, nhưng điện tích dịch chuyển liên quan đến dòng liên tiếp ban đầu có trong các trường hợp hiếm hoi lại rất cao tới 300 C như thể hiện trong Bảng A.2 [1]. Các chùm sét khởi phát hướng lên cũng có thể gồm các kết hợp khác nhau của các thành phần dòng khác nhau đề cập ở trên, như thể hiện trong Hình A.8.

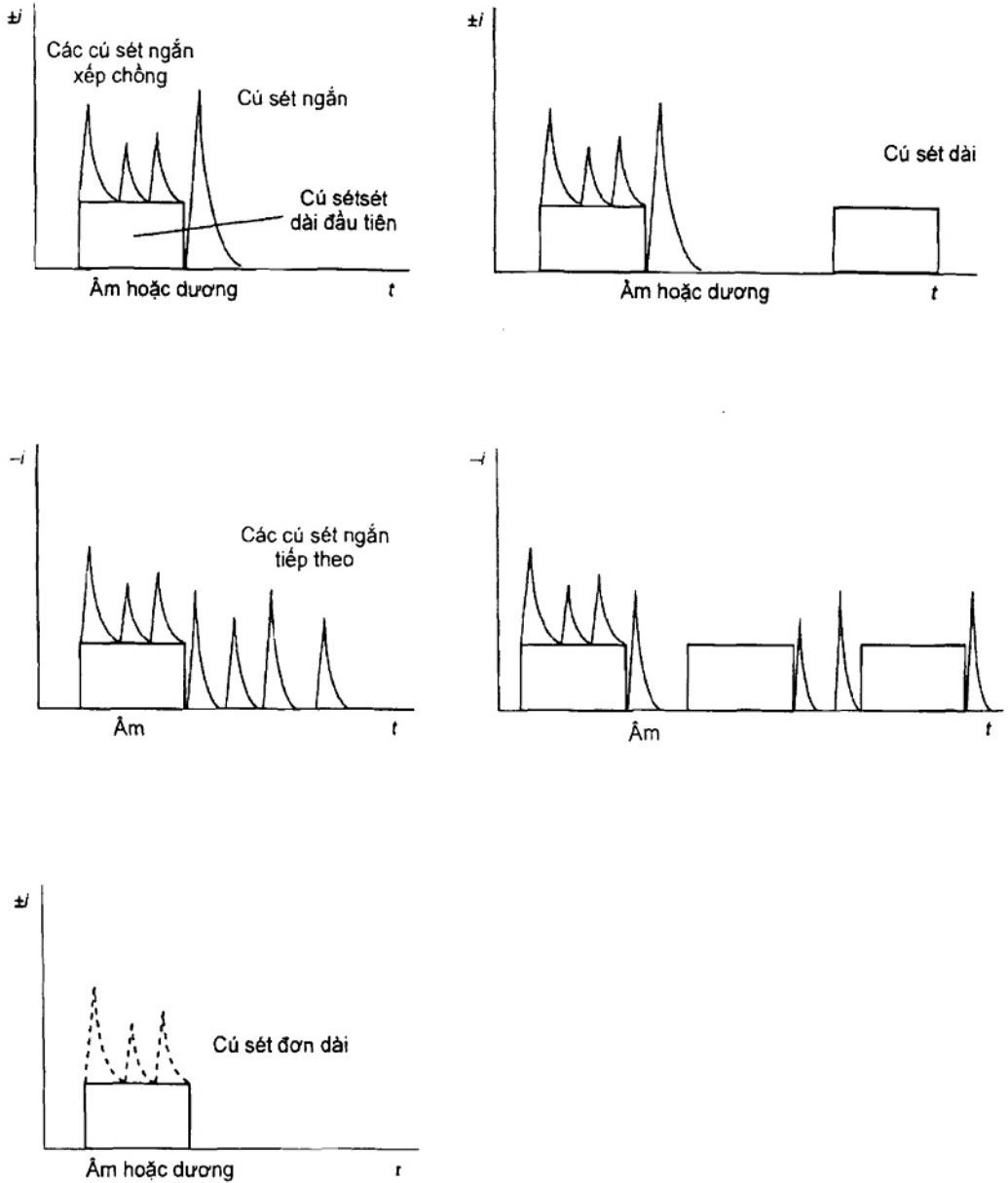
Nói chung, chùm sét khởi phát hướng lên có giá trị tham số dòng thấp hơn so với chùm sét hướng xuống, có thể có trường hợp ngoại lệ về tổng điện tích dịch chuyển. Hơn nữa, rõ ràng là các đối tượng cao được đặt ở các vị trí chịu tác động có thể thường xuyên gặp chùm sét hướng lên, đặc biệt là trong những dông bão mùa đông khi hàng chục chùm sét đánh hướng lên đã được quan sát thấy trên các đối tượng cao chịu tác động nhiều.

Điều này rất phù hợp cho tuabin gió vì vị trí cao và chịu tác động nhiều là một lợi thế đối với tuabin gió do điều kiện gió thuận lợi. Vì vậy cần thiết phải xem xét rủi ro của chùm sét hướng lên, và người triển khai nên tìm kiếm thông tin về các điều kiện sét mùa đông tại các vị trí kỳ vọng. Khi chùm sét hướng lên bắt nguồn từ đầu các tuabin gió (tức là các cánh và các hệ thống đầu thu sét bảo vệ thiết bị đo đặc khí tượng trên vỏ tuabin), điểm sét đánh được đưa ra, và miễn là bảo vệ chống sét được thiết kế đúng, nó có thể được dự kiến cũng sẽ hoạt động tốt đối với các chùm sét hướng lên.

Tuy nhiên, tần suất sét đánh mùa đông cao có thể cần các hệ thống đầu thu sét bền hơn hoặc cần thay thế định kỳ hệ thống đầu thu sét.

Bảng A.2 – Tham số dòng điện sét khởi phát hướng lên

Tham số		Giá trị tối đa
Tổng điện tích dịch chuyển	C	300
Tổng thời gian	s	0,5 đến 1,0
Dòng điện đỉnh	kA	20
Tốc độ gia tăng trung bình của dòng điện xung xếp chồng	kA/ μ s	20
Số lượng dòng điện xung xếp chồng		50



Hình A.8 – Các thành phần có thể có của các chùm sét hướng lên
 (diễn hình tới các kết cấu cao hơn hoặc/và chịu tác động) (Hình A.4 trong IEC 62305-1)

A.2 Tham số dòng điện sét liên quan đến điểm sét đánh

Nói chung, các tham số dòng điện sét đóng vai trò trong sự liên mạch của hệ thống LPS gồm dòng điện đỉnh I , điện tích Q , năng lượng riêng W/R , thời gian T và độ dốc trung bình của dòng đi/dt. Mỗi tham số có xu hướng chi phối một cơ chế hỏng hóc khác nhau. Các tham số dòng được xem xét đối

TCVN 10687-24:2015

với các thử nghiệm là sự kết hợp của các giá trị này, được lựa chọn để đại diện trong phòng thí nghiệm cơ chế hỏng hóc thực tế của LPS cần thử nghiệm. Bảng A.3 ghi lại các giá trị lớn nhất của I, Q, W/R, T và di/dt cần xem xét cho các thử nghiệm là hàm của cấp bảo vệ được yêu cầu (xem IEC 62305-1, Phụ lục D để biết thêm chi tiết).

Bảng A.3 – 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 (Bảng D.1 trong IEC 62305-1)

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 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 Δi/Δt ở xung tách rời	
		I	200	100	10000	200		
		II	150	75	5600	150		
		III-IV	100	50	2500	100		
Các 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					
	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							

A.3 Dòng điện tiên đạo sét không có cú sét phản hồi

Các tiên đạo sét hướng lên được khởi phát từ chính tuabin gió khi trường tĩnh điện cao có mặt do các đám mây dông trên cao hoặc tiếp cận với tiên đạo sét từ mây dông. Khi các tiên đạo sét hướng lên này không nối với tiên đạo sét từ đám mây, không có cú sét phản hồi. Các dòng xung kết hợp với tiên đạo sét thường cỡ vài kA và có thể lên đến 10 kA. Các tiên đạo sét chỉ có thể bắt đầu ở nơi có thể tạo ra trường tĩnh điện cao.

A.4 Hiệu ứng xung sét điện từ, LEMP

Các hiệu ứng của LEMP do quá điện áp có thể có năng lượng nhỏ hơn các đột biến, do các cú sét đánh trực tiếp mà có thể xuất hiện với tần suất lớn. Loại quá áp và đột biến điện này có thể do:

- dòng điện sét dẫn một phần;
- ghép nối điện cảm/điện dung;
- sét đánh gần tuabin gió;
- lan truyền trên đường dây (các đường dây điện và/hoặc các đường dây viễn thông do sét đánh vào hoặc gần các đường dây này).

Phụ lục B

(tham khảo)

Đánh giá chịu tác động sét

B.1 Qui định chung

Điều B.2 của phụ lục này giải thích các thuật ngữ được sử dụng cho thiệt hại và tổn thất (B.2.1), rủi ro và các thành phần rủi ro (B.2.2), hợp thành các thành phần rủi ro liên quan đến tuabin gió (B.2.3), hợp thành các thành phần rủi ro liên quan đến đường dây cung cấp (B.2.4).

Điều B.3 đánh giá các giá trị của xác suất, P_x , đối với các kiểu thiệt hại khác nhau theo IEC 62305-2, Phụ lục B, và nhận xét liên quan đến sự phù hợp đối với ứng dụng tuabin gió.

Điều B.4 đánh giá tổng tổn thất, L_x , theo IEC 62305-2, Phụ lục C, và nhận xét liên quan đến sự phù hợp đối với ứng dụng tuabin gió.

Điều B.5 đánh giá xác suất P'_x đối với thiệt hại đến dịch vụ, theo IEC 62305-2, Phụ lục D, và nhận xét liên quan đến sự phù hợp đối với ứng dụng tuabin gió.

Điều B.6 đánh giá tổng tổn thất L'_x trong đường dây cung cấp theo IEC 62305-2, Phụ lục E.

Điều B.7, ước tính chi phí tổn thất theo IEC 62305-2, Phụ lục G.

B.2 Giải thích các thuật ngữ

B.2.1 Thiệt hại và tổn thất

Các thuật ngữ đề cập đến thiệt hại và tổn thất được xác định trong IEC 62305-2. Trong phụ lục này sẽ đưa ra các thuật ngữ được xem xét có liên quan đến các tuabin gió.

Dòng điện sét là nguồn thiệt hại chính. Các nguồn sau đây được xác định dựa vào điểm sét đánh (xem Bảng B.1):

S1: sét đánh vào tuabin gió;

S2: sét đánh gần tuabin gió;

S3: sét đánh vào đường dây cung cấp (như dây điện hoặc dây viễn thông);

S4: sét đánh gét đường dây cung cấp.

CHÚ THÍCH 1: S2 sét đánh gần tuabin gió không được coi là nguy cơ trong trường hợp có bảo vệ đối với sét đánh trực tiếp.

CHÚ THÍCH 2: S4 sét đánh gần đường cung cấp không được coi là nguy cơ trong trường hợp có bảo vệ đối với sét đánh trực tiếp.

Có 3 kiểu thiệt hại do sét được xem xét (xem Bảng B.2):

D1: tổn thương sinh vật;

D2: thiệt hại vật chất;

D3: Hỏng các hệ thống bên trong.

Thiệt hại tới tuabin gió do sét có thể được giới hạn ở một bộ phận của tuabin gió hoặc có thể mở rộng tới toàn bộ tuabin gió.

Sét ảnh hưởng tới đường dây cung cấp có thể gây thiệt hại cho chính hệ thống cung cấp (ví dụ như cáp cung cấp) hoặc cho các hệ thống điện và điện tử được nối vào đường dây cung cấp.

Mỗi kiểu thiệt hại, riêng lẻ hoặc kết hợp với loại khác, có thể sinh ra hệ quả tổn thất trong tuabin gió. Các kiểu tổn thất được xem xét liên quan đến tuabin gió là:

L1: chết người

L4: tổn thất các giá trị kinh tế (các chi phí sửa chữa thiệt hại cho tuabin gió và tổn thất thu nhập).

CHÚ THÍCH 3: Tổn thất L2 cho đường dây cung cấp tới khu vực công cộng và tổn thất L3 đến di sản văn hóa không được coi là liên quan đến tuabin gió.

Các kiểu tổn thất được coi là liên quan đến đường dây cung cấp (như dây điện và dây viễn thông) là:

L'4: tổn thất giá trị kinh tế (chi phí sửa chữa thiệt hại cho đường dây cung cấp và tổn thất thu nhập).

CHÚ THÍCH 4: Tổn thất L'2 của đường dây cung cấp được coi là có liên quan.

**Bảng B.1 – Nguồn thiệt hại, kiểu thiệt hại và kiểu tổn thất theo điểm sét đánh
(tương ứng Bảng 1 trong IEC 62305-2)**

Điểm sét đánh	Nguồn thiệt hại	Tuabin gió		Đường dây cung cấp	
		Kiểu thiệt hại	Kiểu tổn thất	Kiểu thiệt hại	Kiểu tổn thất
Đánh vào tuabin gió	S1	D1	L1, L4 ^b		
		D2	L1, L4	D2	L'4
		D3	L1 ^a , L4	D3	L'4
Đánh gần tuabin gió	S2	D3	L1 ^a , L4		
Đánh vào đường dây cung cấp	S3	D1	L1, L4 ^b		
		D2	L1, L4	D2	L'4
		D3	L1 ^a , L4	D3	L'4
Đánh gần đường dây cung cấp	S4	D3	L1 ^a , L4	D3	L'4

^a Chỉ khi hỏng hệ thống bên trong gây nguy hiểm ngay đến tính mạng con người.

^b Chỉ ở những nơi có thể có tổn thất về động vật (ví dụ như trang trại chăn nuôi có thể nằm trong phạm vi 3 m tính từ cột tháp của tuabin gió).

Bảng B.2 – Rủi ro trong tuabin gió đối với mỗi kiểu thiệt hại và kiểu tổn thất
(tương ứng với Bảng 2 trong IEC 62305-2)

Tổn thất Thiệt hại	L1 Tổn thất cuộc sống con người	L4 Tổn thất giá trị kinh tế
D1 Tổn thương sinh vật	R_S	R_S^b
D2 Thiệt hại vật chất	R_F	R_F
D3 Hỏng các hệ thống bên trong	R_O^a	R_O

^a Chỉ khi hỏng hệ thống bên trong gây nguy hiểm ngay đến tính mạng con người.
^b Chỉ ở những nơi có thể có tổn thất về động vật (ví dụ như trang trại chăn nuôi có thể nằm trong phạm vi 3 m tính từ cột tháp của tuabin gió).

B.2.2 Rủi ro và các thành phần rủi ro

Rủi ro R là giá trị tổn thất trung bình hàng năm có thể có. Đối với mỗi kiểu tổn thất mà có thể xuất hiện trong tuabin gió hoặc đường dây cung cấp, phải đánh giá rủi ro liên quan.

Các rủi ro cần được đánh giá trong tuabin gió có thể là:

R_1 : rủi ro thiệt hại đến tính mạng con người;

R_4 : rủi ro tổn thất giá trị kinh tế.

Rủi ro cần được đánh giá cho đường dây cung cấp có thể là:

R'_4 : rủi ro tổn thất giá trị kinh tế.

Phải xác định và tính toán để đánh giá rủi ro, R , các thành phần rủi ro liên quan (các rủi ro riêng phần phụ thuộc vào nguồn thiệt hại và kiểu thiệt hại).

Mỗi rủi ro, R , là tổng của các rủi ro thành phần. Khi tính toán rủi ro, các thành phần rủi ro có thể được nhóm lại theo nguồn thiệt hại và kiểu thiệt hại.

Các thành phần rủi ro cho tuabin gió do sét đánh vào tuabin gió là:

R_A : Thành phần liên quan đến tổn thương cho con người bên trong tuabin gió và tổn thương sinh vật do điện áp bước và điện áp chạm trong các khu vực đến 3 m bên ngoài cột tháp tuabin gió. Có thể phát sinh tổn thất kiểu L1 và, trong trường hợp các trang trại chăn nuôi, tổn thất kiểu L4.

R_B : Thành phần liên quan đến thiệt hại vật chất do phát tia lửa nguy hiểm bên trong kết cấu kích hoạt cháy. Có thể phát sinh kiểu tổn thất L1 và L4.

R_C : Thành phần liên quan đến hỏng hệ thống bên trong do xung sét điện từ, LEMP. Có thể phát sinh tổn thất kiểu L4 hoặc L1, trong trường hợp hỏng hệ thống bên trong gây nguy hiểm ngay đến tính mạng con người.

Thành phần rủi ro đối với tuabin gió do sét đánh vào đường dây cung cấp nối với tuabin gió là:

- R_U : Thành phần liên quan đến tổn thương con người gây ra bởi điện áp chạm bên trong tuabin gió, do dòng điện sét truyền vào trong đường dây vào tuabin gió. Có thể phát sinh tổn thất kiểu L1.
- R_V : Thành phần liên quan đến thiệt hại vật chất (cháy bị kích hoạt do nguy hiểm phát tia lửa điện giữa các lắp đặt bên ngoài và bộ phận kim loại, thường tại điểm đầu vào của đưa vào tuabin gió) do dòng điện sét truyền qua hoặc dọc theo đường dây vào. Có thể phát sinh tổn thất L1 và L4.
- R_W : Thành phần liên quan đến hỏng các hệ thống bên trong do quá điện áp cảm ứng trên các đường dây đi vào và truyền đến tuabin gió. Có thể xuất hiện tổn thất kiểu L4 hoặc L1 trong trường hợp hỏng các hệ thống bên trong gây nguy hiểm ngay đến tính mạng con người.

Thành phần rủi ro đối với tuabin gió do sét đánh gần đường dây nối với tuabin gió:

- R_Z : Thành phần liên quan đến hỏng hệ thống bên trong do quá điện áp cảm ứng trên các đường dây đi vào và truyền đến tuabin gió. Có thể xuất hiện tổn thất kiểu L4 hoặc L1 trong trường hợp hỏng các hệ thống bên trong gây nguy hiểm ngay đến tính mạng con người.

Thành phần rủi ro cho đường dây cung cấp do sét đánh vào đường dây cung cấp được nối với tuabin gió:

- R'_V : Thành phần liên quan đến thiệt hại vật chất do tác động cơ và nhiệt của dòng điện sét. Có thể phát sinh tổn thất kiểu L'4.
- R'_W : Thành phần liên quan đến hỏng đường dây và thiết bị được kết nối do quá điện áp cảm ứng trên đường dây. Có thể phát sinh tổn thất kiểu L'4.

Thành phần rủi ro đối với đường dây cung cấp do sét đánh gần đường dây cung cấp được nối với tuabin gió:

- R'_Z : Thành phần liên quan đến hỏng đường dây và thiết bị kết nối do quá điện áp cảm ứng trên đường dây. Có thể phát sinh tổn thất kiểu L'4.

Thành phần rủi ro đối với đường dây cung cấp do sét đánh vào tuabin gió nối tới đường dây cung cấp:

- R'_B : Thành phần liên quan đến thiệt hại vật chất do tác động cơ và nhiệt của dòng điện sét dẫn dọc đường dây. Có thể phát sinh tổn thất kiểu L'4.
- R'_C : Thành phần liên quan đến hỏng đường dây và thiết bị kết nối do quá điện áp vì ghép cặp điện trở. Có thể phát sinh tổn thất kiểu L'4.

B.2.3 Kết hợp của các thành phần rủi ro liên quan đến tuabin gió

Các thành phần rủi ro cần được xem xét đối với mỗi kiểu tổn thất trong tuabin gió được liệt kê sau đây:

- R_1 : Rủi ro nguy hiểm tính mạng con người:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C^{6)} + R_U + R_V + R_W^{6)} + R_Z^{5)} \quad (B.1)$$

R_1 : Rủi ro tổn thất kinh tế.

$$R_4 = R_A^{7)} + R_B + R_C + R_U^{6)} + R_V + R_W + R_Z \quad (B.2)$$

Kết hợp các thành phần rủi ro tương ứng với nguồn thiệt hại

$$R = R_D + R_1 \quad (B.3)$$

trong đó:

R_D là rủi ro do sét đánh vào tuabin gió (nguồn S1), được xác định theo tổng sau:

$$R_D = R_A + R_B + R_C \quad (B.4)$$

R_1 là rủi ro do sét ảnh hưởng đến nhưng không đánh vào tuabin gió (nguồn: S3 và S4), được xác định theo tổng sau:

$$R_1 = R_U + R_V + R_W + R_Z \quad (B.5)$$

Kết hợp các thành phần rủi ro tương ứng với kiểu thiệt hại:

$$R = R_S + R_F + R_O \quad (B.6)$$

trong đó:

R_S là rủi ro tổn thương sinh vật (D1) được xác định theo tổng:

$$R_S = R_A + R_U \quad (B.7)$$

R_F là rủi ro thiệt hại vật chất (D2) được xác định theo tổng:

$$R_F = R_B + R_V \quad (B.8)$$

R_O là rủi ro hỏng các hệ thống bên trong (D3) được xác định theo tổng:

$$R_O = R_C + R_W + R_Z \quad (B.9)$$

B.2.4 Kết hợp của các thành phần rủi ro liên quan đến đường dây cung cấp

Các thành phần rủi ro được xem xét đối với mỗi kiểu tổn thất trên đường dây cung cấp được liệt kê sau đây:

R'_4 : rủi ro tổn thất giá trị kinh tế:

$$R'_4 = R'_V + R'_W + R'_Z + R'_B + R'_C \quad (B.10)$$

Kết hợp các thành phần rủi ro tương ứng với nguồn thiệt hại:

⁵⁾ Chỉ trong trường hợp hỏng các hệ thống bên trong ngay lập tức đe dọa đến tính mạng con người.

⁶⁾ Chỉ đối với các tuabin gió ở những nơi có thể có tổn thất về động vật (như trang trại chăn nuôi có thể nằm trong phạm vi 3 m tính từ cột tháp của tuabin gió).

$$R' = R'_D + R'_I \quad (\text{B.11})$$

trong đó:

R'_D là rủi ro do sét đánh vào đường dây cung cấp (nguồn S3), được xác định theo tổng:

$$R'_D = R'_V + R'_W \quad (\text{B.12})$$

R'_I là rủi ro do sét ảnh hưởng đến nhưng không đánh vào đường dây cung cấp (nguồn: S1 và S4), được xác định theo tổng:

$$R'_I = R'_B + R'_C + R'_Z \quad (\text{B.13})$$

Kết hợp các thành phần rủi ro tương ứng với kiểu thiết hại:

$$R' = R'_F + R'_O \quad (\text{B.14})$$

trong đó:

R'_F là rủi ro thiệt hại vật chất (D2) được xác định theo tổng:

$$R'_F = R'_V + R'_B \quad (\text{B.15})$$

R'_O là rủi ro hỏng các hệ thống bên trong (D3) được xác định theo tổng:

$$R'_O = R'_W + R'_Z + R'_C \quad (\text{B.16})$$

B.3 Đánh giá xác suất thiệt hại đến tuabin gió

B.3.1 Xác suất, P_A , mà chùm sét đánh vào tuabin gió sẽ gây ra tổn thương sinh vật

Các giá trị xác suất, P_A , gây sốc điện sinh vật do điện áp bước và điện áp chạm từ chùm sét đánh vào kết cấu (tức là tuabin gió), là hàm của các biện pháp bảo vệ điển hình đã được đưa ra trong Bảng B.3. Nếu thực hiện nhiều hơn một biện pháp bảo vệ, giá trị P_A là tích của các P_A tương ứng

Bảng B.3 – Xác suất, P_A , mà một chùm sét đánh vào tuabin gió sẽ gây điện giật cho sinh vật do điện áp bước và điện áp chạm nguy hiểm (tương ứng Bảng B.1 của IEC 62305-2)

Biện pháp bảo vệ	P_A	Giải thích
Không có các biện pháp bảo vệ	1	
Cách ly về điện của dây dẫn sét để trần (ví dụ polyethylene liên kết ngang tối thiểu là 3 mm)	10^{-2}	Không liên quan đối với tuabin gió sử dụng kết cấu cột tháp làm dây dẫn sét.
Đẳng thế đất hiệu quả	10^{-2}	Bắt buộc đối với tuabin gió chứa thiết bị HV theo các quy tắc điện cơ bản.
Các chú thích cảnh báo	10^{-1}	

B.3.2 Xác suất, P_B , mà chùm sét đánh vào tuabin gió sẽ gây thiệt hại vật chất

Các giá trị xác suất, P_B , của thiệt hại vật chất do chùm sét đánh vào tuabin gió là hàm của mức bảo vệ chống sét (LPL) được nêu trong Bảng B.4.

Bảng B.4 – Các giá trị xác suất, P_B , phụ thuộc vào biện pháp bảo vệ để giảm thiệt hại vật chất (tương ứng Bảng B.2 trong IEC 62305-2)

Đặc trưng của tuabin gió	Loại hệ thống LPS	P_B
Tuabin gió không được bảo vệ bằng hệ thống LPS	-	1
Tuabin gió được bảo vệ bằng hệ thống LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Tuabin gió có bảo vệ chống sét cho cánh và vỏ tuabin phù hợp với LPS I và cột tháp hoạt động như hệ thống dẫn sét tự nhiên.		0,01
Tuabin gió có bảo vệ chống sét cho cánh, mái cửa vỏ tuabin bằng kim loại (hoặc lưới kim loại tương đương) có bảo vệ hoàn toàn cho các lắp đặt mái che bất kỳ chống sét đánh trực tiếp và cột tháp hoạt động như một hệ thống dẫn sét tự nhiên.		0,001

CHÚ THÍCH: Có thể có các giá trị P_B khác với các giá trị cho trong Bảng B.4 nếu dựa trên một nghiên cứu chi tiết tham khảo trong IEC 62305-2, Điều B.2.

B.3.3 Xác suất, P_C , mà chùm sét đánh vào tuabin gió sẽ gây hỏng các hệ thống bên trong

Giá trị xác suất, P_C của việc hỏng hệ thống bên trong do sét đánh vào tuabin gió phụ thuộc vào bảo vệ của SPD kết hợp đã chấp nhận:

$$P_C = P_{SPD} \quad (B.17)$$

Giá trị P_{SPD} phụ thuộc vào cấp bảo vệ chống sét (LPL) mà SPD được thiết kế như cho trong Bảng B.5.

Bảng B.5 – Giá trị xác suất P_{SPD} là hàm của LPL mà SPD được thiết kế (tương ứng với Bảng B.3 trong IEC 62305-2)

Mức bảo vệ sét LPL	P_{SPD}
Không có bảo vệ SPD kết hợp	1
III – IV	0,03
II	0,02
I	0,01
Xem CHÚ THÍCH 3	0,005 đến 0,001

CHÚ THÍCH 1: "Bảo vệ SPD kết hợp" chỉ có hiệu quả trong việc giảm xác suất P_C . Bảo vệ SPD kết hợp chỉ có hiệu quả giảm P_C khi hub, vỏ tuabin và cột tháp của các tuabin gió được bảo vệ bằng LPS, hoặc khi các kết cấu có khung bê tông cốt thép liên tục hoặc tăng cường đóng vai trò như một LPS tự nhiên trong đó đáp ứng các yêu cầu về liên kết và nối đất theo IEC 62305-3.

CHÚ THÍCH 2: Các hệ thống che chắn bên trong được nối với đường dây bên ngoài gồm cả cáp hoặc hệ thống bảo vệ chống sét có dây dẫn nằm trong các ống dẫn cáp bảo vệ chống sét, đường ống kim loại hoặc ống kim loại; có thể không đòi hỏi sử dụng bảo vệ phối hợp.

CHÚ THÍCH 3: Có thể có giá trị P_{SPD} nhỏ hơn trong trường hợp các SPD có các đặc tính bảo vệ tốt hơn (khả năng chịu dòng điện cao hơn, mức bảo vệ thấp hơn, v.v...) so với các yêu cầu được xác định cho cấp LPL I tại các vị trí lắp đặt có liên quan.

B.3.4 Xác suất P_M mà chùm sét đánh gần tuabin sẽ gây hỏng hệ thống bên trong

Do chiều cao của tuabin gió, hầu hết các chùm sét sẽ đánh trực tiếp vào các tuabin mà không đánh vào khu vực gần tuabin gió. Hơn nữa, các kết cấu kim loại lớn sẽ bảo vệ các hệ thống bên trong. Do đó xác suất mà một chùm sét đánh gần tuabin gió sẽ gây ra hỏng hệ thống bên trong có thể được coi là không đáng kể khi các hub, vỏ tuabin và cột tháp của tuabin gió được bảo vệ bằng hệ thống LPS hoặc khi các kết cấu có khung bê tông cốt thép hoặc kim loại liên tục đóng vai trò như LPS tự nhiên đáp ứng các yêu cầu về liên kết và nối đất theo IEC 62305-3.

B.3.5 Xác suất P_U mà chùm sét đánh vào đường dây cung cấp sẽ gây tổn thương sinh vật

Các giá trị xác suất P_U của tổn thương sinh vật do điện áp chạm gây ra bởi chùm sét đánh vào đường dây cung cấp dẫn vào tuabin gió (cáp điện hoặc cáp viễn thông) phụ thuộc vào các đặc tính bảo vệ của đường dây cung cấp, điện áp chịu xung của hệ thống bên trong nối với đường dây cung cấp, các biện pháp bảo vệ điển hình (hạn chế về khoảng cách, lưu ý cảnh báo, v.v... (xem Bảng B.3)) và các SPD ở lối vào của đường dây cung cấp.

Khi không có SPD cho các liên kết đẳng thế theo IEC 62305-3, giá trị P_U bằng với giá trị P_{LD} , trong đó P_{LD} là xác suất hỏng hệ thống bên trong do sét đánh vào đường dây cung cấp.

Các giá trị xác suất P_{LD} được đưa ra trong Bảng B.6.

Khi có các SPD cho các liên kết đẳng thế theo IEC 62305-3, giá trị P_U thấp hơn giá trị nằm giữa P_{SPD} (Bảng B.5) và P_{LD} .

CHÚ THÍCH: Trong trường hợp này, bảo vệ SPD phối hợp theo IEC 62305-4 là không cần thiết để giảm xác suất P_U . Các SPD phù hợp với IEC 62305-3 là đủ.

Bảng B.6 – Các giá trị xác suất, P_{LD} , phụ thuộc vào điện trở R_S của màn chắn cáp và điện áp chịu xung U_W của thiết bị (Bảng B.6 trong IEC 62305-2)

U_W kV	$5 < R_S \leq 20$ Ω/km	$1 < R_S \leq 5$ Ω/km	$R_S \leq 1$ Ω/km
1,5	1	0,8	0,4
2,5	0,95	0,6	0,2
4	0,9	0,3	0,04
6	0,8	0,1	0,02

R_S [Ω/km] điện trở vỏ cáp.

Đối với đường dây cung cấp không có màn chắn, lấy $P_{LD} = 1$.

Khi có các biện pháp bảo vệ như các hạn chế về khoảng cách, các chú ý cảnh báo, v.v... thì xác suất P_U sẽ giảm hơn nữa bằng cách nhân nó với các giá trị xác suất P_A cho trong Bảng B.3.

B.3.6 Xác suất P_V mà chùm sét đánh vào đường dây cung cấp sẽ gây thiệt hại vật chất

Giá trị xác suất P_V của thiệt hại vật chất do chùm sét đánh vào đường dây cung cấp dẫn vào tuabin gió phụ thuộc vào các thuộc tính của vỏ đường dây cung cấp, điện áp chịu xung của hệ thống bên trong được nối vào đường dây cung cấp và các SPD.

Khi không có SPD cho các liên kết đẳng thế theo IEC 62305-3, thì giá trị P_V bằng với giá trị P_{LD} , trong đó P_{LD} là xác suất hỏng hệ thống bên trong do chùm sét đánh vào đường dây cung cấp.

Giá trị P_{LD} được cho trong Bảng B.6.

Khi có các SPD cho các liên kết đẳng thế theo IEC 62305-3, giá trị P_V thấp hơn giá trị nằm giữa P_{SPD} (Bảng B.5) và P_{LD} .

CHÚ THÍCH: Trong trường hợp này, bảo vệ SPD phối hợp theo IEC 62305-4 là không cần thiết để giảm P_U . Các SPD phù hợp với IEC 62305-3 là đủ.

B.3.7 Xác suất P_W mà chùm sét đánh vào đường dây cung cấp sẽ gây hỏng hệ thống bên trong

Các giá trị xác suất P_W của hỏng các hệ thống bên trong do chùm sét đánh vào đường dây cung cấp dẫn vào tuabin gió phụ thuộc vào các đặc trưng của màn chắn đường dây cung cấp, điện áp chịu xung của hệ thống bên trong được nối tới đường dây cung cấp và các SPD.

Khi không có bảo vệ SPD phối hợp theo IEC 62305-4, giá trị P_W bằng với giá trị P_{LD} , trong đó P_{LD} là xác suất hỏng các hệ thống bên trong do chùm sét đánh vào đường dây cung cấp.

Các giá trị P_{LD} được cho trong Bảng B.6.

Khi có bảo vệ SPD phối hợp theo IEC 62305-4, giá trị P_W thấp hơn giá trị nằm giữa P_{SPD} (Bảng B.5) và P_{LD} .

B.3.8 Xác suất P_Z mà chùm sét đánh gần một đường dây cung cấp đi vào sẽ gây hỏng các hệ thống bên trong

Các giá trị xác suất P_Z mà chùm sét đánh gần đường dây cung cấp đi vào kết cấu sẽ gây hỏng các hệ thống bên trong phụ thuộc vào các đặc trưng của màn chắn đường dây cung cấp, điện áp chịu xung của hệ thống được nối tới đường dây cung cấp và các biện pháp bảo vệ.

Khi có bảo vệ SPD phối hợp theo IEC 62305-4, giá trị P_Z bằng với giá trị P_{LI} , trong đó P_{LI} là xác suất hỏng các hệ thống bên trong do chùm sét đánh gần đường dây cung cấp.

Các giá trị P_{LI} được nêu trong Bảng B.7.

Khi bảo vệ SPD phối hợp tuân theo IEC 62305-4 đã được cung cấp, giá trị P_Z thấp hơn giá trị nằm giữa P_{SPD} (Bảng B.5) và P_{LI} .

Bảng B.7 – Giá trị xác suất P_{LI} phụ thuộc vào điện trở R_S của màn chắn cáp và điện áp chịu xung U_w của thiết bị (Bảng B.7 trong IEC 62305-2)

U_w kV	Không có màn chắn	Màn chắn không nối với thanh liên kết đẳng thế mà thiết bị được nối tới	Màn chắn nối với thanh liên kết đẳng thế mà thiết bị được nối tới		
			$5 < R_S \leq 20$ Ω/km	$1 < R_S \leq 5$ Ω/km	$R_S \leq 1$ Ω/km
1,5	1	0,5	0,15	0,04	0,02
2,5	0,4	0,2	0,06	0,02	0,008
4	0,2	0,1	0,03	0,008	0,004
6	0,1	0,05	0,02	0,004	0,002

R_S [Ω/km] điện trở vỏ cáp.
CHÚ THÍCH: Đánh giá chính xác hơn về K_S đối với các phần có màn chắn và không có màn chắn có thể được tìm thấy trong khuyến nghị ITU K.46.

B.4 Đánh giá tổng tổn thất, L_x , trong một tuabin gió

B.4.1 Qui định chung

Các giá trị của tổng tổn thất, L_x , phải được đánh giá và có định bởi nhà thiết kế bảo vệ chống sét (hoặc chủ sở hữu tuabin gió). Giá trị trung bình điển hình đưa ra trong phụ lục này chỉ đơn thuần là các giá trị do ban kỹ thuật đề xuất. Các giá trị khác có thể được chỉ định theo mỗi ủy ban quốc gia (hoặc được thống nhất giữa khách hàng và người mua hàng).

B.4.2 Tổng tổn thất tương đối trung bình mỗi năm

Tổn thất L_x đề cập đến số lượng tương đối trung bình của kiểu thiệt hại cụ thể mà có thể do chùm sét đánh, xét cả về mức độ và ảnh hưởng của nó.

Giá trị tổng tổn thất phụ thuộc vào:

- số người và thời gian mà họ vẫn còn ở nơi nguy hiểm;

TCVN 10687-24:2015

- giá trị tổn thất sản xuất;
- giá trị các thành phần tuabin gió ảnh hưởng bởi thiệt hại.

Tổn thất L_X thay đổi theo các kiểu tổn thất được xét đến (L_1, L_2, L_3 và L_4) và, đối với mỗi kiểu tổn thất, với kiểu thiệt hại ($D1, D2$ và $D3$) gây ra tổn thất. Các ký hiệu sau được sử dụng:

- L_t là tổn thất do tổn thương từ điện áp chạm và điện áp bước;
- L_f là tổn thất do thiệt hại vật lý;
- L_o là tổn thất do hỏng hệ thống bên trong.

B.4.3 Tổn thất cuộc sống con người

Giá trị L_t, L_f và L_o có thể được xác định xét về số lượng tương đối của các nạn nhân từ quan hệ xấp xỉ sau đây:

$$L_X = (n_p / n_t) \cdot (t_p / 8760) \quad (\text{B.18})$$

trong đó:

- n_p số người có thể bị đe dọa (nạn nhân);
- n_t tổng số người được dự kiến (trong tuabin gió);
- t_p thời gian tính theo giờ hàng năm mà mỗi người có mặt ở nơi nguy hiểm, bên ngoài tuabin gió (chỉ có L_t) hay bên trong tuabin gió (L_t, L_f và L_o)

Tổn thất đời sống con người bị ảnh hưởng bởi các đặc tính của kết cấu tuabin gió. Các đặc tính này có tính đến hệ số tăng (h_z) và hệ số giảm (r_f, r_p, r_a, r_u) như sau:

$$L_A = r_a \cdot L_t \quad (\text{B.19})$$

$$L_U = r_u \cdot L_t \quad (\text{B.20})$$

$$L_B = L_V = r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_t \quad (\text{B.21})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \quad (\text{B.22})$$

trong đó:

- L_A tổn thất liên quan đến tổn thương sinh vật;
- L_B tổn thất trong kết cấu liên quan đến thiệt hại vật chất (đánh vào kết cấu);
- L_C tổn thất liên quan đến hỏng hệ thống bên trong (đánh vào đường dây cung cấp);
- L_M tổn thất liên quan đến hỏng hệ thống bên trong (đánh gần kết cấu);
- L_U tổn thất liên quan đến tổn thương sinh vật (đánh vào đường dây cung cấp);
- L_V tổn thất trong kết cấu liên quan đến thiệt hại vật chất (đánh vào đường dây cung cấp);
- r_a là hệ số giảm tổn thất tới cuộc sống con người phụ thuộc vào loại đất (xem Bảng B.8);

- r_u là hệ số giảm tổn thất tới cuộc sống con người phụ thuộc vào loại sàn (xem Bảng B.8);
- r_p là hệ số giảm tổn thất do thiệt hại vật chất phụ thuộc vào các dự phòng được thực hiện để giảm hậu quả của cháy (xem Bảng B.9);
- r_r là hệ số giảm tổn thất do thiệt hại vật chất phụ thuộc vào rủi ro cháy trong tuabin gió (xem Bảng B.10);
- h_z là hệ số tăng tổn thất do thiệt hại vật chất khi một nguy hiểm đặc biệt hiện diện (xem Bảng B.11).

Bảng B.8 – Giá trị các hệ số giảm r_a và r_u làm hàm của loại bề mặt sàn nhà hoặc đất (tương ứng với Bảng C.2 trong IEC 62305-2)

Loại bề mặt	Trở kháng tiếp xúc $k\Omega^3$	r_a và r_u
Bề mặt nông nghiệp, bê tông	≤ 1	10^{-2}
Đá cẩm thạch, gốm sứ	1 đến 10	10^{-3}
Đá dăm	10 đến 100	10^{-4}
Nhựa đường, gỗ	≥ 100	10^{-5}

^a Các giá trị được đo giữa điện cực 400cm^2 bị ép với một lực đồng đều 500 N và một điểm vô cùng.

Bảng B.9 – Giá trị hệ số giảm r_p là hàm dự phòng thực hiện để giảm hậu quả do cháy (Bảng C.3 trong IEC 62305-2)

Các dự phòng	r_p
Không có dự phòng	1
Một trong những dự phòng sau: bình chữa cháy, các lắp đặt hệ thống chữa cháy cố định được vận hành bằng tay, các lắp đặt báo động bằng tay; các vòi nước, các khoang chống cháy, các lối thoát hiểm.	0,5
Một trong những dự phòng sau: lắp đặt hệ thống chữa cháy cố định được vận hành tự động, lắp đặt báo động tự động ^a	0,2

^a Chỉ khi được bảo vệ chống quá điện áp và các thiệt hại khác và khi lính cứu hỏa có thể đến trong vòng chưa đầy 10 min.

Nếu thực hiện nhiều hơn một dự phòng, thì giá trị r_p được lấy theo các giá trị có liên quan thấp nhất.

CHÚ THÍCH 1: Rủi ro do nổ không được coi là có liên quan đối với tuabin gió.

Bảng B.10 – Giá trị hệ số giảm r_r là hàm của rủi ro cháy hoặc cháy của tuabin gió (tương ứng Bảng C.4 trong IEC 62305-2)

Rủi ro do cháy	r_r
Cao	10^{-1}
Trung bình	10^{-2}
Thấp	10^{-3}
Không	0

TCVN 10687-24:2015

CHÚ THÍCH 2: Kết cấu được coi là có rủi ro cháy mức cao có thể được giả định là kết cấu có vật liệu bề mặt (cánh và mái vỏ tuabin) được làm bằng vật liệu dễ bắt lửa có sức cháy cụ thể lớn hơn 800 MJ/m^2 .

CHÚ THÍCH 3: Kết cấu coi là có rủi ro cháy bình thường có thể được giả định là kết cấu có vật liệu bề mặt (cánh và mái vỏ tuabin) được làm bằng vật liệu dễ bắt lửa với sức cháy cụ thể từ 800 MJ/m^2 đến 400 MJ/m^2 .

CHÚ THÍCH 4: Kết cấu coi là có rủi ro cháy thấp có thể được giả định là kết cấu có vật liệu bề mặt (cánh và mái vỏ tuabin) được làm bằng vật liệu dễ bắt lửa với sức cháy cụ thể nhỏ hơn 400 MJ/m^2 .

CHÚ THÍCH 5: Sức cháy cụ thể là tỷ số năng lượng của tổng số vật liệu dễ bắt lửa trong một kết cấu và tổng diện tích bề mặt của kết cấu.

Bảng B.11 – Hệ số h_z tăng tổng tổn thất tương đối khi có nguy hiểm đặc biệt (tương ứng với Bảng C.5 trong IEC 62305-2)

Loại nguy hiểm đặc biệt	h_z
Không có nguy hiểm đặc biệt	1
Áp lực mức thấp (một vài người)	2
Mức độ khó khăn của việc di tản	5

CHÚ THÍCH 6: Tổn thất dịch vụ công cộng không được coi là có liên quan đến tuabin gió, vì tổn thất doanh thu từ sản xuất điện chỉ được coi là tổn thất về kinh tế.

CHÚ THÍCH 7: Tổn thất di sản văn hóa không thể thay thế không được coi là có liên quan đến tuabin gió.

B.4.4 Tổn thất về kinh tế

Giá trị L_t , L_f và L_o liên quan đến tổng tổn thất tương đối có thể được xác định từ quan hệ sau:

$$L_x = c / c_f \quad (\text{B.23})$$

trong đó:

c là giá trị tổn thất trung bình có thể có của tuabin gió (gồm các thành phần, thu nhập hàng năm và thu nhập thường xuyên) tính thành tiền;

c_f là tổng giá trị của tuabin gió (gồm các thành phần và thu nhập hàng năm) tính bằng tiền.

Khi việc xác định c và c_f là không chắc chắn hoặc khó khăn, có thể sử dụng giá trị trung bình tiêu biểu của L_t , L_f và L_o cho trong Bảng B.12.

Bảng B.12 – Các giá trị trung bình tiêu biểu của L_t , L_f và L_o (tương ứng Bảng C.7 trong IEC 62305-2)

Tuabin gió	Giá trị
L_t bên trong	10^{-4}
L_t bên ngoài	10^{-2}
L_f	10^{-1}
L_o	10^{-4}

Giá trị tổn thất kinh tế ảnh hưởng bởi các đặc trưng của kết cấu. Chúng được tính đến bằng cách tăng (h_z) và giảm (r_p, r_a, r_f, r_u) như sau:

$$L_A = r_a \cdot L_t \quad (\text{B.24})$$

$$L_U = r_u \cdot L_t \quad (\text{B.25})$$

$$L_B = L_V = r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_t \quad (\text{B.26})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \quad (\text{B.27})$$

trong đó:

- L_A tổn thất liên quan đến tổn thương sinh vật;
- L_B tổn thất trong kết cấu liên quan đến thiệt hại vật chất (đánh vào kết cấu);
- L_C tổn thất liên quan đến hồng hệ thống bên trong (đánh vào đường dây cung cấp);
- L_M tổn thất liên quan đến hồng hệ thống bên trong (đánh gần kết cấu);
- L_U tổn thất liên quan đến tổn thương sinh vật (đánh vào đường dây cung cấp);
- L_V tổn thất trong kết cấu liên quan đến thiệt hại vật chất (đánh vào đường dây cung cấp);
- r_a là hệ số giảm tổn thất tới cuộc sống con người phụ thuộc vào loại đất (xem Bảng B.8);
- r_u là hệ số giảm tổn thất tới cuộc sống con người phụ thuộc vào loại sản (xem Bảng B.8);
- r_p là hệ số giảm tổn thất do thiệt hại vật chất phụ thuộc vào các dự phòng được thực hiện để giảm hậu quả của cháy (xem Bảng B.9);
- r_f là hệ số giảm tổn thất do thiệt hại vật chất phụ thuộc vào rủi ro cháy trong tuabin gió (xem Bảng B.10);
- h_z là hệ số tăng tổn thất do thiệt hại vật chất khi có nguy hiểm đặc biệt (xem Bảng B.11).

B.5 Đánh giá xác suất P_x của thiệt hại tới một đường dây cung cấp

B.5.1 Đường dây cung cấp có dây dẫn bằng kim loại

B.5.1.1 Xác suất P_B và P_C mà chùm sét đánh vào tuabin gió nối với đường dây cung cấp sẽ gây thiệt hại

Xác suất P_B mà chùm sét đánh vào tuabin gió có nối đường dây cung cấp sẽ gây ra thiệt hại vật chất, và xác suất P_C mà chùm sét đánh vào tuabin gió có nối đường dây cung cấp sẽ gây ra hồng học thiết bị đường dây cung cấp liên quan đến dòng điện sự cố I_a. Dòng điện I_a phụ thuộc vào các đặc tính của đường dây cung cấp, số lượng đường dây cung cấp đi vào tuabin gió và các biện pháp bảo vệ.

Đối với các đường dây cung cấp không có màn chắn, giả định I_a = 0 kA.

TCVN 10687-24:2015

Đối với các đường dây cung cấp có màn chắn, dòng điện sự cố I_a (kA) phải được đánh giá theo:

$$I_a = 25 n \cdot U_w / (R_s \cdot K_d \cdot K_p) \quad (\text{B.28})$$

trong đó:

K_d là hệ số phụ thuộc các đặc tính của đường dây cung cấp (xem Bảng B.13);

K_p là hệ số tính đến hiệu quả các biện pháp bảo vệ (xem Bảng B.14);

U_w [kV] là điện áp chịu xung (xem Bảng B.15 đối với cáp và Bảng B.16 đối với thiết bị);

R_s [Ω /km] là điện trở màn chắn của cáp;

n là số đường dây cung cấp đưa vào tuabin gió.

CHÚ THÍCH: Các SPD tại điểm đầu vào bên trong tuabin gió làm tăng dòng điện sự cố I_a và có thể có hiệu quả bảo vệ tích cực.

Bảng B.13 – Các giá trị của hệ số K_d là hàm của các đặc tính của đường dây cung cấp có màn chắn (tương ứng với Bảng D.1 trong IEC 62305-2)

Đường dây cung cấp	K_d
Có vỏ tiếp xúc với đất	1
Có vỏ không tiếp xúc với đất	0,4

Bảng B.14 – Giá trị của hệ số K_p là hàm của biện pháp bảo vệ (Bảng D.2 trong IEC 62305-2)

Biện pháp bảo vệ	K_p
Không có biện pháp bảo vệ	1
Các dây có vỏ – dây dẫn một lõi ^a	0,6
Các dây có vỏ – dây dẫn hai lõi ^a	0,4
Ống cáp bảo vệ chống sét	0,1
Cáp bảo vệ chống sét	0,02
Các dây có vỏ – ống thép	0,01

^a Dây có màn chắn được đặt ở khoảng 30 cm phía trên cáp; hai dây có màn chắn được đặt ở 30 cm cao hơn cáp được bố trí đối xứng quanh trục của cáp.

Bảng B.15 – Điện áp chịu xung U_w là hàm của kiểu cáp
(Bảng D.3 trong IEC 62305-2)

Kiểu cáp	U_n kV	U_w kV
TLC – cách điện giấy	-	1,5
TLC – PVC, cách điện PE	-	5
Cáp điện lực	≤ 1	15
Cáp điện lực	3	45
Cáp điện lực	6	60
Cáp điện lực	10	75
Cáp điện lực	15	95
Cáp điện lực	20	125

Bảng B.16 – Điện áp chịu xung U_w là hàm của loại thiết bị
(Bảng D.4 trong IEC 62305-2)

Loại thiết bị	U_w kV
Điện tử	1,5
Thiết bị sử dụng điện tử ($U_n < 1$ kV)	2,5
Thiết bị nối mạng điện tử ($U_n < 1$ kV)	6

Các giá trị P_B và P_C là hàm của dòng điện sự cố I_a cho trong Bảng B.17.

Bảng B.17 – Các giá trị xác suất P_B , P_C , P_V và P_W là hàm của dòng điện sự cố I_a (Bảng D.5 trong IEC 62305-2)

I_a kV	P'_B, P'_C, P'_V, P'_W
0	1
3	0,99
5	0,95
10	0,9
20	0,8
30	0,6
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

B.5.1.2 Xác suất P_V và P_W mà chùy sét đánh vào đường dây cung cấp sẽ gây thiệt hại

Xác suất P_V mà chùy sét đánh vào đường dây cung cấp sẽ gây ra thiệt hại vật chất, và xác suất P_W mà chùy sét đánh vào đường dây cung cấp sẽ gây ra hỏng thiết bị đường dây cung cấp liên quan đến dòng điện sự cố I_a , lần lượt phụ thuộc vào các đặc trưng của đường dây cung cấp và vào các biện pháp bảo vệ.

Đối với các đường dây cung cấp không có màn chắn, giả định $I_a = 0$ kA.

Đối với các đường dây cung cấp có màn chắn, dòng điện sự cố I_a (kA) phải được đánh giá theo:

$$I_a = 25 \cdot U_W / (R_s \cdot K_d \cdot K_p) \tag{B.29}$$

trong đó

K_d là hệ số phụ thuộc các đặc tính của đường dây cung cấp (xem Bảng B.13);

K_p là hệ số tính đến hiệu quả các biện pháp bảo vệ (xem Bảng B.14);

U_w [kV] là điện áp chịu xung (xem Bảng B.15 đối với cáp và Bảng B.16 đối với thiết bị);

R_s [Ω /km] là điện trở của màn chắn cáp;

Khi đánh giá P_v đối với các đường dây viễn thông, giá trị tối đa của dòng điện sét I_a được ước tính như sau:

$I_a = 40$ kA đối với cáp có màn chắn chì;

$I_a = 20$ kA đối với cáp có màn chắn nhôm.

CHÚ THÍCH: Các giá trị này là ước tính sơ bộ cho dòng thử nghiệm (I_t) thiết hại cáp viễn thông điển hình tại điểm sét đánh. Nếu có bằng chứng cho thấy các giá trị này không thể áp dụng cho một thiết kế cáp nhất định, thì có thể sử dụng các giá trị khác. Trong trường hợp này, các thử nghiệm phải được sử dụng để đánh giá dòng điện sự cố.

Các giá trị P_v và P_w là hàm của các giá trị dòng điện sự cố I_a cho trong Bảng B.17.

B.5.1.3 Xác suất P_z mà chùm sét đánh gần đường dây cung cấp sẽ gây thiệt hại

Xác suất P_z mà chùm sét đánh gần đường dây cung cấp sẽ gây hỏng các thiết bị được nối phụ thuộc vào các đặc tính của đường dây cung cấp và vào các biện pháp bảo vệ. Khi không có SPD phù hợp với IEC 62305-4, giá trị P_z bằng với giá trị P_{LI} .

Giá trị P_{LI} được nêu trong Bảng B.7.

Khi có SPD phù hợp với IEC 62305-4 thì giá trị P_z thấp hơn các giá trị nằm giữa P_{SPD} (xem Bảng B.5) và P_{LI} .

B.5.1.4 Cáp sợi quang

Đang xem xét.

B.6 Đánh giá tổng tổn thất L'_x trên đường dây cung cấp

B.6.1 Qui định chung

Tổn thất L'_x đề cập đến số lượng trung bình liên quan của kiểu thiết hại cụ thể mà có thể xuất hiện như kết quả của chùm sét đánh vào một đường dây cung cấp, xem xét tới cả mức độ và hậu quả tác động.

Giá trị của nó phụ thuộc vào:

- Loại và mức độ quan trọng của đường dây cung cấp được trang bị công cộng;
- Giá trị các mặt hàng bị ảnh hưởng bởi thiết hại.

Tổn thất L'_x thay đổi với kiểu tổn thất (L'_1 , L'_2 và L'_4) được xem xét, đối với mỗi kiểu tổn thất, có kiểu thiết hại (D2 và D3) gây ra tổn thất. Sử dụng các ký hiệu sau:

TCVN 10687-24:2015

L'_f tổn thất do thiệt hại vật chất;

L'_o tổn thất do hỏng hệ thống bên trong.

CHÚ THÍCH: Tổn thất dịch vụ công cộng không được coi là có liên quan đến tuabin gió, do đó tổn thất L'_x trên đường dây cung cấp chỉ được xem như một tổn thất kinh tế.

B.6.2 Tổn thất kinh tế

Giá trị L'_x và L'_o có thể được xác định liên quan đến số lượng của tổn thất có thể có từ quan hệ sau:

$$L'_x = c / ct \quad (B.30)$$

trong đó:

c là giá trị tổn thất trung bình có thể có của tuabin gió, các thành phần trong nó và các hoạt động liên quan, tính thành tiền;

ct là tổng giá trị L'_f và L'_o , để sử dụng cho tất cả các loại đường dây cung cấp khi việc xác định c và ct gặp khó khăn hoặc không chắc chắn, như sau:

$$L'_f = 10^{-1}$$

$$L'_o = 10^{-3}$$

Tổn thất các giá trị kinh tế bị ảnh hưởng bởi các đặc tính đường dây cung cấp như sau:

$$L'_B = L'_V = L'_f \quad (B.31)$$

$$L'_C = L'_W = L'_Z = L'_o \quad (B.32)$$

B.7 Đánh giá chi phí tổn thất

Chi phí tổng tổn thất C_L có thể tính toán theo công thức sau:

$$C_L = (R_A + R_U) \cdot C_A + (R_B + R_V) \cdot (C_A + C_B + C_S + C_C) + (R_C + R_M + R_W + R_Z) \cdot C_S \quad (B.33)$$

trong đó:

R_A và R_U là các thành phần rủi ro liên quan đến tổn thất về động vật, không có các biện pháp bảo vệ;

R_B và R_V là các thành phần rủi ro liên quan đến thiệt hại vật lý, không có các biện pháp bảo vệ;

R_C, R_M, R_W, R_Z là các thành phần rủi ro liên quan đến hỏng hóc hệ thống điện và điện tử, không có các biện pháp bảo vệ;

C_A chi phí về động vật;

C_B chi phí của hệ thống trong tuabin gió;

C_S chi phí của tuabin gió;

C_C chi phí các thành phần bên trong của tuabin gió.

Tổng chi phí C_{RL} của các tổn thất còn lại mặc dù có thể tính toán các biện pháp bảo vệ theo công thức:

$$C_{RL} = (R'_A + R'_U) \cdot C_A + (R'_B + R'_V) \cdot (C_A + C_B + C_S + C_C) + (R'_C + R'_M + R'_W + R'_Z) \cdot C_S \quad (B.34)$$

trong đó:

R'_A và R'_U là các thành phần rủi ro liên quan đến tổn thất về động vật, có các biện pháp bảo vệ;

R'_B và R'_V là các thành phần rủi ro liên quan đến thiệt hại vật chất, có các biện pháp bảo vệ;

R'_C, R'_M, R'_W, R'_Z là các thành phần rủi ro liên quan đến hỏng hóc các hệ thống điện và điện tử, có các biện pháp bảo vệ;

Chi phí C_{PM} hàng năm của các biện pháp bảo vệ có thể được tính toán bằng công thức:

$$C_{PM} = C_P \cdot (i + a + m) \quad (B.35)$$

trong đó:

C_P là chi phí cho các biện pháp bảo vệ;

i là mức lãi suất;

a là mức độ hao mòn;

m là hệ số mức độ bảo trì.

Số tiền tiết kiệm hàng năm S là:

$$S = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad (B.36)$$

Việc bảo vệ là thuận lợi nếu số tiền tiết kiệm hàng năm $S > 0$.

B.8 Các trường hợp cụ thể

Đang xem xét.

Phụ lục C

(tham khảo)

Các biện pháp bảo vệ cánh tuabin

C.1 Qui định chung

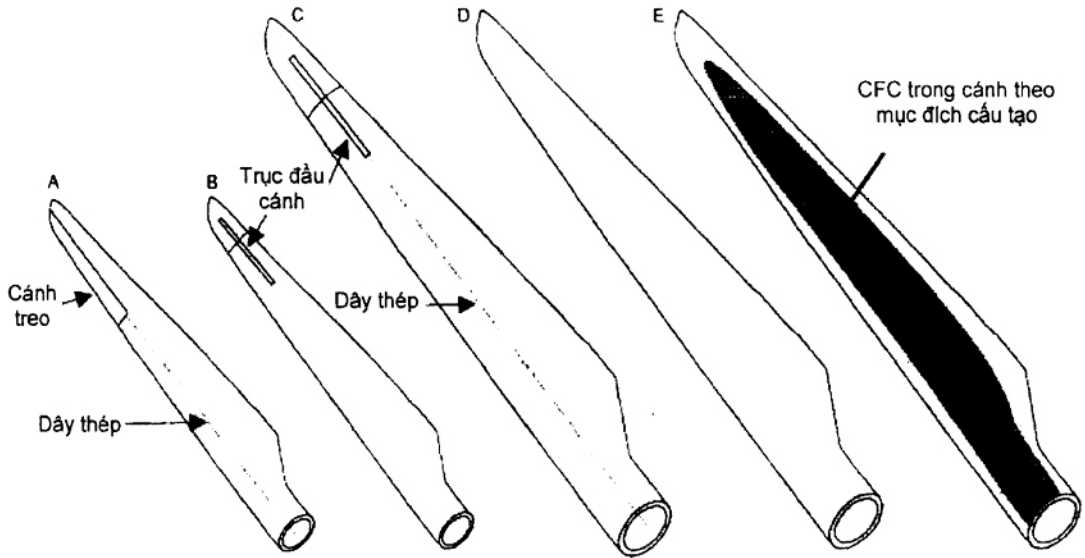
C.1.1 Các loại cánh và các kiểu biện pháp bảo vệ cánh

Cánh tuabin gió hiện đại là những kết cấu rỗng lớn được sản xuất bằng vật liệu tổng hợp, như nhựa được gia cố bằng sợi thủy tinh (GFRP), gỗ, gỗ dán và nhựa được gia cố bằng sợi cacbon (CFRP). CFRP thường được sử dụng để gia cố kết cấu cánh hoặc cho các thành phần đặc biệt như đầu trục cánh có hãm đầu cánh (cơ chế phanh giảm tốc). Một số bộ phận và thành phần rời rạc như mặt bích gá lắp, đối trọng, bản lề, vòng bi, dây dẫn, dây điện, lò xo và đồ gá được làm bằng kim loại. Ở một số thời điểm, để đạt hy vọng cao về việc sét không đánh vào các cánh chỉ khi chế tạo bằng vật liệu không dẫn điện, nhưng kinh nghiệm thực tế cho thấy điều này là không khả thi. Trong thực tế sét đánh cả vào những cánh không có thành phần kim loại, và bất cứ khi nào có hồ quang sét hình thành bên trong thì cánh bị thiệt hại nghiêm trọng.

Hai mặt hoặc các bề mặt của cánh thường được sản xuất như các tấm sợi thủy tinh hoặc vật liệu tổng hợp khác nhau tách rời được gắn với nhau dọc theo mép sau của cánh và cách đều và với một kết cấu chịu tải cũng được làm từ sợi tổng hợp. Bên trong cánh, có các khoang lớn chứa đầy không khí được hình thành từ bề mặt và kết cấu bên trong và kéo dài toàn bộ chiều dài của cánh. Một cách khác, bề mặt cánh cũng cung cấp độ bền cơ khí của cánh trong đó tránh xa dọc cánh chịu tải. Cuối cùng, các cánh có thể được đúc dạng một tấm liền và do đó các cánh như vậy không có bề mặt tiếp xúc được gắn vào như đã nói ở trên.

Có nhiều loại cánh phụ thuộc vào cơ cấu điều khiển và hãm, và việc sử dụng cách điện và các vật liệu tổng hợp dẫn. Năm loại chính được thể hiện trong Hình C.1.

Các cánh loại A sử dụng một cánh treo (cánh liệng) ở phía ngoài của cánh trước đối với hệ thống phanh. Trên các cánh loại A, điểm sét đánh thường được thấy là trên bản lề cánh treo, và thiệt hại nghiêm trọng thường thấy do mặt cắt ngang của các dây thép được sử dụng cho hoạt động cánh treo thường là không đủ để dẫn dòng điện sét.



Hình C.1 – Các loại cánh tuabin gió

Cánh loại B sử dụng một phanh đầu được giữ bằng một lò xo và ngắt ở tốc độ quay vượt quá lực ly tâm. Với cánh loại B, điểm sét đánh chủ yếu nhìn thấy trong vài chục xentimét tính từ đầu ngoài cùng, hoặc ở các cạnh của đầu cánh tại vị trí đầu ngoài cùng của trục đầu cánh. Từ điểm sét đánh, một hồ quang sét được hình thành bên trong phần đầu cánh đến đầu ngoài cùng của trục đầu cánh, và từ đầu kia của trục, một hồ quang được hình thành bên trong cánh chính xuống đến mặt bích gá lắp bằng thép ở phần trên của cánh. Các hồ quang bên trong như vậy luôn gây phá hủy nghiêm trọng cho cánh. Các cánh loại A và B thường được sử dụng với các tuabin gió đời cũ lớn hơn 100 kW.

Loại C là một cánh có một phanh đầu được kiểm soát bởi một dây thép. Với các cánh loại C, điểm sét đánh chủ yếu được tìm thấy trong vòng vài chục cm từ đầu ngoài cùng của cánh, hoặc ở các cạnh của đầu cánh tại vị trí đầu ngoài cùng của trục đầu cánh. Các cánh loại C như với loại B, một hồ quang sét hình thành bên trong phần đầu cánh giữa điểm sét đánh và đầu ngoài cùng của trục gây thiệt hại nghiêm trọng. Trên các cánh loại C, thiệt hại cho phần chính của cánh thường được nhìn thấy khi dây thép không thể mang dòng điện sét. Dây thép được sử dụng cho mục đích này có đường kính tối thiểu 10 mm hoặc 12 mm đối với các cánh dài 17 m. Các dây như vậy có khả năng dẫn hầu hết các dòng điện sét, và do đó bảo vệ cho cánh chính khỏi thiệt hại (xem Điều C.6 để thảo luận thêm về kích cỡ của hệ thống bảo vệ).

Loại D là một cánh được cấu tạo hoàn toàn từ các vật liệu không dẫn điện. Trải nghiệm với các cánh không dẫn điện thấy rằng như với các loại cánh khác, điểm sét đánh chủ yếu thấy ở gần đầu cánh. So với các loại cánh khác, điểm sét đánh cũng có thể được thấy phân bố ngẫu nhiên tại các vị trí khác dọc theo chiều dài của cánh.

TCVN 10687-24:2015

Loại E là một cánh mà ở đó một số thành phần kết cấu được thay thế bằng vật liệu tổng hợp sợi carbon (CFC), vì nó có tính chất cơ học mong muốn. Tùy thuộc vào thiết kế riêng, CFC có thể được sử dụng như thành phần gia cố cho vỏ cánh, cũng như chịu tải các thành phần kết cấu, như xà dọc cánh trung tâm và phân lớp chính. Do tính chất điện, cánh có thể được tích hợp vào các hệ thống bảo vệ chống sét hình thành các bộ phận của dây dẫn sét. Vấn đề bảo vệ chống sét cho các cánh của tuabin gió có CFC được khảo sát tại Điều C.3.

Sét đánh vào các cánh không dẫn điện hoặc tới các bộ phận cách ly của cánh có chứa các bộ phận dẫn điện có thể được giải thích ít nhất một phần do thực tế về sự ô nhiễm và nước làm cho các cánh như vậy dẫn điện hơn theo thời gian. Các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm cao áp đã chỉ ra rằng hồ quang xuất hiện kèm theo với một cánh không dẫn điện bị phun nước muối gần như giống khi cánh là kim loại [9]. Một phần khác của giải thích là các cánh hoàn toàn theo đường sét đánh vào tuabin gió. Ngoài ra, đã biết rằng sự phát triển phóng điện dọc theo một bề mặt dễ dàng hơn trong không khí, và đặc biệt nếu bề mặt bị ô nhiễm do ô nhiễm nước muối và nước. Trong mọi trường hợp, kinh nghiệm thực tế cho thấy thiệt hại sét đánh nghiêm trọng cho cả hai loại cánh không dẫn điện (loại D) và cánh có CFC (loại E) là khá phổ biến và do đó cần bảo vệ chống sét.

CHÚ THÍCH: Tham khảo các tài liệu được đánh số [X] trong Phụ lục này đã được liệt kê ở Thư mục tài liệu tham khảo.

C.1.2 Cơ chế thiệt hại cánh

Các kiểu thiệt hại điển hình tại điểm sét đánh là nung nóng và phân lớp bề mặt vật liệu tổng hợp, và đốt nóng hay nóng chảy các thành phần kim loại bao bọc tại điểm sét đánh.

Tuy nhiên, hầu hết thiệt hại nghiêm trọng cho các cánh tuabin gió xuất hiện khi sét hình thành hồ quang năng lượng cao bên trong cánh do đánh vào một bộ phận không được bảo vệ của bề mặt cánh. Các hồ quang có thể hình thành trong không khí bên trong cánh và dọc theo các bề mặt bên trong. Kiểu thiệt hại khác được nhìn thấy khi dòng điện sét hoặc bộ phận của nó dẫn trong hoặc giữa các phân lớp của vật liệu tổng hợp hoặc trong các rãnh ghép kết nối với các hệ thống dẫn xuống, có lẽ bởi vì các lớp và các rãnh như thế giữ ẩm. Sóng xung sóc áp lực gây ra bởi các hồ quang điện bên trong như vậy có thể gây nổ cánh thực sự, làm tách riêng vỏ bề mặt cánh dọc theo các cạnh và từ cánh treo chịu tải bên trong. Tất cả cấp thiệt hại được nhìn thấy có phạm vi từ bề mặt nứt gãy tới lúc hoàn toàn phá hủy cánh. Trong một số trường hợp, sóng áp lực đã được truyền từ cánh bị sét đánh qua hub và đưa vào các cánh khác gây thiệt hại áp lực cho chúng.

Hồ quang bên trong thường hình thành giữa các điểm sét đánh tại đầu của cánh và một số thành phần dẫn điện bên trong cánh. Với loại C, thiệt hại thường được giới hạn ở phần đầu cánh, trong khi cánh chính không hề hấn gì. Thiệt hại cho loại C các cánh chính thường thấy khi một hồ quang đã hình thành bên trong cánh chính. Thông thường, điều này đã xảy ra trong trường hợp dây thép kiểm soát phanh đầu có tiết diện không đủ để dẫn dòng điện sét từ trục đầu ống tới hub. Với các cánh loại A, cánh chính bị phá hủy.

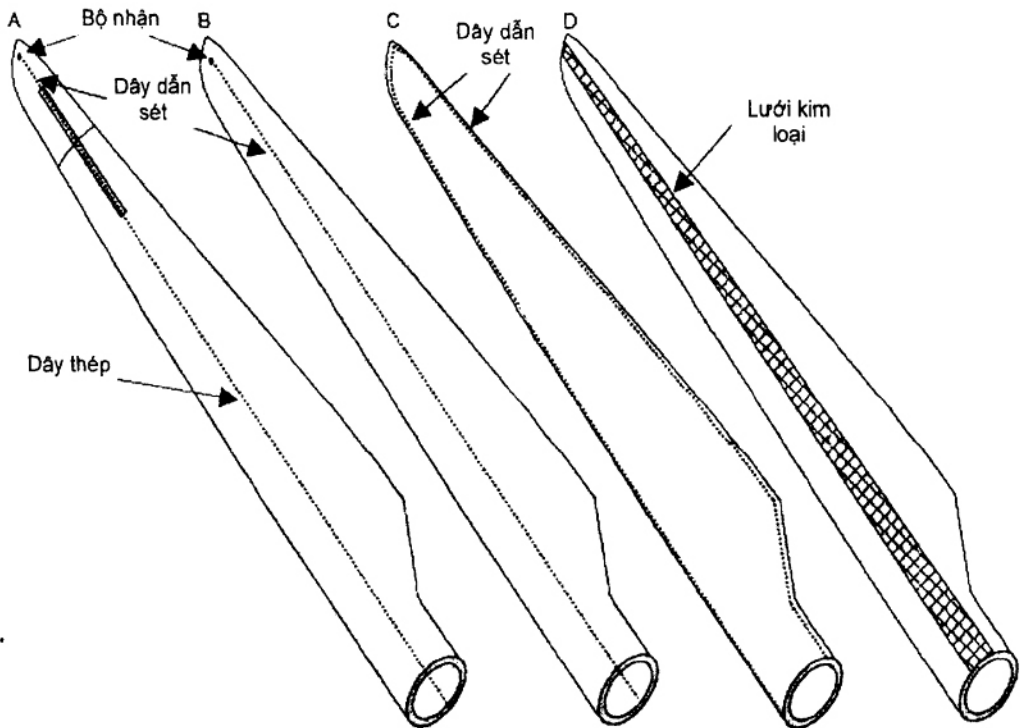
Do đó, hiện tượng gây ra thiệt hại nghiêm trọng cho kết cấu tới các cánh của tuabin gió là sự hình thành một sóng xung sóc áp lực xung quanh một hồ quang điện của sét bên trong cánh. Thiệt hại thứ cấp có thể xuất hiện khi một hồ quang sét được hình thành trên bề mặt bên ngoài hoặc khi dòng điện sét được dẫn bởi các thành phần kim loại có tiết diện không đủ.

Hồ quang bên trong năng lượng cao gây ra thiệt hại kết cấu sẽ không bị nhầm lẫn với phóng điện một phần năng lượng thấp được nhận xét trong C.2.4.

C.2 Các phương pháp bảo vệ

C.2.1 Qui định chung

Các vấn đề chung bảo vệ chống sét các cánh tuabin gió là dẫn dòng điện sét an toàn từ điểm sét đánh về hub, theo cách như vậy tránh được sự hình thành một hồ quang sét bên trong cánh. Điều này có thể đạt được bằng cách chuyển hướng dòng điện sét từ điểm sét đánh dọc theo cổ cánh, sử dụng dây dẫn kim loại hoặc cố định vào bề mặt cánh hoặc bên trong cánh. Phương pháp khác là bổ sung vật liệu dẫn điện cho chính vật liệu bề mặt cánh, như thế làm cho cánh dẫn điện đủ lớn để mang dòng điện sét an toàn về cổ cánh. Các biến thể của cả hai phương pháp này được sử dụng cho các cánh tuabin gió (xem Hình C.2).



Hình C.2 – Các khái niệm bảo vệ chống sét cho các cánh tuabin gió hiện đại kích thước lớn

C.2.2 Hệ thống đầu thu sét trên bề mặt cánh hoặc gắn trên bề mặt

Dây dẫn kim loại trên bề mặt cánh đáp ứng như hệ thống đầu thu sét hoặc một hệ thống dây dẫn sét phải có mặt cắt ngang đủ để có thể chịu được sét đánh trực tiếp và dẫn toàn bộ dòng điện sét. Ngoài ra, kích thước nhất định là cần thiết để đạt được cố định đáng tin cậy cho bề mặt cánh. Mặt cắt ngang tối thiểu đối với nhôm là 50 mm² và đạt được cố định đáng tin cậy cho các dây dẫn mà có thể có vấn đề. Hơn nữa, các dây dẫn gắn trên bề mặt cánh có thể làm ảnh hưởng tới khí động học của cánh hoặc tạo ra tiếng ồn không mong muốn [10] [11].

Đối với dây dẫn sét gắn vào cánh, sử dụng các sợi hoặc sợi thủy tinh bên của nhôm hay đồng. Trong tài liệu, nhiều hệ thống bảo vệ được mô tả một dây dẫn kim loại nối vào cổ cánh được đặt ở trên bề mặt cánh dọc theo mép sau của cánh hoặc gắn vào trong mép sau. Một số thiết kế cánh có dây dẫn kim loại được đặt dọc theo cả hai mép sau và dẫn hướng (loại C). Ngoài ra, một số có dây bảo vệ chống sét kim loại đặt trên bề mặt xung quanh cánh tại một số vị trí dọc theo cánh, mỗi cánh được nối với dây dẫn đặt dọc theo các cạnh cánh [11] [12] [13] [14] [15].

C.2.3 Đai bảo vệ chống sét được phân đoạn và băng dính bằng kim loại

Băng dính kim loại đặt trên bề mặt cánh đã được sử dụng trong một số khảo sát. Tuy nhiên, sau vài tháng các băng dính như vậy có xu hướng bong [12] [16]. Với điều kiện là có thể giải quyết vấn đề giữ băng dính trên lưỡi dao, thì băng dính kim loại có thể là một phương pháp bảo vệ lý thú, đặc biệt như một trang bị thêm cho cánh không được bảo vệ hiện có. Tuy nhiên, lưu ý rằng sóng áp lực lớn có liên quan đến dẫn hướng sét gắn với bề mặt cánh [10]. Điều này có thể dẫn đến tổn thương kết cấu.

Một số thí nghiệm hứa hẹn với đai bảo vệ chống sét được phân đoạn đã được thực hiện trong quá khứ [17] [18]. Các đai phân đoạn như vậy được sử dụng trên các mái che rada của máy bay bởi vì chúng không làm nhiễu tín hiệu rada. Việc sử dụng các đai bảo vệ chống sét phân đoạn kéo dài như một bộ phận bảo vệ chống sét cho một cánh tuabin gió chứa CFC đã được mô tả trong tài liệu [26].

Cũng có thể sử dụng băng dính kim loại như một yêu cầu bảo vệ đơn xung thay thế sau một cú sét đánh.

C.2.4 Hệ thống dây dẫn sét bên trong

Một giải pháp cho vấn đề dây dẫn đặt trên bề mặt cánh phải có các dây dẫn sét đặt bên trong cánh. Các bộ gá kim loại để dây dẫn xuyên qua bề mặt cánh và đáp ứng như các đầu thu sét rời rạc. Hệ thống bảo vệ như vậy được sử dụng trên máy bay [10].

Hệ thống bảo vệ chống sét được sử dụng trên nhiều cánh hiện nay trong sản xuất có các đầu thu sét rời rạc đặt ở đầu cánh (loại A và B trong Hình C.2). Từ các đầu thu ở đầu, một hệ thống dây dẫn sét bên trong dẫn dòng điện sét vào đầu chặn cánh. Với cánh có phanh đầu, dây thép kiểm soát đầu cánh được sử dụng như một dây dẫn sét (loại A). Nếu cánh không có phanh đầu thì một dây đồng được đặt dọc theo xà dọc bên trong được sử dụng như một dây dẫn sét (loại B).

Hàng ngàn cánh có hệ thống bảo vệ chống sét loại này (loại A và B trong Hình C.2) đã được sản xuất. Các kinh nghiệm với các hệ thống bảo vệ chống sét này cho cánh dài chừng 20 m là rất khả quan [19]. Nguyên tắc có một hoặc nhiều đầu thu sét bên ngoài nối với dây dẫn sét bên trong đã được sử dụng rộng rãi đến ngày công bố bởi nhiều nhà chế tạo cánh dài đến 60 m. Với cánh dài như vậy, kinh nghiệm cho thấy rằng có một rủi ro sét đánh trực tiếp qua tấm dán tới dây dẫn sét bên trong gây thiệt hại nghiêm trọng cho cánh. Những vấn đề này xuất hiện có liên quan đến phát triển phóng một phần không được kiểm soát từ các bộ phận dẫn điện bên trong (các dây dẫn sét, các thành phần kết nối, v.v....)

Khi phóng một phần năng lượng thấp như vậy được cho phép bắt đầu từ các bộ phận kim loại bên trong của cánh, chúng sẽ lan truyền liên tục nhanh chóng như dòng bắt đầu từ đầu thu. Một trong những lần phóng điện bên trong này đánh vào bề mặt bên trong của cánh, liên quan đến phía ngoài cánh, chúng sẽ tăng cường ứng suất điện đi qua lớp dán. Ứng suất gia tăng có thể không phải là một vấn đề đối với số lần thay đổi trường nhanh được giới hạn (sét đánh vào các đầu thu hoặc gắn kết cấu), nhưng khi cánh được tiếp xúc với nhiều lần tác động trong toàn bộ thời gian phục vụ của nó, thì ứng suất có thể phát triển cuối cùng thành một lần phóng điện hoàn chỉnh. Tác động vật lý lên cánh từ như một luồng phóng điện áp cao như vậy là khá hạn chế, nhưng những thiệt hại liên quan đến việc dẫn dòng điện sét sẽ là thảm họa như được nhận xét trong C.1.2.

Sự phóng điện như thế có thể bị cản trở hoặc bị trễ nhờ việc bọc kín đầu dẫn sét bên trong và các bộ phận dẫn điện khác trong cánh với vật liệu cách điện, do đó giảm được vấn đề này [27] [28].

C.2.5 Vật liệu bề mặt dẫn điện

Thay thế cho một hệ thống đầu thu sét đặt trên bề mặt cánh là làm cho bề mặt của nó tự dẫn điện. Trong ngành công nghiệp máy bay, để đạt được bảo vệ chống sét của vật liệu tổng hợp sợi thủy tinh và carbon cho các cánh và các bề mặt chịu tác động của sét bằng cách thêm vật liệu dẫn điện cho các lớp bên ngoài, do đó làm giảm thiệt hại cho một khu vực nhỏ tại điểm sét đánh. Vật liệu dẫn điện có thể được đan dây kim loại vào các lớp bên ngoài của vật liệu tổng hợp, hoặc lưới đan bằng kim loại được đặt ngay bên dưới bề mặt [10] [15] [21] và [20]. Bảo vệ chống sét cho cánh tuabin gió đã được thực hiện với lưới kim loại được đặt dọc theo các cạnh của cánh ngay dưới lớp keo (loại D trên Hình C.2). Đôi khi các đỉnh đầu mút của cánh hoặc được làm bằng kim loại hoặc phủ bằng một tấm kim loại [12] [13] [14] [15] [22] và [23].

Lợi thế của việc sử dụng lưới kim loại hoặc các bề mặt dẫn điện mỏng khác cho các dây dẫn sét là các phần tử dẫn điện nội bộ (CFC) có thể được bảo vệ chống điện trường, do đó bảo vệ chống sét đánh trực tiếp. Sự điện áp cảm ứng dọc theo chiều dài của dây dẫn kết hợp với biến thiên dòng điện cao sẽ giảm đôi chút, một hiệu ứng quan trọng xem là rủi ro của các sét phụ. Tuy nhiên, cũng phải xét đến cả rủi ro nhận sét đánh trực tiếp vào các cạnh hình học mỏng như vậy, và khả năng phân phối dòng không đồng đều do các hiệu ứng bề mặt.

C.3 Thành phần kết cấu CFC

Sợi Cacbon tổng hợp (CFC) đã được sử dụng cho các đầu trục đối với các cánh nhỏ và hiện nay thường sử dụng là vật liệu gia cố cho các cánh lớn. Vật liệu được sử dụng hoặc cho xà dọc chịu lực trung tâm hoặc trực tiếp trên vỏ cánh do các thuộc tính cơ học ưu việt của nó. Sử dụng vật liệu CFC cho các thành phần kết cấu được mong đợi để tăng thêm nữa theo kích thước tăng lên của các cánh.

Vấn đề chính đối với vật liệu CFC là cách nó phản ứng với các tác động từ dòng điện sét có thể đi vào và dẫn trong vật liệu. Hai tính chất điện ở đây của vật liệu CFC làm cho nó khác đáng kể với các vật liệu dẫn đẳng hướng như kim loại, dẫn điện DC và mức độ không đẳng hướng.

Độ dẫn điện một chiều của vật liệu CFC thường được gán một giá trị thấp hơn 1 000 lần so với kim loại, tức là $3,5 \cdot 10^4$ S/m. Đây là một giá trị gần đúng được tìm thấy cho các tấm đan CFC hai trục sử dụng cho vỏ máy bay cỡ nhỏ, được đo song song với bề mặt của mẫu thử [25] [21].

Tùy thuộc vào cấu tạo và kỹ thuật đan kết thực tế, độ dẫn điện của vật liệu CFC biểu diễn mức độ bất đẳng hướng rất cao. Đối với các mẫu thử nghiệm CFC sử dụng để thử nghiệm sét trong ngành công nghiệp điện tử hàng không, độ dẫn điện đo được và thay đổi trong vòng bốn bậc độ lớn đối với các hướng dòng điện khác nhau [29].

Do đó, nhiệt điện trở của vật liệu CFC khi tiếp xúc với mật độ dòng cao có thể quan trọng. Đặc biệt tại các điểm sét đánh nơi dòng điện cao đi vào khu vực khá hạn chế, nhiệt độ do tổn thất nhiệt lượng Jun có thể vượt quá nhiệt độ bay hơi của chất kết dính (khoảng 200 °C). Khi chất kết dính bay hơi, áp suất từ các khí bay ra có thể gây ra vỡ và tách lớp của các lớp vật liệu CFC. Vật liệu CFC thậm chí có thể bị đốt, đặc biệt tại các điểm sét đánh [21].

Khi vật liệu CFC được sử dụng trong máy bay, xem như bắt buộc phải trang bị bảo vệ chống sét cho các thành phần CFC mà có thể bị sét đánh hoặc có thể dẫn dòng điện sét [10].

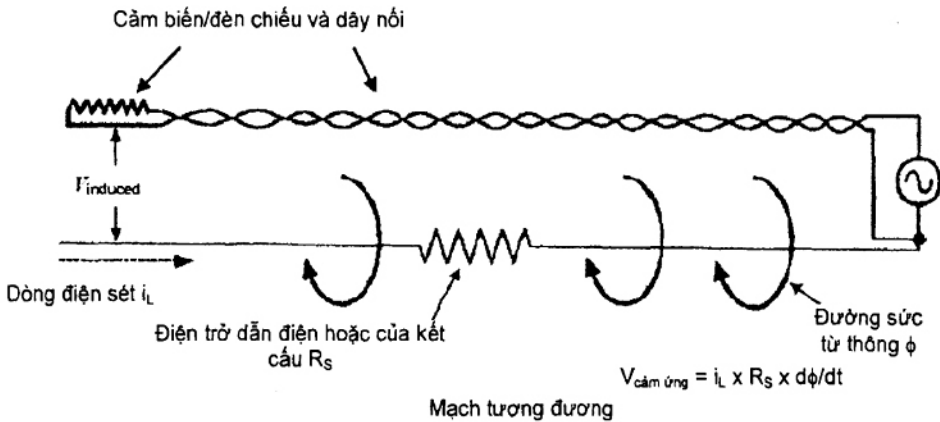
Có những ví dụ về các đầu trục CFC cho các cánh tuabin gió đã bị hỏng do sét đánh. Một số thí nghiệm trong phòng thí nghiệm cũng đã chứng minh vấn đề với các trục CFC dẫn dòng điện sét [24]. Các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm cho các cánh có vỏ CFC đã cho thấy sự tách lớp bề mặt và đốt tại điểm sét đánh [9] [26]. Do đó, cần phải bảo vệ cho các bề mặt CFC bảo vệ chống sét đánh trực tiếp, hoặc bằng cách phủ kín bằng một lớp vật liệu cách điện đủ dày hoặc bảo vệ bằng các thiết bị bảo vệ chống sét chụp bên ngoài.

Do vật liệu CFC dẫn điện hầu hết bằng đường dẫn song song với dòng điện sét, liên quan đến dây dẫn sét, thực hiện liên kết hợp lý giữa vật liệu CFC và các thành phần dẫn điện khác. Đối với mỗi thiết kế cánh.cụ thể, cần xác định liệu khoảng cách giữa các liên kết đẳng thế đủ nhỏ để tránh sự phát triển điện áp tới hạn giữa vật liệu CFC và các dây dẫn sét. Điện áp tới hạn trong ngữ cảnh này là điện áp có thể gây thủng tiềm ẩn lớp cách điện giữa vật liệu CFC và các dây dẫn sét, ảnh hưởng đến độ bền cơ học của kết cấu.

Mỗi dòng điện sét được phân bố trên tiết diện dây nối của vật liệu CFC, các kết cấu như thế có thể dẫn được dòng điện sét mà không bị thiệt hại.

C.4 Các vấn đề riêng với các thành phần dẫn điện

Các thành phần dẫn điện trong điều này gồm tất cả các bộ phận dẫn điện khác trong cánh bên cạnh các đầu thu và hệ thống dẫn xuống đã được mô tả ở Điều C.2, và vật liệu CFC hợp lý được mô tả ở Điều C.3.



Hình C.3 – Điện áp cảm ứng sét giữa dây dẫn sét hoặc kết cấu và dây cảm biến

Dây dẫn cho cảm biến đặt trên hoặc bên cánh có thể chịu tác động của từ trường mạnh mà có thể tạo ra các điện áp thiệt hại giữa các dây dẫn sét và dây dẫn khác trong cánh, như minh họa trong Hình C.3. Dây dẫn như vậy phải tránh nếu có thể. Nếu không, cả cảm biến và dây dẫn phải được bảo vệ bằng cách liên kết đẳng thế phù hợp với hệ thống dây dẫn sét và bảo vệ hoặc bao phủ bằng các đầu thu sét bên ngoài. Khi có bộ nhận sét bên ngoài chịu tác động tốt nằm trực tiếp bên ngoài các thành phần dẫn điện bên trong, cần phải bảo vệ các kết cấu bên trong tránh sét đánh trực tiếp. Hơn nữa, rủi ro bị phóng điện một phần từ dây dẫn bên trong được giảm thiểu bằng cách bao phủ các dây dẫn điện cẩn thận bằng các vật liệu cách điện. Chú thích rằng dòng điện và điện áp cao có thể được cảm ứng trong vòng dây dẫn điện được cách ly trong vùng lân cận hệ thống dây dẫn sét. Các đột biến điện như vậy có thể dẫn đến đánh lửa bên trong. Các thiết kế có thể tích hợp dây dẫn điện kết hợp với các cảm biến, đèn chiếu và các hệ thống khác có hệ thống bảo vệ chống sét, bao gồm dây dẫn sét, có thể đạt thành công nhất để tránh thiệt hại cho các hệ thống này. Việc phối hợp cẩn thận các thiết kế của tất cả các hệ thống bên trong một cánh là thiết yếu để bảo vệ chống sét thành công cho cánh và chức năng của các hệ thống bên trong cánh.

Các thành phần kết cấu kim loại bên trong cánh, là đối trọng, giảm chấn, bệ đỡ, v.v... phải được khảo sát tương tự. Tất cả các bộ phận dẫn điện trong cánh phải được thiết kế để giảm thiểu tăng cường điện trường và được kết nối bằng liên kết đẳng thế để giảm rủi ro phóng điện bên trong. Như với các

TCVN 10687-24:2015

dây dẫn, điều quan trọng là các đầu thu sét bảo vệ các thành phần dẫn điện bên trong khối điện trường, do đó bảo vệ các khu vực này tránh sét đánh trực tiếp.

Nếu các thành phần dẫn điện khác được đặt trong cánh, tức là đèn chiếu chuyển hướng đầu cánh, cảm biến sét, thiết bị giám sát điều kiện, v.v..., phải luôn được bảo vệ bằng các đầu thu sét bên ngoài do đó giảm thiểu rủi ro sét đánh trực tiếp đến kết cấu. Như mô tả ở trước, rủi ro do phóng điện bên trong có thể dẫn đến thùng vỏ cánh có thể được giảm thiểu bằng cách phủ kín tất cả các bộ phận dẫn điện bên trong cẩn thận bằng vật liệu cách điện.

C.5 Hiệu quả ngăn chặn

Hiệu quả ngăn chặn là một vấn đề với các phương pháp bảo vệ chống sét sử dụng hệ thống đầu thu sét rời rạc đặt trên bề mặt cánh. Bất kỳ đầu thu sét và phần mở rộng của đầu thu sét (các dây dẫn điện rần và các dây bảo vệ chống sét phân đoạn trên bề mặt) phải được đặt theo cách mà khả năng thùng mặt không dẫn điện do sét được giảm xuống một mức độ có thể chấp nhận được.

Vị trí các đầu thu sét sẽ đặt sao cho điện áp phóng điện bề mặt dọc theo mặt cánh không dẫn điện nhỏ hơn điện áp phóng điện đánh thùng của vỏ cánh. Trong thực tế, cả hai điện áp phóng điện đánh thùng của vỏ cánh và điện áp phóng điện bề mặt sẽ rất khó để thiết lập, vì phải dự kiến các biến động do vật liệu tổng hợp khác nhau cũng như ảnh hưởng của lão hóa, vết nứt, độ ẩm và ô nhiễm. Hơn nữa, hiệu quả ngăn chặn của dây bảo vệ chống sét phân đoạn và các đầu thu rời rạc sẽ bị ảnh hưởng bởi sự hiện diện của các vật liệu dẫn điện bên trong cánh [10].

Đối với các cánh dài đến 20 m, các đầu thu tại đầu cánh đã được chứng minh được đầy đủ. Công bố gần đây về phân bố điểm sét đánh vào các cánh sợi kim loại dài 39 m cho thấy phần lớn các chùm sét đánh vào vùng đầu cánh (88 %) trong khi các cú sét còn lại là tới các đầu thu sâu vào 5 m so với đầu [30].

Các thử nghiệm cú sét cao áp vào các mẫu thử đại diện cho thiết kế là hữu ích để bộc lộ bảo vệ không đủ của các đầu thu. Tuy nhiên, cần nghiên cứu sâu hơn, đặc biệt là những ảnh hưởng của cánh ướt, ô nhiễm và lão hóa.

Phương pháp số được sử dụng để xác định các khu vực trên cánh và vỏ tuabin có khả năng bị sét đánh và ước tính số lần sét đánh trực tiếp hàng năm tới kết cấu nhất định hiện đang được phát triển [32] [33]. Một khi hiểu đầy đủ về điện thế và việc sử dụng các mô hình này, chúng có thể được sử dụng để ước tính những bề mặt dễ bị sét tấn công nếu các bề mặt này dẫn điện hoặc có đầu thu. Tuy nhiên, phương pháp mô phỏng số không có khả năng có thể dự báo chắc chắn xem liệu một kết cấu cánh không dẫn điện có bị thùng, hoặc thiết lập số lượng và vị trí bộ nhận cần thiết để ngăn chặn thùng. Điều này là do sự phức tạp của các kết cấu cánh, và động lực học của sự tạo thành và phát triển nhiều phần tử tạo dòng. Do đó, phương pháp số có thể trở thành công cụ thiết kế hữu ích, nhưng các thử nghiệm đánh cao áp, được mô tả trong Điều D.2 về các thiết kế dự phòng phải được sử dụng để cung cấp bảo đảm bổ sung cho hiệu quả bảo vệ.

C.6 Kích thước các hệ thống bảo vệ chống sét

Các vật liệu được sử dụng để bảo vệ chống sét cho cánh tuabin gió phải có thể chịu được các hiệu ứng kết hợp của điện, nhiệt và các ứng suất điện động đặt lên bởi dòng điện sét. Các kích thước danh định cho các vật liệu được sử dụng cho đầu thu sét và các dây dẫn sét được liệt kê trong Bảng C.1 (xem thêm IEC 62305-3).

Bảng C.1 – Vật liệu, cấu hình và tiết diện danh định tối thiểu của các đầu thu sét, các cột thu sét và các dây dẫn sét (tương ứng Bảng 6 trong IEC 62305-3)

Vật liệu	Cấu hình	Tiết diện danh định mm ²	Ghi chú ^{1,2}
Đồng	Dẹt đặc	50 ^h	Chiều dày 2 mm
	Tròn đặc ^g	50 ^h	Đường kính 8 mm
	Xoắn nhiều sợi	50 ^h	Mỗi cáp có đường kính 1,7 mm
	Tròn đặc ^{c,d}	200	Đường kính 15 mm
Thiếc mạ đồng ^a	Dẹt đặc	50 ^h	Chiều dày 2 mm
	Tròn đặc ^g	50 ^h	Đường kính 8 mm
	Được xoắn lại	50 ^h	Mỗi cáp có đường kính 1,7 mm
Nhôm	Dẹt đặc	70	Chiều dày 3 mm
	Tròn đặc	50 ^h	Đường kính 8 mm
	Xoắn nhiều sợi	50 ^h	Mỗi cáp có đường kính tối thiểu 1,7 mm
Hợp kim nhôm	Dẹt đặc	50 ^h	Chiều dày 2,5 mm
	Tròn đặc	50	Đường kính 8 mm
	Xoắn nhiều sợi	50 ^h	Mỗi cáp có đường kính 1,7 mm
	Tròn đặc ^c	200	Đường kính 15 mm
	Tròn đặc mạ đồng	50	Đường kính tối thiểu 250 μm, mạ đồng 99,9 % đồng
Thép mạ kẽm nóng ^b	Dẹt đặc	50 ^h	Chiều dày 2,5 mm
	Tròn đặc	50	Đường kính 8 mm
	Xoắn nhiều sợi	50 ^h	Mỗi cáp có đường kính 1,7 mm
	Tròn đặc ^{c,d}	200	Đường kính 15 mm
Thép không gỉ ^e	Dẹt đặc ^f	50 ^h	Chiều dày 2 mm
	Tròn đặc ^f	50	Đường kính 8 mm
	Xoắn nhiều sợi	70 ^h	Mỗi cáp có đường kính 1,7 mm
	Tròn đặc ^{c,d}	200	Đường kính 15 mm
Thép	Tròn đặc mạ đồng	50	Đường kính tối thiểu 250 μm, mạ đồng 99,9 % đồng

Bảng C.1 (kết thúc)

- ^a Nhúng nóng hoặc mạ điện độ dày tối thiểu lớp mạ 1 mm.
- ^b Lớp mạ trơn, liên tục và không bị cháy đổi màu với trọng lượng lớp mạ tối thiểu là 350 g/m² đối với các dây dẫn tròn đặc và 500 g/m² đối với các dây dẫn dẹt đặc.
- ^c Chỉ dùng cho các đầu thu sét. Đối với các áp dụng nơi có các ứng suất cơ học như tải trọng gió không giới hạn, sử dụng cọc đầu thu sét dài tối đa 10 m, đường kính 10 mm và có đầu gia cố bổ sung.
- ^d Chỉ dùng cho các cọc cắm vào đất.
- ^e Crom ≥ 16 %, niken ≥ 8 %, cacbon ≤ 0,07 %.
- ^f Đối với thép không gỉ được gắn vào trong bê tông, và/hoặc tiếp xúc trực tiếp với vật liệu dễ cháy, kích thước tối thiểu phải tăng tới 78 mm² (đường kính 10 mm) đối với loại tròn đặc và 75 mm² (3 mm chiều dày tối thiểu) đối với loại dẹt đặc.
- ^g 50 mm² (đường kính 8 mm) có thể giảm xuống 28 mm² (đường kính 6 mm) trong các ứng dụng đã biết ở đó độ bền cơ học không phải là yêu cầu thiết yếu. Trong trường hợp này, cần xem xét để giảm khoảng cách giữa các chốt.
- ^h Khi nhiệt và cơ là quan trọng, các kích thước này có thể được tăng tới 60 mm² đối với loại dẹt đặc và tới 78 mm² đối với loại tròn đặc.
- ⁱ Mặt cắt ngang tối thiểu để tránh nóng chảy là 16 mm² (đồng), 25 mm² (nhôm), 50 mm² (thép) và 50 mm² (thép không gỉ) đối với năng lượng riêng 10 000 kJ/Ω. Để biết thêm thông tin, xem Phụ lục E của IEC 62305-3.
- ^j Dung sai cho phép với tiết diện là 3 %.

Tiết diện đưa ra ở trên có ý nghĩa như một chỉ dẫn bắt đầu cho các dây dẫn đơn giản. Đối với hình học như vậy, sự gia tăng nhiệt độ kết hợp với dòng điện sét có thể được đánh giá phân tích hoặc số hóa. Xem xét các thành phần cho các ứng dụng đặc biệt, như các dây dẫn sét linh hoạt, và hình học phức tạp hơn như các đầu thu, các thành phần kết nối, lá mờ rộng, v.v..., kích thước khác nhau có thể được xem xét; đối với các thành phần như vậy, thẩm tra thiết kế phải dựa trên các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm. Khi các thành phần bảo vệ chống sét riêng được đặt cùng với định dạng lắp đặt toàn bộ cánh, đề xuất thử nghiệm giải pháp cuối cùng.

Các thành phần chịu tải như dây thép cho phanh đầu có thể phải được thậm chí đặc hơn khi độ bền cơ học bị giảm nếu bị đốt nóng đến nhiệt độ cao. Có một vài kinh nghiệm với dây thép để kiểm soát phanh đầu đã bị đứt hoặc tan chảy do dòng điện sét ngay cả đối với dây có đường kính lên đến 10 mm (tiết diện 78 mm²).

Sự gia tăng nhiệt độ của dây dẫn mang dòng điện sét có thể được đánh giá như thể hiện trong công thức C.1 (xem thêm IEC 62305-1). Các nhà xây dựng phải xem xét sự gia tăng nhiệt độ của tất cả các thành phần phải chịu cho tất cả hoặc một phần dòng điện sét và đảm bảo các thành phần như vậy có đủ độ bền để thực hiện chức năng của nó ngay lập tức sau cú sét đánh.

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \cdot \left\{ \exp \left[\frac{W/R \cdot \alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot c_w} \right] - 1 \right\} \quad (C.1)$$

trong đó:

$\theta - \theta_0$ [K] phát sinh nhiệt độ của dây dẫn;

α [1/K] hệ số nhiệt của điện trở;

W/R [J/ Ω] năng lượng riêng của xung dòng điện;

ρ_0 [Ω m] điện trở riêng một chiều của dây dẫn ở nhiệt độ môi trường;

q [m^2] tiết diện của dây dẫn;

γ [kg/m^3] mật độ vật chất;

c_w [J/kgK] nhiệt dung.

Bảng C.2 biểu diễn các đầu vào của công thức này đối với các vật liệu dùng chung, và Bảng C.3 biểu diễn sự gia tăng nhiệt độ đối với các dây dẫn khác nhau. Phải chú ý rằng trong trường hợp các dây đã có tải trước đó, gia tăng nhiệt không phải là đạt tới điểm nóng chảy gây hỏng.

**Bảng C.2 – Các đặc trưng vật lý của các vật liệu điển hình được sử dụng trong hệ thống LPS
(Bảng D.2 trong IEC 62350-1)**

Đại lượng	Vật liệu			
	Nhôm	Thép non	Đồng	Thép không gỉ ^a
ρ_0 (Ω m)	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 ($^{\circ}C$)	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
θ_s [$^{\circ}C$] nhiệt độ nóng chảy;				
c_s [J/kg] nhiệt ẩn nóng chảy.				
^a Khoáng chất Auxtenit không từ tính.				

**Bảng C.3 – Gia tăng nhiệt [K] cho các dây dẫn khác nhau là hàm của W/R
(Bảng D.3 trong IEC 62305-1)**

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 Khoáng chất Auxtenit không từ tính.												

TCVN 10687-24:2015

Xem xét tác động tới đầu thu sét, IEC 62305-1 đề xuất việc sử dụng mô hình sụt áp anode hoặc cathode. Mô hình giả thiết rằng tất cả các năng lượng được phun từ trong cung hồ quang được sử dụng để làm bốc hơi vật liệu thể tích lớn, do đó bỏ qua sự khuếch tán nhiệt trong kim loại. Thể tích nóng chảy sử dụng phương pháp tiếp cận bảo toàn này có thể được tìm thấy bằng cách sử dụng công thức C.2.

$$V = \frac{u_{a,c} \cdot Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{c_w(\theta_s - \theta_u) + c_s} \quad (C.2)$$

trong đó:

V	[m ³]	thể tích kim loại nóng chảy;
$u_{a,c}$	[V]	sụt áp trên a nốt hoặc ca tốt (được giả thiết là hằng số);
Q	[C]	điện tích dòng điện sét;
γ	[kg/m ³]	mật độ vật chất;
c_w	[J/kgK]	nhiệt dung;
θ_s	[°C]	nhiệt độ nóng chảy;
θ_u	[°C]	nhiệt độ môi trường;
c_s	[J/kg]	nhiệt ẩn nóng chảy.

Sử dụng sụt áp trên a nốt hoặc ca tốt điển hình $u_{a,c}$ cỡ khoảng vài chục vôn, mô hình dẫn đến ước tính vượt mức thể tích nóng chảy.

C.7 Kết nối cánh vào hub

Tại cổ cánh, hệ thống dẫn xuống thường hoặc kết thúc tại mặt bích gờ gắn cánh hoặc tại hub.

Nếu cánh được quy định là loại chòong cánh (loại D), dòng điện sét hoặc là cho phép dẫn không được kiểm soát qua vòng bi xoay cánh hoặc một số loại liên kết ngang vòng bi được cung cấp như một tiếp xúc quay trượt hoặc cáp liên kết linh hoạt đủ chùng để cho phép dịch chuyển xoay cánh. Liên kết linh hoạt ngang vòng bi có thể được kết hợp với phần trong cùng của dây dẫn sét từ cánh.

Trong cánh có phanh đầu (loại C), hệ thống thủy lực hoạt động bằng dây kiểm soát, phải được bảo vệ. Xi lanh thủy lực tiêu chuẩn thường được sử dụng có thể bị hư hỏng do phóng điện xuyên qua từ thanh đến vỏ xi lanh. Thông thường, xi lanh thủy lực được bảo vệ bằng cách chuyển hướng sét thông qua một cáp liên kết linh hoạt đủ chùng để cho phép dịch chuyển, hoặc cách khác một khe hở trượt không khí hoặc chổi than được sử dụng để chuyển hướng dòng điện sét từ các xi lanh thủy lực. Cách tiếp cận khác với cấu tạo khe hở trượt không khí đã được mô tả [24].

Phải chú ý quan tâm đến việc giảm khe chùng trong các cáp liên kết như vậy, do sụt điện áp cảm ứng trên khe chùng có thể trở nên rất cao, vì vậy dẫn đến bảo vệ kém hiệu quả cho xilanh [24].

Phụ lục D

(tham khảo)

Thông số kỹ thuật thử nghiệm

D.1 Qui định chung

Phụ lục này mô tả các phương pháp thử nghiệm có thể có để phát triển thiết kế cánh mới hoặc thẩm định thiết kế cánh hiện có liên quan đến khả năng xử lý của chúng đối với các tác động phóng sét. Các thử nghiệm được mô tả cho cánh, nhưng cũng có thể được áp dụng cho các đối tượng khác như mâm quay, hub, vỏ tuabin hoặc bộ phận của chúng.

Các hạng mục cần thử nghiệm sẽ là các mẫu thử của cánh, bao gồm cả đầu cánh và đầy đủ các phần của cánh phía trong đầu để đại diện cho thiết kế bảo vệ chống sét hoàn chỉnh và kết cấu cánh mẫu, cũng như sự tương tác của hệ thống đầu thu sét, các dây dẫn sét, các thành phần kết nối dẫn xuống, các thành phần khác của hệ thống bảo vệ chống sét, và kết cấu cánh mẫu. Các đặc điểm kỹ thuật thử nghiệm được chia thành hai phần phụ.

Các thử nghiệm sét đánh cao áp được áp dụng để xác định điểm sét đánh cụ thể và đường dẫn phóng điện đánh thủng đi qua hay qua các vật liệu không dẫn điện như cánh tuabin gió và vỏ động. Do dòng điện dẫn trong các thử nghiệm này là chỉ đại diện cho dòng tiên đạo sét, và không lớn hơn dòng điện của cú sét mạnh hơn, các thử nghiệm sét đánh chỉ được dự kiến để chỉ rõ đường dẫn có thể mang dòng phóng điện sét. Thiệt hại gây ra bởi các thử nghiệm này là không thể so sánh với thiệt hại có thể từ các dòng điện sét.

Các thử nghiệm thiệt hại vật chất dòng cao được sử dụng để đánh giá thiệt hại thực tế do dòng điện sét. Các phương pháp thử nghiệm được trình bày có thể áp dụng cho cả các thiết kế đầu hoàn chỉnh, và các phần nhỏ hơn của dây dẫn sét như các thành phần kết nối, v.v.... Những thử nghiệm này không đưa ra bất cứ thông tin về các điểm sét đánh có khả năng nhất.

Tiêu chí qua/loại bỏ đối với mỗi thử nghiệm phải được nhà chế tạo xác định và công bố.

CHÚ THÍCH: Tham khảo các tài liệu được đánh số [X] trong phụ lục này và trong Thư mục tài liệu tham khảo.

D.2 Các thử nghiệm sét đánh cao áp

Các thử nghiệm này được sử dụng để xác định điểm sét đánh và phóng điện áp đánh thủng dẫn qua hoặc ngang qua các vật liệu không dẫn điện.

D.2.1 Thử nghiệm gắn với tiên đạo sét ban đầu

D.2.1.1 Mục đích thử nghiệm

Thử nghiệm này dành cho cánh tuabin gió, mà có thể áp dụng cho cả các vỏ tuabin được chế tạo từ sợi thủy tinh hay các vật liệu không dẫn điện khác. Thử nghiệm này được sử dụng để đánh giá:

TCVN 10687-24:2015

- Vị trí có thể có của các điểm tiên đạo sét đánh xuống và các đường dẫn phóng điện đánh thủng hay đường dẫn thủng trên các cánh và các kết cấu không dẫn điện khác;
- Tối ưu hóa vị trí của các thiết bị bảo vệ (các hệ thống đầu thu sét, các đầu thu sét);
- Các đường dẫn phóng điện đánh thủng hay đường dẫn thủng dọc hoặc qua bề mặt điện môi;
- Tính năng của thiết bị bảo vệ.

D.2.1.2 Mẫu thử

Mẫu thử phải là cánh hoặc phần cánh nguyên mẫu. Phần của cánh cần được thử nghiệm phụ thuộc vào các chi tiết kết cấu của cánh và vào thiết kế bảo vệ chống sét. Một số hướng dẫn để lựa chọn các mẫu thử cánh như hình dưới đây. Các nguyên tắc để tiếp xúc với tất cả các khía cạnh của cánh và thiết kế bảo vệ nó theo các điện trường trước mỗi tiên đạo sét đánh vào.

- Nếu cánh có cùng chiều dày vật liệu tổng hợp trên hầu hết chiều dài cánh, có thể thử nghiệm một phần bên ngoài của cánh.
- Nếu bảo vệ chống sét cho cánh chỉ sử dụng một hoặc hai đầu thu sét rời rạc được đặt ở vùng đầu, thì có thể thử nghiệm một phần cánh bên ngoài, nhưng nếu dây dẫn sét nằm bên trong cánh phần được thử nghiệm phải đủ dài để kiểm tra những vết thủng mà sẽ không xuất hiện phía trong so với đầu xuyên qua vỏ tới hệ thống dây dẫn sét.
- Nếu bảo vệ chống sét cho cánh sử dụng một hệ thống đầu thu sét có nhiều cặp đầu thu sét rời rạc (tức là các đầu thu trên các bề mặt đối diện nhau của cánh) đặt cách riêng x mét và mục đích để xác định khoảng cách tối đa x , do đó mẫu thử phải có ít nhất hai cặp đầu thu sét cộng tối thiểu một nửa khoảng cách tới các đầu thu sét kế tiếp bên trong. Chiều dài mẫu thử đã cho kết quả tương tự như đáp ứng trải nghiệm có phạm vi dài từ 6 m đến 20 m.
- Nếu bảo vệ chống sét cho cánh sử dụng thiết kế các đầu thu sét và dây dẫn sét khác, kích thước của mẫu phải có tất cả các chi tiết sẽ được thử nghiệm. Đối với các dây dẫn được lắp bên ngoài, các đầu của các mẫu thử phải được làm tròn bằng các xuyên dẫn điện để tránh tăng cường cho trường không chủ ý ở các đầu mút này.
- Nếu mục đích thử nghiệm để khảo sát và phát triển một lựa chọn thiết kế chi tiết chỉ liên quan đến một phần nhỏ cánh (tức là đầu cánh hoặc một phần giữa của cánh), thì có thể thử nghiệm các mẫu thử nhỏ, liên quan đến các tùy chọn thiết kế. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng điện trường tồn tại giữa một mẫu thử nhỏ và điện cực đối diện là khác nhau so với khi có mặt cả cánh. Với những khác biệt này, các xuyên cấp phối trường hoặc các điện cực đối diện tròn có thể cần để ngăn chặn phóng điện đánh thủng phi thực tế từ đầu phía trong của các mẫu thử như vậy, tùy thuộc vào hình học thực tế.
- Chiều dài mẫu thử cho kết quả tương tự như đáp ứng trải nghiệm, với mục đích tối ưu hóa thiết kế đầu cánh, chiều dài dao động từ 3 m đến 6 m.

Bất kỳ bề mặt hoàn thiện và được sơn phải có các kết quả thử nghiệm đảm bảo thực tế.

Các thành phần dẫn điện, như đèn báo và cảm biến và các dây dẫn sét (s), thường được đặt trên hoặc bên trong mẫu thử (một cánh, đầu cánh hoặc phần giữa của cánh) phải được đại diện trong mẫu thử.

Các mục này phải được đặt tại các vị trí tương tự trong mẫu thử như chúng sẽ nằm trong lắp đặt cánh hoặc vỏ tuabin. Nếu mẫu thử dẫn điện có thể được định hướng ở một số vị trí, các vị trí mà đại diện cho những trường hợp xấu nhất phải có trong các thử nghiệm. Thông thường đó là các vị trí mà dẫn đến các khoảng cách nhỏ nhất với vỏ không dẫn điện, hoặc cường độ điện trường mạnh nhất theo các hướng thông thường với bề mặt bên ngoài. Có thể sử dụng mẫu cánh mới hay mẫu mà trước đây đã có tuổi thọ cơ khí, miễn sao chúng không bị hư hại do quá trình lão hoá cơ học.

D.2.1.3 Bố trí thử nghiệm

Có ba kiểu bố trí thử nghiệm có thể được sử dụng cho bố trí thử nghiệm được chỉ định loại A, loại B và loại C. Các bố trí thử nghiệm A và B là thích hợp nhất cho các thử nghiệm trên cánh hoàn chỉnh được sử dụng để phát triển và thẩm định thiết kế. Bố trí thử nghiệm C thích hợp nhất cho các thử nghiệm phát triển để đánh giá cấu tạo mặt vỏ và các cấu hình dải dây bảo vệ chống sét.

Mỗi bố trí thử nghiệm được thiết kế để có kết quả khởi đầu của hoạt động điện, như quãng sáng, dải phát xạ và các tiên đạo, tại mẫu thử (và không ở điện cực bên ngoài) khi xảy ra tại cánh tuabin gió ngay trước khi một chùm sét đánh vào. Bắt đầu ion hoá không khí ở mẫu thử, dải phát xạ sẽ tiến về phía điện cực đối diện có dạng hình học lớn dùng để đại diện cho một mặt đẳng thế điện trường cách xa cực cánh một chút. Bằng cách này, ảnh hưởng của các điện cực thử nghiệm bên ngoài trên các kết quả thử nghiệm được giảm thiểu. Qui định chung về các sắp xếp thử nghiệm cho thấy các máy phát điện cao áp, mẫu thử và điện cực ngoài trong các bố trí thử nghiệm A, B và C được minh họa trong Hình D.1, Hình D.3, Hình D.4 và Hình D.5.

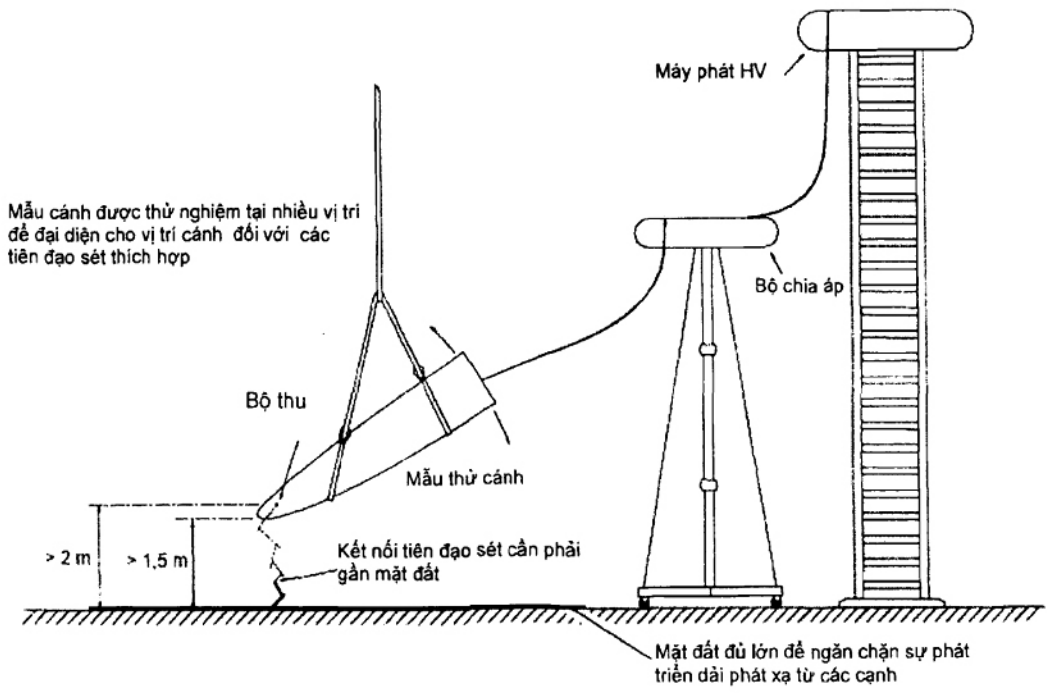
Bố trí thử nghiệm A là sắp xếp mong đợi nhất, vì nó thường cho phép một điện cực ngoài kích thước lớn hơn (tức là bề mặt dẫn điện trên sàn thí nghiệm) và một môi trường điện trường thực tế hơn xung quanh các mẫu cánh được cung cấp.

Bố trí thử nghiệm B được dùng để tạo ra một sắp xếp điện trường tương tự với mẫu thử như trong bố trí thử nghiệm A trong khi cho phép mẫu thử lớn hơn hoặc nặng hơn và kết cấu hỗ trợ được đặt trên sàn phòng thí nghiệm. Trong sắp xếp này, một điện cực đường kính lớn phải được treo trên mẫu thử. Đường kính lớn là điều thiết yếu để tránh sự tăng cường trường không thực tế do các cạnh của điện cực treo.

Bố trí thử nghiệm C thích hợp nhất cho các thử nghiệm phát triển để đánh giá hoặc so sánh độ bền điện môi của các vật liệu vỏ ứng được dùng và/hoặc thiết kế bảo vệ cục bộ. Tuy nhiên, các thử nghiệm cho các tấm không được áp dụng để thẩm định các thiết kế bảo vệ hoàn chỉnh, do các mẫu thử dạng tấm không đại diện cho tất cả các tính năng quan trọng của kết cấu không dẫn điện được xác minh.

D.2.1.3.1 Bố trí thử nghiệm loại A

Sắp xếp thử nghiệm chung cho bố trí thử nghiệm loại A được minh họa trên hình D.1.



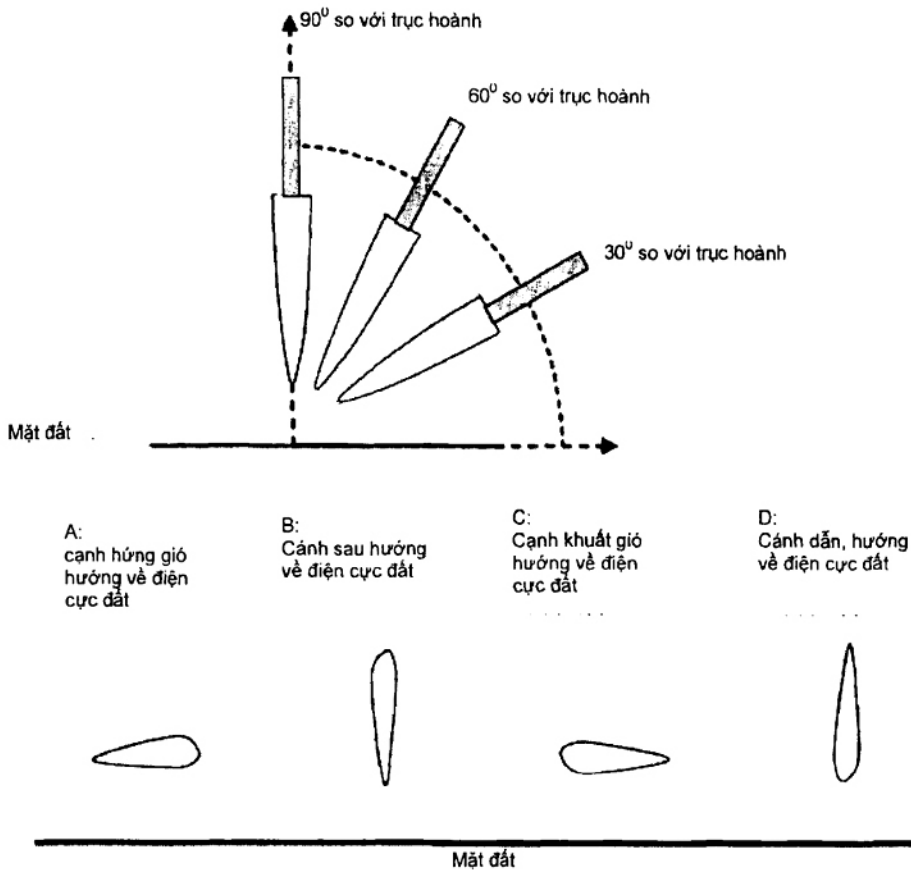
Hình D.1 – Bố trí thử nghiệm loại A cho tiên đạo sét đánh ban đầu (mẫu thử phải được thử nghiệm ở vài vị trí đại diện cho các hướng khác nhau của tiên đạo sét tương ứng)

Mẫu thử, có hệ thống bảo vệ chống sét kết nối với đầu ra của một máy phát điện Marx, được nâng lên trên điện cực bên ngoài, một mặt đất diện tích lớn. Mặt đất phải có kích thước đủ để tránh hiệu ứng cạnh, tức là để tránh phóng điện đánh thủng tận cùng trên cạnh mặt đất. Mẫu thử bình thường được thử nghiệm ở một số hướng, để đại diện cho hướng điện trường mà phần này của mẫu thử có thể gặp trên tuabin.

Một ví dụ về các hướng như vậy được đưa ra trong Hình D.2. Ở đây sử dụng ba góc độ khác nhau của cánh tương đối so với mặt đất (90°, 60° và 30° so với trục ngang), và bốn góc xoay cánh khác nhau. Bằng cách áp dụng ba lần phóng điện tại mỗi cực và ở mỗi hướng, cánh sẽ trải qua 54 tác động.

Các cánh dài thường được thử nghiệm với các mẫu thử ở các vị trí 5° và 10° theo chiều ngang, đại diện cho khả năng lớn các tiên đạo sét tiếp cận trong khoảng cách đánh ở một vị trí phía trong đầu cánh trong khi cánh ở vị trí nằm ngang.

Các giới hạn thực tế không gian đứng và các hiệu lực của cần trực có thể đòi hỏi rằng các thử nghiệm ở các vị trí 60° và 90° được áp dụng cho mẫu thử cánh ngắn hơn, có thể dài 2 m đến 4 m.



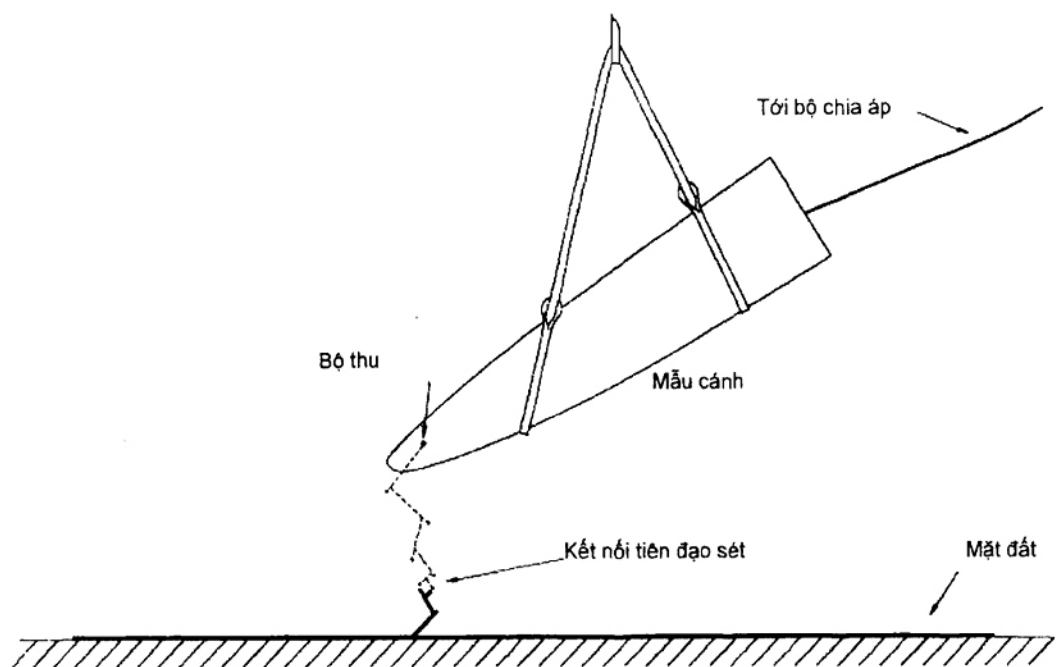
Hình D.2 – Vị trí các hướng đối với bố trí thử nghiệm A tiên đạo sét ban đầu đánh xuống

Áp dụng hai điều kiện cho một thử nghiệm hợp lệ khi sử dụng bố trí thử nghiệm loại A:

a) Kết nối dài phát xạ phải xuất hiện trong phần thấp hơn của khe hở không khí giữa cánh hoạt động mạnh và mặt đất, tức là hơn một nửa phóng điện bề mặt cách xa mẫu cánh. Điều này có thể được xác nhận bởi các hình ảnh phóng điện bề mặt. Điểm kết nối tiên đạo sét được thể hiện trong Hình D.3. Yêu cầu thường được đáp ứng bằng cách giữ các khoảng cách sau đây.

- 1) Mặt đất tối thiểu cách 2 m so với phần tử dẫn điện gần nhất (bên trong hay ngoài mẫu thử).
- 2) Mặt đất phải tối thiểu cách 1,5 m so với bề mặt mẫu thử gần nhất như điều kiện chiếm ưu thế.

b) Dài phát xạ từ mặt đất không phải xuất phát từ cạnh của mặt đất. Trong trường hợp như vậy, kích thước mặt đất phải tăng lên.



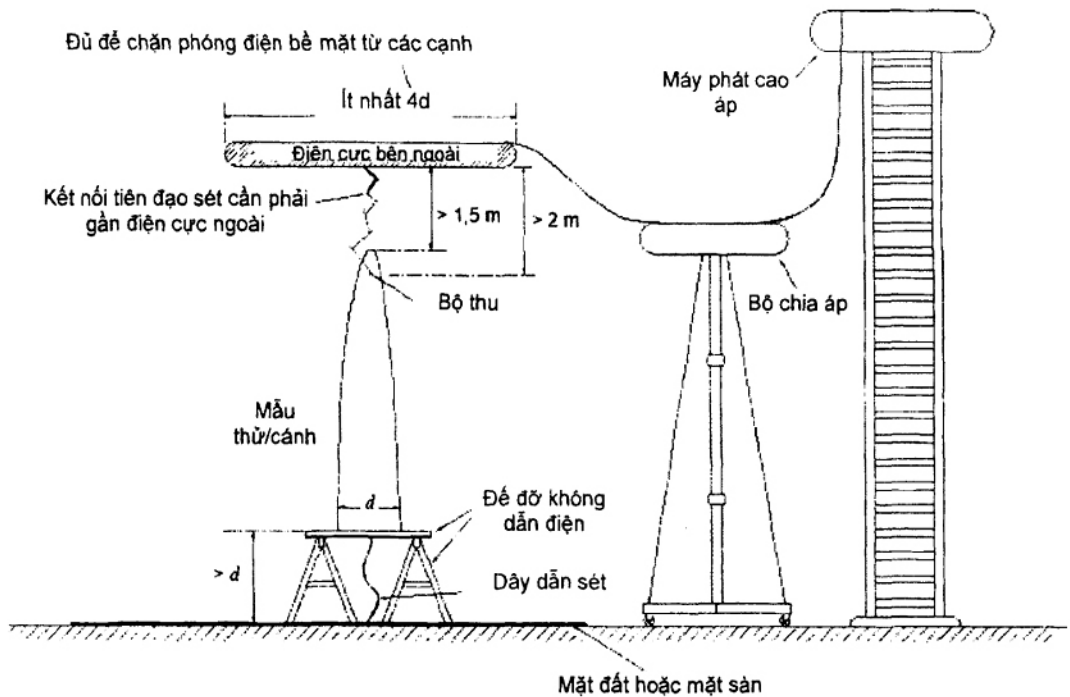
Hình D.3 – Điểm kết nối tiên đạo sét phải cách xa mẫu thử

Các kích thước cụ thể và các hướng mẫu thử phải được mô tả trong kế hoạch thử nghiệm.

D.2.1.3.2 Bố trí thử nghiệm loại B

Sắp xếp thử nghiệm chung cho bố trí thử nghiệm loại B được minh họa trong Hình D.4.

Mẫu thử phải được thử nghiệm ở một vài vị trí đại diện cho các hướng tiếp cận tiên đạo sét khác nhau.



Hình D.4 – Tiên đạo sét ban đầu gắn với bố trí thử nghiệm loại B

Bố trí thử nghiệm B phù hợp với các mẫu thử quá lớn để nâng trong cơ cấu thử nghiệm như các dầm dọc dụng cụ khí tượng, hub, mũ chụp đầu, v.v.... Sự sắp xếp này bất lợi mà mặt đất trên sàn cơ cấu thử nghiệm có thể làm biến dạng điện trường gần mẫu thử. Độ lỏng ổ trục tối thiểu cho kết cấu ngoại lai có trong TCVN 6099-1 (IEC 60060-1) quy định là 1,5 lần khoảng cách phóng điện bề mặt tối thiểu giữa hai điện cực đối diện. Để giảm thiểu sự biến dạng điện trường có mặt trong khe hở, do đó mặt đất và các kết cấu dẫn điện khác phải cách ít nhất 1,5 lần chiều dài khe hở, tức là 3 m khi chiều dài khe hở là 2 m trên Hình D.4.

Mẫu thử được nâng cao hơn mặt đất trên đế đỡ một khoảng cách lớn hơn 1,5 lần khoảng cách giữa đầu thu sét trên các mẫu thử và các điện cực bên ngoài để giảm thiểu ảnh hưởng của mặt đất lên kết quả thử nghiệm. Điện cực ngoài được treo lên trên mẫu thử và ở điện thế cao khi áp dụng thử nghiệm. Điện cực bên ngoài phải có kích thước đủ để tránh hiệu ứng cạnh, tức là tránh phóng điện bề mặt tận cùng trên cạnh của điện cực ngoài. Mẫu thử phải thường được thử nghiệm với hai hoặc nhiều hướng, để đại diện cho các hướng có thể có của điện trường mà phần cánh này hoặc các kết cấu khác có thể gặp trong quá trình làm việc.

Có ba điều kiện phải áp dụng cho một thử nghiệm hợp lệ khi bố trí thử nghiệm B được sử dụng:

a) Kết nối dài phát xạ phải xuất hiện trong phần cao hơn của khe hở không khí giữa điện cực ngoài hoạt động mạnh và mẫu thử, tức là hơn một nửa phóng điện bề mặt cách xa mẫu thử. Điều này có thể

TCVN 10687-24:2015

được xác nhận bởi các hình ảnh phóng điện bề mặt. Điểm kết nối tiên đạo sét được thể hiện trong Hình D.4. Thường đáp ứng các yêu cầu bằng cách giữ các khoảng cách sau đây.

- 1) Điện cực ngoài phải cách ít nhất 2 m với phần tử dẫn điện gần nhất (bên trong hoặc ngoài mẫu thử).
- 2) Điện cực ngoài phải có khoảng cách ít nhất 1,5 m từ vỏ mẫu thử, như điều kiện chiếm ưu thế.

b) Dải phát xạ từ điện cực ngoài phải không được xuất phát từ cạnh của điện cực này.

c) Đầu tận cùng của thiết bị bảo vệ hoặc các phần tử dẫn điện khác trong mẫu thử phải được nâng cao khỏi mặt đất với một khoảng cách lớn hơn 1,5 lần khoảng cách giữa đầu thu sét trên mẫu thử và điện cực ngoài. Kích thước cụ thể và hướng mẫu thử phải được mô tả trong kế hoạch thử nghiệm.

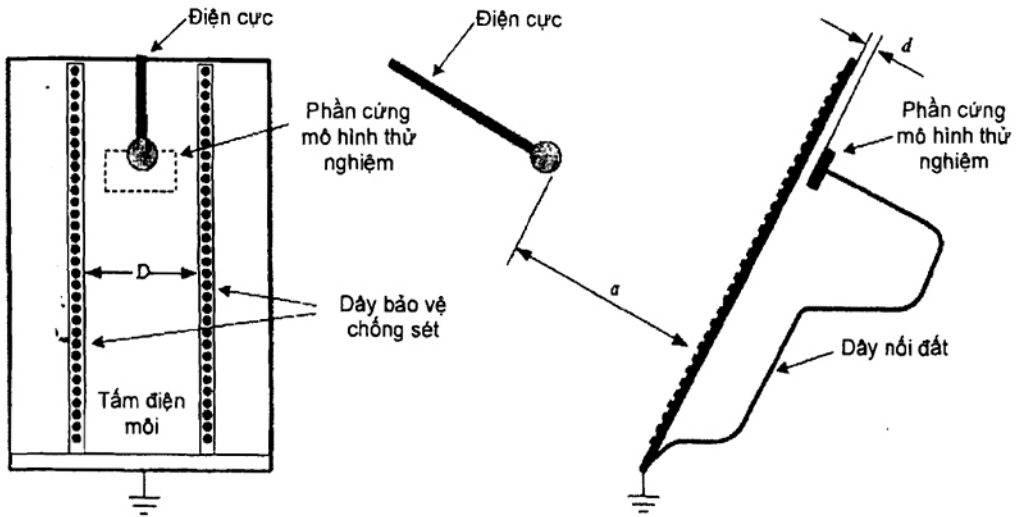
D.2.1.3.3 Bố trí thử nghiệm loại C

Sắp xếp thử nghiệm chung cho bố trí thử nghiệm loại C được minh họa trong Hình D.5.

Trong kiểu bố trí này, thiết bị bảo vệ được sử dụng và thiết bị đặt trên mẫu thử vỏ không dẫn điện có thể được đánh giá trước để thiết lập một thiết kế bảo vệ và lắp đặt các thiết bị như vậy trên một mẫu thử lớn hơn và hoàn chỉnh hơn.

Một tấm vỏ điện môi tiêu biểu có hình vuông từ 1 m² đến 2 m², có thể chấp nhận các kích thước và hình dáng khác, đủ để chứa một bố trí đầy đủ các thiết bị bảo vệ. Các vật liệu bề mặt cùng dây truyền sản xuất, sử dụng bề mặt hoàn thiện và đã được sơn. Thử nghiệm này thường được sử dụng để xác nhận khoảng không của dải dây bảo vệ chống sét được lắp trên một bề mặt cánh hoặc vỏ tuabin.

Một mô hình thử nghiệm của bất kỳ phần dẫn điện phía sau bề mặt bảo vệ phải được đặt ở một vị trí thích hợp sau vỏ một khoảng cách (d). Các thiết bị bảo vệ thường có điện thế đất thử nghiệm tiện ích và các điện cực có thể cao. Để áp dụng một điều kiện thử nghiệm thực tế, kinh nghiệm cho thấy các điện cực phải được định vị giữa các dải dây bảo vệ chống sét, như trong ví dụ của Hình D.5, để ngăn chặn sét đánh xung quanh các cạnh của mẫu thử hoặc một kết quả không thực tế. Các điện cực phải được nâng lên trên bề mặt tấm điện môi với một khoảng cách bằng với kích thước của tấm điện môi nếu nó hình vuông, hoặc kích thước nhỏ hơn của một tấm điện môi hình chữ nhật. Các dải dây bảo vệ chống sét có thể được thay đổi vị trí tại khoảng cách lớn hơn hoặc nhỏ hơn để tối ưu hóa thiết kế và chống thủng.



Khoảng cách xác định D như một hàm của lân cận d theo một dây dẫn bên trong
 Khoảng cách a ngắn hơn kích thước của chiều rộng và chiều cao tám điện môi

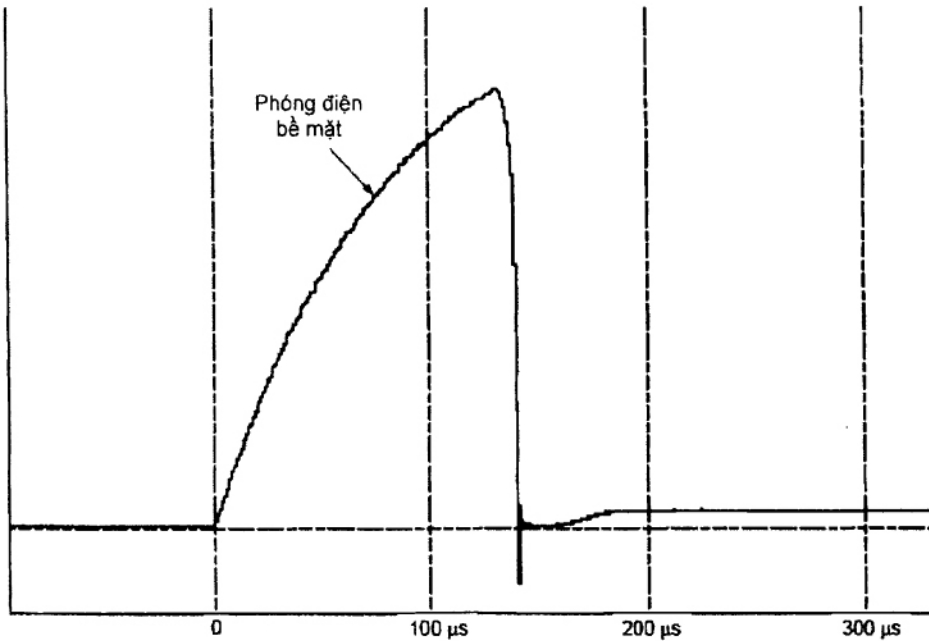
**Hình D.5 – Bố trí thiết bị bảo vệ cục bộ (như dây bảo vệ chống sét) –
 Đánh giá bố trí thử nghiệm C**

Bố trí trên Hình D.5 không tương đương với bố trí thử nghiệm kiểm chứng của các bố trí thử nghiệm loại A và B, nhưng kinh nghiệm cho thấy khoảng cách dây bảo vệ chống sét được xác định từ các thử nghiệm phát triển như được minh họa trong Hình D.5 đã được chứng minh thành công trong các thử nghiệm thẩm định theo sau của các bố trí bảo vệ cục bộ như mở rộng dây bảo vệ chống sét của các hệ thống đầu thu sét trên vỏ cánh, áp dụng khoảng cách dây bảo vệ chống sét tương tự. Một thử nghiệm thẩm định phải được thực hiện sử dụng bố trí thử nghiệm loại A và B.

D.2.1.4 Dạng sóng điện áp thử nghiệm

Dạng sóng điện áp được sử dụng phải là điện áp xung kiểu chuyển đổi theo hàm số mũ bậc hai có thời gian đạt đỉnh là $250 \mu\text{s} \pm 20\%$ và thời gian suy giảm là một nửa giá trị của $2500 \mu\text{s} \pm 60\%$. Dạng sóng điện áp này được chọn vì nó đại diện cho hầu hết điện trường trong vùng lân cận kết cấu trong khi có một tiên đạo sét đánh ban đầu. Để thử nghiệm tiên đạo sét đánh ban đầu, sẽ sử dụng điện áp như phát sinh để phóng điện bề mặt xuất hiện trước khi tới đỉnh của dạng sóng. Thời gian giữa điểm bắt đầu dạng sóng điện áp và điểm đánh thủng bề mặt trên kết cấu phải ít nhất là $50 \mu\text{s}$.

Các dạng sóng như vậy có thể thu được bằng cách sử dụng điện áp xung kiểu chuyển mạch trong TCVN 6099-1 (IEC 60060-1). Vì điện áp được sử dụng như một phát sinh để phóng điện bề mặt, thời gian suy giảm không được quan tâm riêng. Một dạng sóng điện áp thử nghiệm điển hình được biểu diễn trên Hình D.6.



**Hình D.6 – Điện áp xung chuyển mạch điển hình phát sinh để phóng điện bề mặt
(100 μ s trên dây bảo vệ chống sét)**

Phải áp dụng ít nhất ba lần phóng điện với mỗi cực và theo mỗi hướng của mẫu thử đối với các điện cực [30] và [34]. Thử nghiệm theo nhiều hướng khác nhau của mẫu thử đối với điện cực đối diện đảm bảo khả năng hỏng đáng kể trong trường hợp thiết kế cánh không đúng.

Trong trường hợp xảy ra thủng vỏ cánh trong các thử nghiệm, những thiệt hại có thể được làm sạch và sửa chữa bằng cách sử dụng nhựa polymer thích hợp. Tuy nhiên, kinh nghiệm cho thấy mẫu thử phải chịu một số lượng lớn các tác động sẽ suy giảm về điện theo thời gian; tình huống này không chỉ ảnh hưởng đến các vết thủng được sửa chữa mà còn ảnh hưởng đến tấm nhiều lớp. Do đó các nhà chế tạo phải lưu ý rằng số lần phóng điện cho mỗi mẫu thử không được vượt quá khoảng 100 lần phóng để tránh thiệt hại do lão hóa điện. Các quy trình thử nghiệm trong D.2.1.6 được xác định để giảm thiểu tác động của lão hóa điện suốt các thử nghiệm.

Vấn đề lão hóa điện của tấm mỏng nhiều lớp của cánh do ảnh hưởng của sét chưa được hiểu đầy đủ tại thời điểm công bố. Các phần đang quan tâm những vấn đề này hy vọng sẽ được cải thiện trong các phiên bản trong tương lai.

Dòng phóng điện của máy phát HV thường nhỏ hơn 2 000 A, trong đó bao gồm hầu hết các dòng tiên đạo sét. Do đó, các hiệu ứng vật lý của dòng sẽ không đại diện cho những dòng đánh nghiêm trọng hơn, hoặc các dòng liên tục, mà có thể dẫn theo cùng đường dẫn như tiên đạo sét.

D.2.1.5 Đo và ghi số liệu

Tiến hành các phép đo và bản ghi số liệu sau đây:

- Hình ảnh và mô tả cho mỗi bố trí thử nghiệm.
- Đồ thị dạng sóng của các dạng sóng điện áp thử nghiệm.
- Hồ sơ hình ảnh của tất cả các thử nghiệm. Các hồ sơ này phải có khái quát hoàn chỉnh về các khu vực thử nghiệm của mẫu thử. Một máy quay cho phép phân tích sơ bộ tức thời thử nghiệm sẽ được thực hiện sao cho bất kỳ các vết thủng nào cũng được nhận biết ngay lập tức. Một máy quay phụ chiếu vào phần bên trong của mẫu cánh có thể hữu ích để theo dõi động thái của tiên đạo sét/dải phát xạ trong các thử nghiệm.
- Hình ảnh cho mỗi vị trí điện cực.
- Các hình ảnh vị trí bị thủng và các hiệu ứng quan trọng khác.
- Hồ sơ dữ liệu môi trường phòng thí nghiệm (như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm), ngày tháng năm thử nghiệm, những người thực hiện và chứng kiến việc thử nghiệm và vị trí thử nghiệm.
- Hồ sơ về bất kỳ sai lệch so với quy trình thử nghiệm.
- Hồ sơ các kết quả của mỗi thử nghiệm cho thấy phân cực điện cực, biên độ và dạng sóng điện áp.

D.2.1.6 Quy trình thử nghiệm

Áp dụng quy trình thử nghiệm sau cho tất cả các bố trí thử nghiệm (A, B, và C).

a) Đo các điều kiện môi trường phòng thí nghiệm.

b) Xem xét và thực hiện các quy trình an toàn. Một số khu vực quan tâm như sau. Các khu vực thử nghiệm phải an toàn và sạch sẽ trước khi cắm điện thiết bị thử nghiệm. Các bộ tụ điện phải được ngắn mạch sau các thử nghiệm và trước khi tái đưa vào cá thể bê trong khu vực thử nghiệm. Phải bảo vệ cho mắt và tai phù hợp.

c) Hiệu chỉnh máy phát điện HV và thiết bị đo đạc như sau:

- 1) Kiểm tra cẩn thận mẫu thử cho bất cứ thiếu sót sau này có thể bị nhầm lẫn với ảnh hưởng của các thử nghiệm, và xác định những thiếu sót mà không bị nhầm với kết quả thử nghiệm tiếp theo.
- 2) Bao gồm các bề mặt hướng về điện cực đối diện (tức là mặt đất phẳng) có một lá dẫn điện và nối lá này tới dây dẫn sét của cánh.
- 3) Chọn cực ban đầu và bắt đầu một thử nghiệm cho lá trong khi đo điện áp sử dụng. Đề xuất cho cực mẫu thử ban đầu là dương (+), bất kể sử dụng bố trí thử nghiệm loại A hay loại B. Kinh nghiệm cho thấy kết quả trong điều kiện này có xác suất thủng vật liệu không dẫn điện thấp hơn do các dải phát xạ bắt nguồn từ diễn tiến xa hơn của thiết bị bảo vệ mẫu thử bên trong khe hở không khí trước khi được tham gia bằng cách chống lại các lại phát xạ từ điện cực âm.

TCVN 10687-24:2015

4) Nếu các dạng sóng là không đúng hoặc phóng điện bề mặt không xảy ra khi tăng sườn trước của sóng trước khi đến đỉnh của dạng sóng điện áp, điều chỉnh các tham số máy phát điện hoặc khe hở không khí giữa mẫu thử và điện cực đối diện khi cần thiết để có được các dạng sóng và phóng điện bề mặt quy định.

5) Lặp lại các bước từ 3) đến 4) nếu cần thiết để thu được các điều kiện yêu cầu.

6) Tháo rời lá khỏi mẫu thử.

d) Vệ sinh mẫu thử với kỹ thuật thích hợp để loại bỏ độ ẩm, bụi, mảnh vỡ, và chất gây ô nhiễm khác có thể ảnh hưởng đến kết quả thử nghiệm.

e) Áp dụng một lần phóng điện tới mẫu thử, trong khi đo điện áp áp dụng và lấy những bức ảnh chụp các đường phóng điện bề mặt. Đảm bảo phóng điện bề mặt vẫn còn xảy ra tại sườn trước tăng của sóng trước khi tới đỉnh của dạng sóng điện áp.

f) Kiểm tra mẫu thử và ghi kết quả vào tài liệu.

g) Nếu xảy ra thủng, thực hiện một đánh giá để xác định mẫu thử bị thất bại khi thử nghiệm. Nếu nó được coi là đã thất bại, thì trình tự thử nghiệm có thể cần phải được chấm dứt, hoặc sửa chữa thiệt hại thử nghiệm hoặc sửa đổi hệ thống bảo vệ chống sét cánh thực hiện trước khi tiếp tục các thử nghiệm.

h) Lặp lại các bước e) đến h) cho đến khi áp dụng ba lần phóng điện cực dương theo các điều kiện tương tự.

i) Chuyển cực của máy phát điện HV để đảm bảo cực của mẫu thử là âm đối với mặt đất (bố trí thử nghiệm A) hoặc điện cực bên ngoài (bố trí thử nghiệm B).

j) Hiệu chỉnh máy phát điện HV và thiết bị đo đặc như sau:

1) Xếp lên mẫu thử một lá dẫn điện.

2) Bắt đầu một thử nghiệm cho lá trong khi đo điện áp áp dụng.

3) Nếu dạng sóng không đúng hoặc không xảy ra phóng điện bề mặt khi phát sinh sườn trước của sóng trước khi tới đỉnh sóng điện áp, cần điều chỉnh các tham số máy phát điện hoặc khe hở không khí giữa mẫu thử và điện cực ngoài để có các dạng sóng và phóng điện bề mặt quy định.

4) Lặp lại bước 2) đến 3) khi cần thiết để có được những điều kiện cần thiết.

5) Tháo bỏ các lá từ mẫu thử.

k) Lặp lại các bước e) đến i) đến khi áp dụng ba phóng điện cực tính âm trong các điều kiện tương tự.

l) Định vị lại mẫu thử (bố trí thử nghiệm A) hoặc điện cực bên ngoài (bố trí thử nghiệm B) như yêu cầu của quy trình thử nghiệm.

m) Lặp lại các bước c) đến m) theo yêu cầu của quy trình thử nghiệm.

Các thử nghiệm tiên đạo sét ban đầu có thể được thực hiện trên các mẫu cánh bị ô nhiễm và ướt.

Vì xảy ra phóng điện bề mặt dễ dàng hơn trên các bề mặt ẩm ướt hoặc bị ô nhiễm, do đó ít có khả năng tạo thủng, nó có thể không quan trọng để áp dụng cho các bề mặt bị ô nhiễm bên ngoài. Tuy nhiên, các bề mặt bên trong bị ướt hoặc bị ô nhiễm có thể dẫn các dải phát xạ nhanh hơn tới các liên kết cạnh cánh, ở đó các vết thủng được biết là đã xảy ra. Vì vậy, các thử nghiệm cho mẫu thử cánh có các bề mặt bên trong ướt và/hoặc bị ô nhiễm có thể thích hợp nếu điều kiện như vậy được cho là tồn tại trong một cánh trong quá trình làm việc do môi trường.

CHÚ THÍCH: Do tuabin gió thường được thiết kế để hoạt động trong 20 năm với việc bảo trì tối thiểu, điều quan trọng là số lần phóng điện có thể so sánh với các mối đe dọa dự kiến cho các vị trí tuabin gió thực tế. Do đó tối thiểu 3 lần phóng điện cho mỗi cực và hướng được áp dụng cho các mục đích kiểm định và chứng minh, trong khi số thử nghiệm lớn hơn có thể được thực hiện trong quá trình phát triển thiết kế mới.

D.2.1.7 Giải thích dữ liệu

Mẫu thử phải trải qua một đánh giá thử nghiệm đạt chuẩn kỹ lưỡng để xác định sự phù hợp của thiết kế đối với chuẩn đạt/không đạt.

D.2.2 Thử nghiệm gắn với kênh quét

D.2.2.1 Mục đích thử nghiệm

Thử nghiệm này có thể áp dụng bình thường cho các bề mặt cánh tuabin gió mà tiếp xúc trực tiếp khi tiên đạo sét ban đầu đánh xuống khi cánh đang quay, do đó một tiên đạo sét có thể "quét" dọc theo bề mặt một khoảng cách ngắn trước khi tới cú sét đầu tiên. Thử nghiệm này có thể được sử dụng để đánh giá:

- Vị trí thủng có thể có trên các bề mặt không dẫn điện (là điện môi);
- Đường dẫn phóng điện bề mặt trên các bề mặt không dẫn điện; hoặc
- Tính năng các thiết bị bảo vệ, như các dải dây bảo vệ chống sét.

D.2.2.2 Mẫu thử

Mẫu thử phải là một phần của cả một cánh, như đầu cánh hay bề mặt khác mà có một bộ nhận sét hay thiết bị bảo vệ khác. Bất kỳ bề mặt hoàn thiện nào, bao gồm các chất độn bề mặt hoặc sơn được cung cấp để đảm bảo các đặc trưng phóng điện bề mặt thực tế. Nếu thiết bị bảo vệ cánh gồm một dây dẫn sét mà có bên trong cánh, mẫu thử cũng phải gắn với một dây dẫn như vậy.

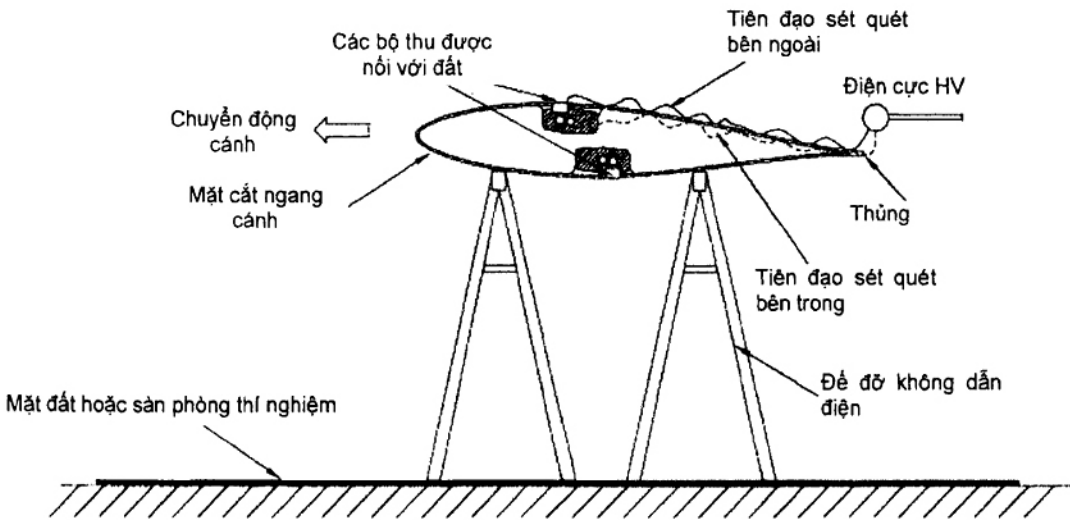
D.2.2.3 Bố trí thử nghiệm

Bố trí thử nghiệm như sau.

- Qui định chung về một bố trí thử nghiệm điển hình cho thấy quan sát mặt cắt ngang của mẫu thử và vị trí điện cực thử nghiệm điển hình được minh họa trong Hình D.7. Các thử nghiệm thường được áp dụng từ một vài vị trí điện cực, đại diện cho các hướng có thể có của quét tiên đạo sét.

TCVN 10687-24:2015

- Để đỡ mẫu thử trên mặt đất phẳng ở khoảng cách ít nhất 1,5 lần khoảng cách phóng điện bề mặt tối thiểu như được mô tả trong TCVN 6099-1 (IEC 60060-1).
- Các đầu thu và bất kỳ dây dẫn bảo vệ chống sét liên quan phải ở điện thế đất.
- Nối đầu ra của máy phát HV vào điện cực cao áp. Điện cực phải hình cầu có bán kính từ 25 mm và 50 mm. Bề mặt của điện cực HV được đặt cách 50 mm từ bề mặt trên mẫu thử được tác động để đại diện cho điện áp được áp dụng bởi một luồng sét quét trên bề mặt mẫu thử.
- Thiết lập thiết bị đo và ghi điện áp thử nghiệm được áp dụng.

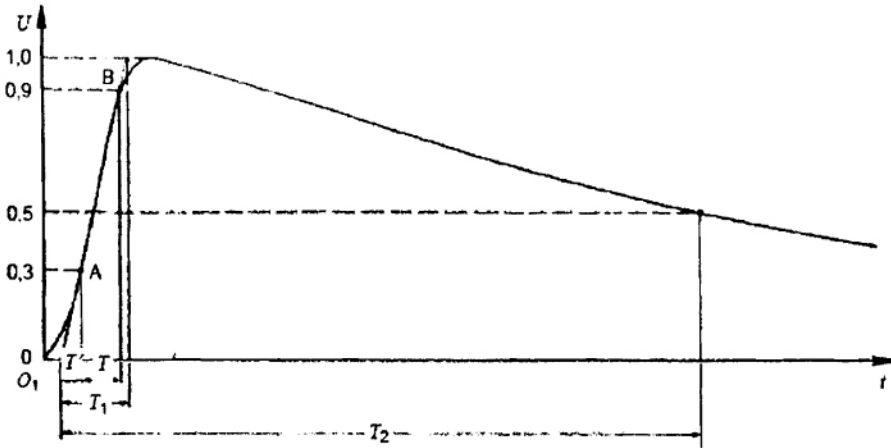


Hình D.7 – Bố trí thử nghiệm kênh quét

D.2.2.4 Dạng sóng điện áp thử nghiệm

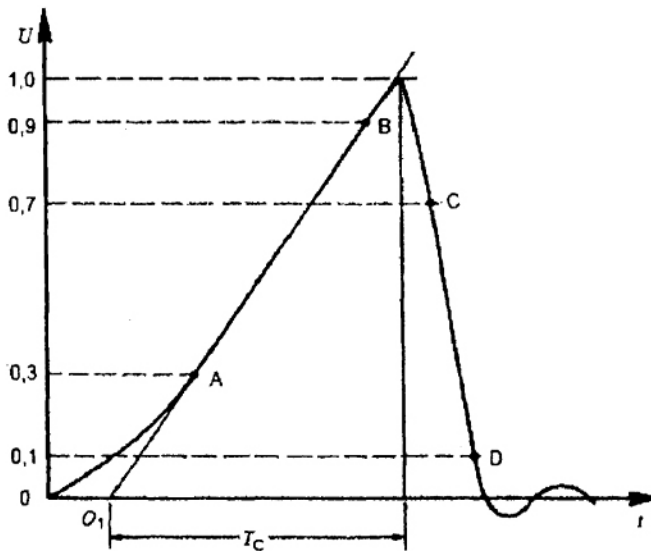
Điện trường liên kết với một tiên đạo sét quét đánh vào là do xung điện tích dẫn trong luồng tiên đạo sét. Điều này làm nhanh chóng gia tăng điện trường đại diện thích hợp hơn bằng dạng sóng điện áp "xung sét" định nghĩa trong TCVN 6099-1 (IEC 60060-1). Sóng điện áp xung sét đầy đủ có thời gian tới đỉnh T1 là 1,2 μ s và thời gian suy giảm theo một nửa giá trị T2 là 50 μ s theo quy định tại TCVN 6099-1 (IEC 60060-1) và biểu diễn trong Hình D.8.

Dạng sóng này được áp dụng với điện áp đỉnh hiệu dụng cao hơn cần thiết để ion hoá khe hở không khí giữa điện cực thử nghiệm và bề mặt mẫu thử sao cho phóng điện bề mặt xảy ra ở sườn trước như chỉ trên Hình D.9.



$$T_1 = 1,67 T \quad T' = 0,3 T_1 = 0,5 T$$

Hình D.8 – Dạng sóng điện áp xung sét (Hình 6 trong TCVN 6099-1 (IEC 60060-1))



Hình D.9 – Dạng sóng điện áp xung sét biểu diễn đánh thủng bề mặt ở sườn trước (Hình 7 trong TCVN 6099-1 (IEC 60060-1))

D.2.2.5 Đo và ghi số liệu

Tiến hành các phép đo và các bản ghi số liệu sau:

- Các hình ảnh và mô tả mỗi bố trí thử nghiệm và vị trí điện cực
- Hồ sơ hình ảnh tất cả các thử nghiệm. Các máy quay phải cung cấp quét 360° mẫu thử. Mỗi máy quay cho phép phân tích sơ bộ tức thời hình ảnh thử nghiệm thực hiện sao cho bất kỳ các vết thủng nào cũng được nhận biết tức thời. Một máy quay phụ chiếu vào phần bên trong của mẫu cánh có thể hữu ích để theo dõi động thái của tiên đạo sét/dài phát xạ trong các thử nghiệm.

TCVN 10687-24:2015

- Hình ảnh vị trí bị thử nghiệm hay các hiệu ứng quan trọng khác.
- Hồ sơ dữ liệu môi trường phòng thí nghiệm (như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm), ngày tháng năm thử nghiệm, những người thực hiện và chứng kiến việc thử nghiệm và vị trí thử nghiệm.
- Hồ sơ về bất kỳ sai lệch so với quy trình thử nghiệm.
- Hồ sơ các kết quả của mỗi thử nghiệm cho thấy phân cực điện cực, biên độ và dạng sóng điện áp.

D.2.2.6 Quy trình thử nghiệm

Quy trình thử nghiệm như sau:

a) Đo điều kiện môi trường phòng thí nghiệm.

b) Xem xét và thực hiện các quy trình an toàn. Một số khu vực quan tâm như sau: Các khu vực thử nghiệm phải an toàn và sạch sẽ trước khi cắm điện thiết bị thử nghiệm. Các bộ tụ điện phải được ngắt mạch sau các thử nghiệm và trước khi tái đưa vào cá thể bên trong khu vực thử nghiệm. Có thể yêu cầu bảo vệ mắt và tai.

c) Kiểm tra cẩn thận mẫu thử để bất cứ thiếu sót mà sau này có thể bị nhầm lẫn với ảnh hưởng của các thử nghiệm, và xác định những thiếu sót mà không bị nhầm với kết quả thử nghiệm tiếp theo.

d) Hiệu chỉnh máy phát điện và dụng cụ đo đặc như sau.

1) Treo mẫu thử với một lá dẫn điện.

2) Các thử nghiệm phải được tiến hành với các điện cực ở cả hai cực âm và dương. Chọn cực ban đầu và bắt đầu một thử nghiệm phóng điện cho lá trong khi đo điện áp sử dụng. Đề xuất cực của điện cực ban đầu là âm (-). Điều này đặt mẫu thử ở vị trí cực dương. Kinh nghiệm cho thấy kết quả trong điều kiện này có xác suất thủng các vật liệu không dẫn điện thấp hơn do các dải phát xạ bắt nguồn từ diễn tiến xa hơn của thiết bị bảo vệ mẫu thử bên trong khe hở không khí trước khi được tham gia bằng cách chống lại các phát xạ từ điện cực âm.

3) Nếu dạng sóng được yêu cầu là không đúng, điều chỉnh các tham số máy phát hoặc khoảng cách điện cực cần thiết để thu được dạng sóng quy định.

4) Tháo bỏ các lá.

e) Vệ sinh mẫu thử với kỹ thuật thích hợp để loại bỏ độ ẩm, bụi, mảnh vỡ, và chất gây ô nhiễm khác có thể ảnh hưởng đến kết quả thử nghiệm.

f) Áp dụng một lần phóng điện tới mẫu thử, trong khi đo điện áp áp dụng và lấy những bức ảnh chụp các đường phóng điện bề mặt.

g) Kiểm tra mẫu thử và ghi kết quả vào tài liệu. Đánh dấu và chụp tất cả các vết thủng hoặc các hiệu ứng khác trên mẫu thử.

h) Nếu xảy ra thủng, thực hiện một đánh giá để xác định mẫu thử bị thất bại khi thử nghiệm. Nếu nó được coi là đã thất bại, thì trình tự thử nghiệm có thể cần phải được chấm dứt.

i) Lặp lại các bước e) đến h) cho mỗi thử nghiệm, các cực tính điện cực và các vị trí điện cực được gọi lại trong các quy trình thử nghiệm.

CHÚ THÍCH: Do một tuabin gió thường được thiết kế để hoạt động trong 20 năm với chỉ một lần bảo trì tối thiểu, quan trọng là số lần phóng điện có thể so sánh với các mối đe dọa dự kiến cho các vị trí tuabin gió thực tế. Do đó tối thiểu 3 lần phóng điện cho mỗi cực và hướng được áp dụng cho các mục đích chứng minh và trình diễn, trong khi số thử nghiệm lớn hơn có thể được thực hiện trong quá trình phát triển thiết kế mới.

D.2.2.7 Giải thích dữ liệu

Mẫu thử phải trải qua một đánh giá thử nghiệm đạt chuẩn kỹ lưỡng để xác định sự phù hợp của thiết kế đối với chuẩn đạt/không đạt.

D.3 Thử nghiệm thiệt hại vật chất dòng cao

D.3.1 Qui định chung

Các thử nghiệm này được sử dụng để xác định các hiệu ứng của một lần sét đánh vào bề mặt cánh hoặc vỏ tuabin và dòng điện đi từ điểm sét đánh như vậy. Các hiệu ứng này có thể được đánh giá ở các điểm sét đánh và dọc theo đường dẫn dòng điện sét.

D.3.2 Thử nghiệm hồ quang điện đầu vào

D.3.2.1 Mục đích thử nghiệm

Thử nghiệm này có thể áp dụng cho các kết cấu như cánh và vỏ tuabin gió chịu tác động sét đánh trực tiếp hoặc dòng dẫn sét.

Thử nghiệm được sử dụng để xác định các hiệu ứng trực tiếp (thiệt hại vật chất) mà có thể dẫn đến tại các vị trí có thể có luồng sét đánh vào cánh hoặc ở nơi mật độ năng lượng và dòng điện cao có thể dẫn ra từ một điểm lỗi vào khi sét đánh. Ví dụ như hệ thống đầu thu sét cánh và dây dẫn điện kết hợp, lá kim loại, dải dây bảo vệ chống sét và các mối nối, các dây dẫn trên đường dẫn dòng điện sét.

Sử dụng thử nghiệm để đánh giá:

- Thiệt hại kèm theo của hồ quang;
- Hình thức phát nóng;
- Ăn mòn kim loại tạo các hệ thống đầu thu sét;
- Sự đầy đủ của các vật liệu và thiết bị bảo vệ;
- Các tác động lực từ;
- Các hiệu ứng luồng gió và sóng xung kích;
- Biểu hiện của các mối ghép và các bộ phận lắp ráp phần cứng;

TCVN 10687-24:2015

- Điện áp và dòng điện tại các điểm quan tâm trong cả hệ thống bảo vệ chống sét.

D.3.2.2 Mẫu thử

Các thử nghiệm này có thể được thực hiện trên các bộ phận được sản xuất tỷ lệ hoặc đại diện như nguyên mẫu. Các thử nghiệm này cũng có thể được thực hiện trên các tấm vật liệu, mẫu thí nghiệm hoặc các phần phụ của cánh, hay các bộ phận tuabin gió khác. Các tấm vật liệu, mẫu thí nghiệm hoặc các phần phụ phải được chế tạo với quy trình sản xuất phù hợp, sơn và hoàn thiện khác, mối ghép và vật liệu. Đối với các thiết bị bảo vệ đòi hỏi phải có một điện áp cụ thể để ion hoá, như các dải dây bảo vệ chống sét phân đoạn, chiều dài của mẫu thử ion hóa phải đủ ngắn để ion hoá trong quá trình thử nghiệm dòng điện cao, do phát dòng điện cao thường không áp dụng lớn hơn 100 kV.

D.3.2.3 Bố trí thử nghiệm

Bố trí thử nghiệm như sau:

- Gắn mẫu thử vào một bộ phận gá mà có thể đỡ mẫu thử một cách an toàn.
- Nối đất tất cả các phần cứng để kết cấu mẫu thử được nối đất bình thường
- Nối máy phát điện hồi tiếp về bộ phận lắp ráp để các dòng điện sét được dẫn ra khỏi mẫu thử theo cách tái diễn khi cánh hay vỏ tuabin bị sét đánh. Đảm bảo rằng các lực từ và tương tác khác liên quan đến dòng điện dẫn trong khi kiểm soát thiết lập sao cho chúng thể hiện tình trạng tự nhiên và không quá mức ảnh hưởng đến kết quả thử nghiệm.
- Hướng một điện cực thử nghiệm 50 mm trên khu vực mẫu thử được đánh giá. Đối với hầu hết các thử nghiệm hồ quang đầu vào, điện cực phải là kiểu "chống luồng sét" như chỉ trên Hình D.10. Kiểu điện cực này được biểu diễn để thể hiện tốt nhất các hiệu ứng sóng xung sóc của sét đánh tự nhiên, và tối giản độ lớn của vật liệu điện cực được phủ lên trên bề mặt mẫu thử [31].
- Đặt cực tính máy phát là âm để phát sinh thiệt hại tối đa do các gốc hồ quang được tập trung hơn vào anốt.
- Nếu muốn, có thể sử dụng một dây kim loại tốt, đường kính không quá 0,1 mm, để hướng hồ quang tới điểm quan tâm cụ thể trên mẫu thử. Phương pháp này hữu ích cho các máy phát điện sử dụng điện áp thấp. Kết quả thử nghiệm sẽ không bị ảnh hưởng bởi các dây nối mà bay hơi ngay sau khi dòng bắt đầu dẫn qua.
- Đặt thiết bị cảm biến và ghi lại.

D.3.2.4 Các dạng sóng dòng điện thử nghiệm

Áp dụng các dòng thử nghiệm lấy từ Điều 8 của IEC 62305-1. Các giá trị này bao gồm cả cú sét ngắn đầu tiên và cú sét dài. Thường được áp dụng cho một lần phóng. Các tham số quan trọng của dòng điện thử nghiệm này được biểu diễn trong Bảng A.1.

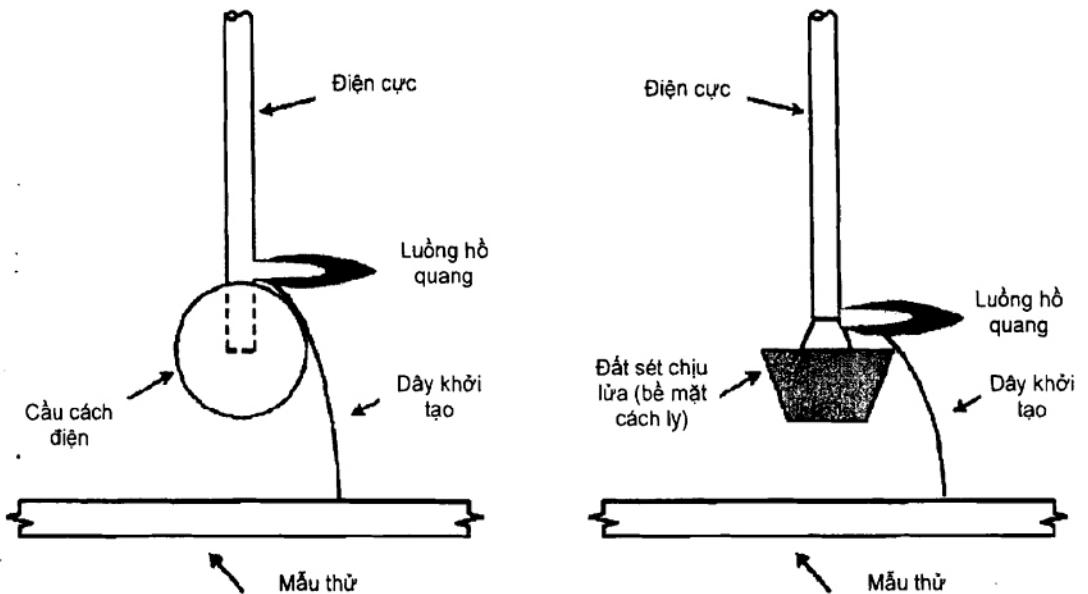
Các tham số I , W/R và Q_{flash} và dung sai của nó sẽ được thu nhận trong cùng một xung. Điều này có thể đạt được bằng một dòng điện suy giảm xấp xỉ theo hàm mũ với T_2 trong khoảng $350 \mu s$ được kéo theo bằng một dòng điện liên tục cung cấp điện tích còn lại. Áp dụng các dòng điện thử nghiệm cụ thể được xác định theo cấp bảo vệ (LPL) đã được chỉ định cho bộ phận cánh hoặc kết cấu tuabin gió khác sẽ được thử nghiệm.

D.3.2.5 Đo và ghi các số liệu

Thực hiện các phép đo và ghi số liệu sau.

- Các hình ảnh và mô tả bố trí thử nghiệm
- Hồ sơ hình ảnh của mẫu thử trước, trong và sau mỗi thử nghiệm. Máy quay phim hồng ngoại để xác định các điện tích đốt nóng cục bộ trong khi thử nghiệm có thể có ích.
- Các hình ảnh và mô tả thiệt hại cho mẫu thử.
- Hồ sơ dữ liệu môi trường phòng thí nghiệm (như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm), ngày tháng năm thử nghiệm, những người thực hiện và chứng kiến việc thử nghiệm và vị trí thử nghiệm.
- Hồ sơ về bất kỳ sai lệch so với quy trình thử nghiệm.
- Hồ sơ các kết quả của mỗi thử nghiệm cho thấy phân cực điện cực, biên độ dòng điện, các dạng sóng, các năng lượng riêng và các điện tích dịch chuyển tạo các điểm thử nghiệm có thể áp dụng

CHÚ THÍCH: Các phép đo hiệu ứng không trực tiếp được yêu cầu vài lần cho các hệ thống điện như các đèn chiếu, các đầu nhiệt và các cảm biến kiểm soát mà được lắp đặt trong bộ phận được thử nghiệm (xem điều 8). Nếu cần thiết, một số phép đo này có thể được tiến hành trong các thử nghiệm hiệu ứng trực tiếp, miễn là các tham số sóng chính như tốc độ gia tăng đỉnh, là chính xác hoặc được tính theo cách khác.



Hình D.10 – Các điện cực thử nghiệm dây bảo vệ chống sét luồng điện hình

TCVN 10687-24:2015

D.3.2.6 Quy trình thử nghiệm

Quy trình thử nghiệm như sau:

- a) Đo điều kiện môi trường phòng thí nghiệm.
- b) Xem xét và thực hiện các quy trình an toàn. Một số khu vực quan tâm như sau: Các khu vực thử nghiệm phải an toàn và sạch sẽ trước khi cắm điện thiết bị thử nghiệm. Các bộ tụ điện phải được ngắt mạch sau các thử nghiệm và trước khi tái đưa vào cá thể bên trong khu vực thử nghiệm. Bảo vệ mắt và tai có thể được yêu cầu.
- c) Hiệu chỉnh máy phát điện và dụng cụ đo đạc như sau.
 - 1) Chèn một thanh dẫn điện hoặc tấm vật liệu vào chỗ đặt mẫu thử có các thuộc tính vật liệu tương tự như mẫu thử
 - 2) Nối thanh hoặc tấm vật liệu vào máy phát thử nghiệm dòng phản hồi.
 - 3) Khởi tạo một thử nghiệm cho thanh trong khi đo dạng sóng dòng điện sử dụng.
 - 4) Nếu mức dòng điện hoặc dạng sóng không đúng, điều chỉnh các tham số máy phát.
 - 5) Lặp lại các bước 3) sang 4) nếu cần để thu được dạng sóng yêu cầu.
 - 6) Tháo bỏ thanh hoặc tấm vật liệu và lắp mẫu thử.
- d) Áp dụng một thử nghiệm cho mẫu thử.
- e) Kiểm tra mẫu thử và ghi các kết quả vào tài liệu.
- f) Nếu cần, đặt điện cực tại một vị trí mới trên mẫu thử và lặp lại các bước d) sang e).

Nói chung, phương pháp thử nghiệm này ít nhất phải đại diện cho các đe dọa dự kiến từ điểm sét đánh thực tế tới cánh trong vòng đời phục vụ của nó, ví dụ 20 năm. Xem xét năng lượng riêng và các lực từ, chỉ cần quan tâm đến mức dòng cao nhất, và chỉ áp dụng một vài lần phóng ở mức này (EN 50164-1). Xem xét sự ăn mòn bề mặt của hệ thống đầu thu sét do điện tích được dẫn, thiệt hại dồn lại. Điều này có nghĩa rằng điện tích được tích lũy được dẫn trong khi thử nghiệm sẽ giúp xác định khoảng thời gian/tần suất kiểm tra thay thế, miễn sao tính toán được tổng điện tích thực tế được áp dụng.

D.3.2.7 Giải thích các số liệu

Các mẫu thử phải trải qua một đánh giá thử nghiệm đạt chuẩn kỹ lưỡng để xác định sự phù hợp của thiết kế liên quan đối với tiêu chuẩn đạt/không đạt. Trong kết nối với các hệ thống đầu thu sét, tiêu chuẩn như vậy nên bao gồm nhiều như một hệ quả của ăn mòn bề mặt, dễ thay thế, v.v...

D.3.3 Thử nghiệm các bề mặt không dẫn điện

D.3.3.1 Mục đích thử nghiệm

Thử nghiệm này được áp dụng cho các bề mặt không dẫn điện như bề mặt cánh tuabin gió. Thử nghiệm này được sử dụng để xác định ảnh hưởng của một luồng sét quét trên bề mặt không dẫn điện, sau đó gắn đúng vào hệ thống đầu thu sét.

Đối với các bộ phận không dẫn điện, có thể xảy ra một vết thủng và sau đó đánh vào các bộ phận dẫn điện nằm dưới (dây buộc của hệ thống đầu thu sét, hệ thống dây dẫn sét, v.v...), cũng thực hiện thử nghiệm luồng sét đánh trong D.2.2. Nếu xảy ra thủng trong khi thử nghiệm kèm theo kênh quét, thiết kế kết cấu phải được cải thiện để tránh thiệt hại như vậy trong các thử nghiệm tương lai. Thử nghiệm này có thể được sử dụng để đánh giá:

- Các hiệu ứng sóng xung sóc và nhiệt trên các bề mặt và vỏ không dẫn điện;
- các hiệu ứng hồ quang bề mặt trên các kết cấu dẫn điện được đưa vào hoặc ở dưới bề mặt cánh (các lưới kim loại dưới bề mặt được sử dụng như các dây dẫn sét, vật liệu CFC nằm ngay dưới bề mặt, v.v...)
- bề mặt không dẫn điện cho toàn bộ khung gắn, trong trường hợp các thành phần cấu thành đỡ vỏ cánh.

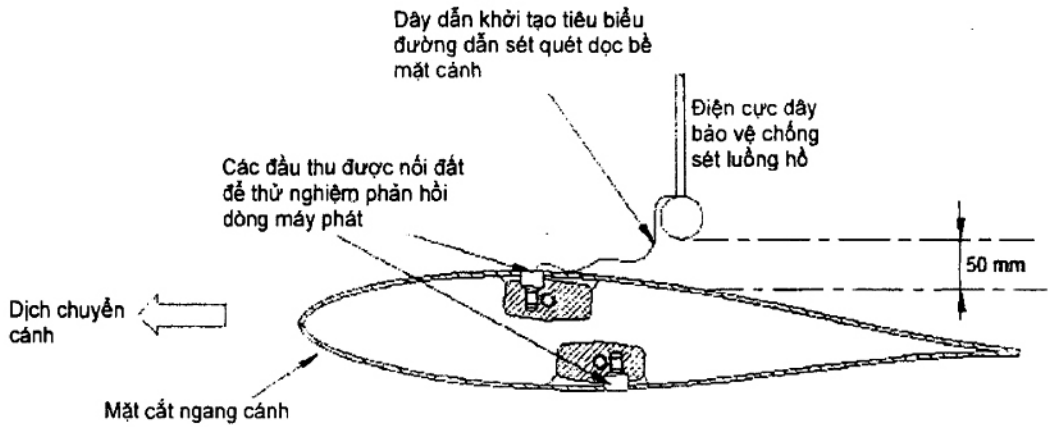
D.3.3.2 Mẫu thử

Tùy thuộc vào mục đích thử nghiệm, mẫu thử phải là bộ phận sản xuất tỷ lệ, một nguyên mẫu đại diện hoặc một mẫu thí nghiệm nhỏ hơn có các diện tích quan tâm. Các bộ phận cánh được thử nghiệm sẽ là các khu vực trong vùng lân cận các hệ thống đầu thu sét (như các đầu thu đầu và mặt), các mặt cách nhiệt trên vật liệu CFC và/hoặc lưới kim loại dẫn điện. Bộ phận phải đủ hoàn chỉnh để đánh giá thiệt hại có thể có mà không ảnh hưởng đến kết quả thử nghiệm. Nếu mục đích thử nghiệm là để so sánh các thiết kế khác nhau, tất cả các mẫu thử phải có cùng kích thước.

D.3.3.3 Bố trí thử nghiệm

Bố trí thử nghiệm như sau:

- Đỡ mẫu thử trong một dụng cụ giá đỡ nâng mẫu thử lên khoảng cách đủ lớn so với các bề mặt dẫn điện khác sao cho điều này không ảnh hưởng đến các kết quả thử nghiệm. Hình D.11 biểu diễn bố trí tiêu biểu.



Hình D.11 – Bố trí thử nghiệm dòng điện cao cho các bề mặt không dẫn điện

- Nối đất tất cả phần cứng tới kết cấu mẫu thử mà thường được nối đất.
- Nối máy phát hồi tiếp về mẫu thử để các dòng điện sét được dẫn ra từ mẫu thử theo cách điển hình khi cánh tuabin gió bị sét đánh. Đảm bảo các lực từ và các tương tác khác liên quan đến dòng chảy trong thiết lập được kiểm soát để chúng đại diện cho tình huống tự nhiên.
- Điểm cách điện cực "dây bảo vệ chống sét luồng" (xem Hình D.11) 50 mm hoặc lớn hơn diện tích mẫu thử sẽ được đánh giá.
- Nối đầu dây ra của máy phát dòng cao tới điện cực.
- Đối với thử nghiệm này, hoặc là áp dụng cực dương hoặc là cực âm.
- Sử dụng một dây kim loại tốt, đường kính không quá 0,1 mm, để hướng hồ quang tới điểm quan tâm cụ thể trên mẫu thử. Dây dẫn khởi phát từ điện cực trực tiếp đi qua bề mặt không dẫn điện dọc theo hướng của một tiên đạo sét. Dây khởi phát đặt trên bề mặt mẫu thử xấp xỉ 20 mm.
- Đặt thiết bị cảm biến và ghi.

D.3.3.4 Các dạng sóng dòng điện thử nghiệm

Áp dụng các dòng điện thử nghiệm được lấy từ Điều 8 của IEC 62305-1 và được mô tả trong D.3.2.4.

D.3.3.5 Đo và ghi các số liệu

Thực hiện các phép đo và ghi số liệu sau.

- Các hình ảnh và mô tả bố trí thử nghiệm.
- Hình ảnh mẫu thử trước, trong và sau mỗi thử nghiệm. Máy quay phim hồng ngoại để xác định các diện tích đốt nóng cục bộ trong các thử nghiệm có thể hữu ích.
- Các hình ảnh và mô tả thiệt hại cho mẫu thử.

- Ghi lại các dữ liệu môi trường phòng thí nghiệm (như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm), ngày thử nghiệm, người thực hiện và làm chứng cho các thử nghiệm và vị trí thử nghiệm.
- Ghi các sai lệch bất kỳ so với quy trình thử nghiệm.
- Ghi các kết quả của mỗi thử nghiệm biểu diễn cực tính, biên độ dòng, dạng sóng, năng lượng riêng và điện tích dịch chuyển tại các điểm thử nghiệm có thể áp dụng.

D.3.3.6 Quy trình thử nghiệm

Quy trình thử nghiệm như sau:

a) Đo điều kiện môi trường phòng thí nghiệm.

b) Xem xét và thực hiện các quy trình an toàn. Một số khu vực quan tâm như sau: Các khu vực thử nghiệm phải an toàn và sạch sẽ trước khi cắm điện thiết bị thử nghiệm, các bộ tụ điện phải được ngắn mạch sau các thử nghiệm và trước khi tái đưa vào cá thể bên trong khu vực thử nghiệm. Bảo vệ mắt và tai có thể được yêu cầu.

c) Hiệu chỉnh máy phát điện và dụng cụ đo đạc như sau.

1) Chèn một thanh dẫn điện lên trên hoặc trong chỗ đặt mẫu thử có các thuộc tính vật liệu tương tự như mẫu thử để đảm bảo phóng điện máy phát sẽ không thiệt hại mẫu thử.

2) Nối thanh dẫn điện vào đầu nối dòng phản hồi của máy phát dòng thử nghiệm.

3) Khởi tạo phóng điện tới thanh trong khi đo dạng sóng dòng điện sử dụng.

4) Nếu mức dòng điện hoặc dạng sóng không đúng, điều chỉnh các tham số máy phát.

5) Lặp lại các bước 3) sang 4) nếu cần để thu được dạng sóng yêu cầu.

6) Tháo bỏ thanh dẫn điện.

d) Làm sạch mẫu thử để loại bỏ bụi bẩn, các mảnh vụn và các chất ô nhiễm khác mà có thể ảnh hưởng đến kết quả thử nghiệm.

e) Áp dụng thử nghiệm ban đầu cho mẫu thử.

f) Kiểm tra mẫu thử và ghi các kết quả vào tài liệu.

g) Nếu kế hoạch thử nghiệm yêu cầu, tháo điện cực sang vị trí mới và lặp lại các bước e) và f).

D.3.3.7 Giải thích số liệu

Các mẫu thử phải trải qua một đánh giá thử nghiệm đạt chuẩn kỹ lưỡng để xác định sự phù hợp của thiết kế liên quan đối với tiêu chí đạt/không đạt. Các hình ảnh biểu diễn đường hồ quang, điểm lồi vào và các điện tích thiệt hại trên mẫu thử phải được xem xét để cung cấp một hiểu biết về các hiệu ứng thiệt hại.

TCVN 10687-24:2015

D.3.4 Thử nghiệm dòng điện sét

D.3.4.1 Mục đích thử nghiệm

Thử nghiệm này có thể áp dụng cho các dây dẫn sét, các thành phần kết nối và các thành phần cơ khí cố định hoặc linh hoạt khác mà có trong đường dẫn dòng giữa hệ thống đầu thu sét và hệ thống nối đất tuabin gió. Thử nghiệm có thể so sánh với các phương pháp thử nghiệm trong EN 50164-1 mà không áp dụng điều kiện/tuổi thọ. Nếu sử dụng EN 50164-1 cho việc kiểm tra các bộ phận nối sét trên các tuabin gió, các mức thử nghiệm dòng điện sét phải được chọn theo cú sét ngắn ban đầu của mức LPL được chọn.

Thử nghiệm có thể được sử dụng để đánh giá:

- Khả năng dẫn dòng điện sét;
- Gia tăng nhiệt độ trong các dây dẫn và các kết nối;
- Hồ quang và đánh lửa trong các vòng bi, các tiếp điểm trượt, các chổi than và các thành phần kết nối chung;
- Các hiệu ứng lực từ;
- Dẫn điện phù hợp của các giao điểm và vật liệu sợi cacbon tổng hợp.

D.3.4.2 Mẫu thử

Mẫu thử phải là một bộ phận sản xuất tỷ lệ như các phần hoặc phần phụ của các kết cấu dẫn điện hay của các dây dẫn sét mà có các giao điểm giữa các thành phần hoặc bộ phận cấu thành, như các mối nối liên kết kết dính, các mối nối được xiết chặt, các vòng bi và chổi than. Các mẫu thử kết cấu phải đủ lớn để cho phép thu nhận được một phân bố dòng điện sét tiêu biểu.

D.3.4.3 Bố trí thử nghiệm

Bố trí thử nghiệm như sau:

- Gắn mẫu thử trong một thiết bị giá. Hình D.12 biểu diễn cách bố trí tiêu biểu.
- Nối đất tất cả các phần cứng tới kết cấu mẫu thử được nối đất bình thường.
- Nối các đầu nối phản hồi và ra của máy phát tới mẫu thử để các dòng điện thử nghiệm được dẫn qua mẫu thử theo cách điển hình khi cánh hoặc kết cấu khác khi bị sét đánh. Cục tính của máy phát thường không liên quan. Đảm bảo các lực từ và các tương tác khác liên quan đến dòng chảy trong mẫu thử được kiểm soát để đảm bảo chúng đại diện cho tình huống tự nhiên.
- Đặt thiết bị cảm biến và ghi.

CHÚ THÍCH: Một bố trí bán đồng trục của các dây dẫn và các mẫu thử có thể được sử dụng để giảm thiểu lực từ do dòng điện trong dây dẫn mang dòng thử nghiệm đi ra và đi vào mẫu thử và để thu được một phân bố dòng điện thực tế dẫn qua mẫu thử. Hình D.11 cho thấy một sự sắp xếp điển hình cho thử nghiệm một phần cánh

tuabin gió. Đo điện áp cảm ứng bên trong dây điện mà có thể được lắp đặt trong một cánh cũng có thể được thực hiện trong các thử nghiệm dẫn điện, như được mô tả trong Điều 8.

D.3.4.4 Các dạng sóng dòng điện thử nghiệm

Áp dụng các dòng thử nghiệm được lấy từ Điều 8 của IEC 62305-1, và được mô tả trong D.3.2.4.

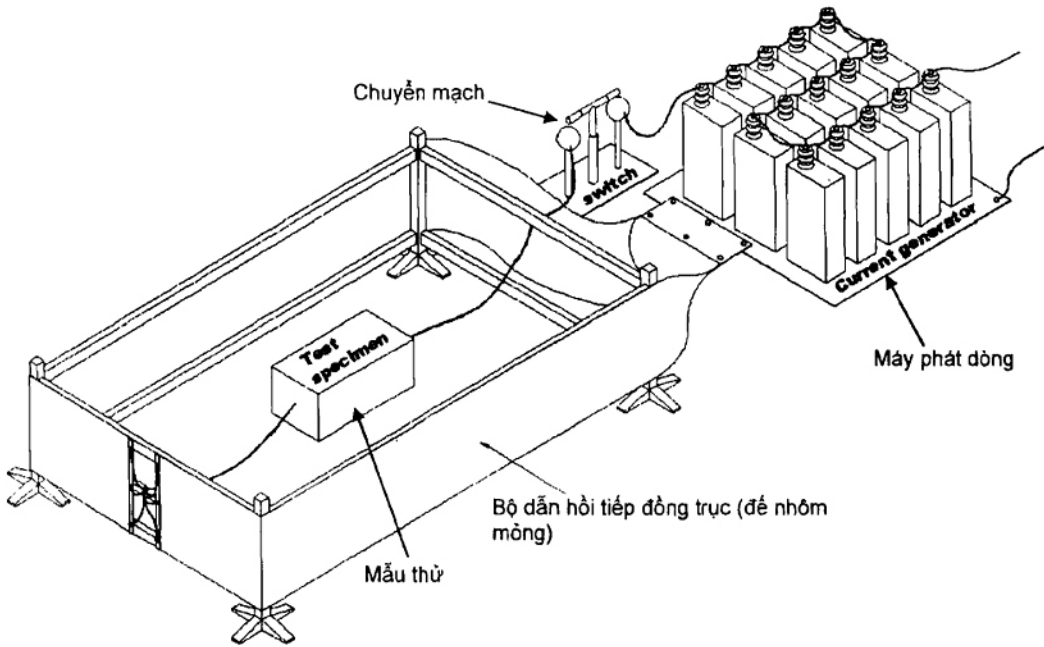
Áp dụng các dòng thử nghiệm cụ thể được xác định bởi mức độ bảo vệ đã được chỉ định cho bộ phận kết cấu tuabin gió đang được thử nghiệm. Biên độ dòng thử nghiệm được áp dụng cho mẫu thử chỉ đại diện cho một phần của mặt cắt ngang dẫn điện của kết cấu (ví dụ như hai dây dẫn sét song song trong cánh) phải được thu nhỏ dựa trên tỷ lệ phần trăm của mặt cắt ngang mẫu thử theo toàn bộ mặt cắt ngang (giả sử độ dẫn đồng nhất). Thông thường, dòng điện này được tăng lên đến 50 % theo các giá trị không cân bằng có thể của dòng điện phân bố trong cả mặt cắt ngang kết cấu.

D.3.4.5 Đo và ghi lại các số liệu

Thực hiện các phép đo và các bản ghi số liệu sau:

- Các hình ảnh và mô tả bố trí thử nghiệm.
- Các hình ảnh về các điểm phun.
- Các hình ảnh của mẫu thử trước, trong và sau mỗi thử nghiệm. Máy quay phim hồng ngoại để xác định các khu vực tỏa nhiệt cục bộ trong các thử nghiệm có thể hữu ích.
- Các hình ảnh và mô tả thiệt hại cho mẫu thử.
- Ghi lại các dữ liệu môi trường phòng thí nghiệm (như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm), ngày thử nghiệm, người thực hiện và làm chứng cho các thử nghiệm và vị trí thử nghiệm.
- Ghi các sai lệch bất kỳ so với quy trình thử nghiệm.
- Ghi các kết quả của mỗi thử nghiệm biểu diễn cực tính, biên độ dòng, dạng sóng, năng lượng riêng và điện tích dịch chuyển tại các điểm thử nghiệm có thể áp dụng.

Các bố trí khác xác nhận cho các thử nghiệm dòng điện, như nguyên lý đôn bầy, cũng được phép sử dụng.



Hình D.12 – Ví dụ về bố trí thử nghiệm dòng điện dẫn

D.3.4.6 Quy trình thử nghiệm

Quy trình thử nghiệm như sau:

- a) Đo điều kiện môi trường phòng thí nghiệm.
- b) Xem xét và thực hiện các quy trình an toàn. Một số khu vực quan tâm như sau: Các khu vực thử nghiệm phải an toàn và sạch sẽ trước khi cắm điện thiết bị thử nghiệm, các bộ tụ điện phải được ngắt mạch sau các thử nghiệm và trước khi tái đưa vào cá thể bên trong khu vực thử nghiệm. Bảo vệ mắt và tai có thể được yêu cầu.
- c) Hiệu chỉnh máy phát điện và dụng cụ đo đạc như sau.
 - 1) Tháo máy phát dòng điện phản hồi và cao khỏi mẫu thử và nối chúng vào thanh cái dẫn điện gần hoặc đặt trong mẫu thử. Thanh dẫn phải có các thuộc tính vật liệu tương tự như mẫu thử.
 - 2) Sử dụng một thử nghiệm cho thanh dẫn trong đi đo dạng sóng dòng điện áp dụng.
 - 3) Nếu mức dòng điện hoặc dạng sóng không đúng, điều chỉnh các tham số máy phát.
 - 4) Lặp lại các bước 2) sang 3) nếu cần để thu được dạng sóng yêu cầu.
 - 5) Tháo bỏ thanh dẫn và gắn lại máy phát vào mẫu thử.
- d) Làm sạch mẫu thử sử dụng kỹ thuật thích hợp để loại bỏ bụi bẩn, các mảnh vụn và các chất ô nhiễm khác mà có thể ảnh hưởng đến kết quả thử nghiệm.
- e) Áp dụng thử nghiệm cho mẫu thử.

f) Kiểm tra mẫu thử và ghi các kết quả vào tài liệu.

g) Lặp lại các bước e) và (f) để áp dụng các thử nghiệm bổ sung như được đề ra trong kế hoạch thử nghiệm.

CHÚ THÍCH: Thường thích hợp áp dụng các dòng điện có biên độ thấp cho mẫu thử để xác định các cài đặt máy phát cần thiết để đạt được dòng điện tỷ lệ mong đợi. Nếu điều này được thực hiện, bước c) có thể được bỏ qua.

D.3.4.7 Giải thích kết quả

Các mẫu thử phải trải qua một đánh giá thử nghiệm đạt chuẩn kỹ lưỡng để xác định sự phù hợp của thiết kế đối với tiêu chuẩn đạt/không đạt.

Các tiêu chí đạt/không đạt được xác định trong EN 50164-1, mà có thể được chấp nhận.

Phụ lục E

(tham khảo)

Áp dụng khái niệm các vùng bảo vệ chống sét (LPZ) trong tuabin gió**E.1 Định nghĩa các vùng bảo vệ chống sét**

Để thiết kế một hệ thống bảo vệ chống sét cho một kết cấu, thuận tiện khi chia kết cấu vào các vùng bảo vệ chống sét (LPZ), trong đó định nghĩa môi trường điện từ sét. Bảng E.1 liệt kê các định nghĩa về vùng bảo vệ chống sét theo IEC 62305-1.

Bảng E.1 – Định nghĩa các vùng bảo vệ chống sét theo IEC 62305-1

Khu vực ngoài trời	
LPZ 0	Vùng mà đe dọa do trường điện từ sét không suy giảm và các hệ thống bên trong có thể phải chịu toàn bộ hoặc một phần dòng đột biến điện. LPZ 0 được chia thành:
LPZ 0 _A	Vùng mà đe dọa do sét đánh trực tiếp và trường điện từ sét toàn phần. Các hệ thống bên trong có thể phải chịu một phần hoặc toàn bộ 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
Khu vực trong nhà	
LPZ 1	Vùng mà dòng đột biến bị hạn chế bằng cách chia dòng và bằng các giao diện cách ly và/hoặc bằng SPD ở đường biên. Màn chắn không gian có thể giảm trường điện từ sét
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 SPD bổ sung cho đường biên. Có thể sử dụng màn chắn không gian tăng cường để tiếp tục giảm trường điện từ sét.
CHÚ THÍCH 1: Nói chung, chỉ số của vùng riêng càng cao thì các tham số trường điện từ môi trường càng thấp.	
CHÚ THÍCH 2: Giới hạn dòng điện bằng cách phân dòng để cập đến việc giảm tải mang dòng của các dây dẫn riêng rẽ của hệ thống bảo vệ chống sét nhờ phân bố dòng điện sét ban đầu giữa một số dây dẫn.	

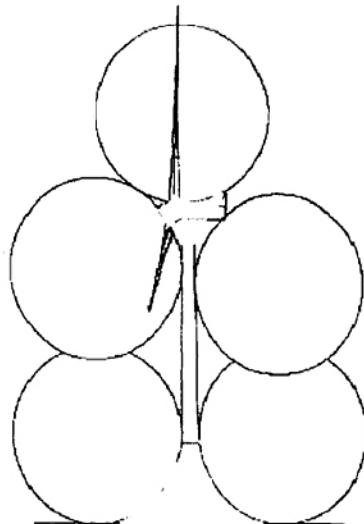
E.2 Vùng LPZ 0

Ranh giới giữa LPZ 0_A và LPZ 0_B có thể được xác định bằng mô hình quả cầu lăn như thể hiện trong Hình E.1 (xem thêm IEC 62305-1 và IEC 62305-3). Các vùng đánh dấu màu xám là LPZ 0_B nơi sét không thể đánh vào, và phần còn lại của bề mặt tuabin gió là LPZ 0_A. Các vị trí tựa vào nhau làm quả

cầu không thể lăn được bảo vệ chống sét đánh trực tiếp. Như có thể thấy, sét có thể đánh vào hầu hết các bề mặt của tuabin gió – các vùng như vậy được gọi là LPZ 0_A. Mô hình tính toán cũng có thể được sử dụng; các mô hình này thường dựa trên phương pháp quả cầu lăn. Các hệ thống bên trong của LPZ 0_B có thể phải chịu một phần dòng đột biến sét.

Bằng các đầu thu sét (ví dụ các cọc dẫn sét) được đặt ở rìa phía sau của nắp vỏ tuabin, một LPZ 0_B có thể được tạo ra ở phía trên của vỏ tuabin do đó các dụng cụ khí tượng học có thể được bảo vệ chống sét đánh trực tiếp. Dưới chân của tuabin gió đó cũng là một LPZ 0_B, nơi mà nếu có một buồng chứa máy biến áp thì nó sẽ được bảo vệ chống sét đánh trực tiếp.

Các công cụ định vị hệ thống đầu thu sét (quả cầu lăn, góc bảo vệ, v.v...) trong IEC 62305-3 không áp dụng cho cánh gió tuabin. Do đó, thiết kế hệ thống đầu thu sét phải được kiểm tra xác nhận theo 8.2.3.



Hình E.1 – Mô hình quả cầu lăn

E.3 Các vùng khác

Ranh giới giữa LPZ 0_A hoặc LPZ 0_B và LPZ 1 có thể được thực hiện tại cột tháp hoặc tại điểm cao nhất của vỏ tuabin nếu có một vỏ kim loại hoặc lưới bảo vệ kim loại đủ để bảo vệ các thành phần bên trong (lồng Faraday xung quanh phần bên trong của vỏ tuabin là tối ưu). Trong trường hợp các lớp phủ vỏ tuabin là vật liệu GFRP, đề xuất một khung hoặc đai kim loại được tích hợp vào trong lớp phủ vỏ bọc động cơ tối thiểu xác định diện tích bên trong như vùng 0_B để bảo vệ các thành phần vỏ bọc động cơ tránh sét đánh trực tiếp hoặc dòng tiên đạo sét không có cú sét phản hồi (xem Hình E.2 và E.3). Điều này phải được liên kết xuyên suốt cho để truyền động điều khiển cơ khí của động cơ. Lý tưởng nhất, một lưới kim loại trong một vỏ vật liệu GFRP phải được tích hợp vào khung này để xác định vỏ tuabin như LPZ 1. Một lưới có kích thước dạng lưới đan lớn, lên đến vài mét kích cỡ dạng lưới đan, sẽ bảo vệ

TCVN 10687-24:2015

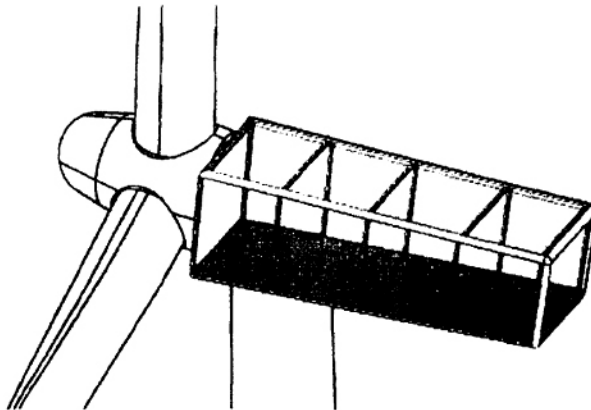
vỏ tuabin bảo vệ chống sét đánh trực tiếp và dòng tiên đạo sét không có cú sét phản hồi. Từ trường và điện trường sẽ chỉ có suy giảm nhỏ.

Một lưới có kích thước dạng lưới đan nhỏ cũng sẽ bảo vệ đối với sét đánh trực tiếp và dòng tiên đạo sét không có cú sét phản hồi. Tùy thuộc vào kích thước dạng lưới đan và độ dày của lưới, lưới có thể có độ suy giảm cao đối với các điện trường và từ trường. Theo quy luật của dòng, suy giảm sẽ có hiệu lực ở một khoảng cách từ lưới bằng với kích thước dạng lưới đan.

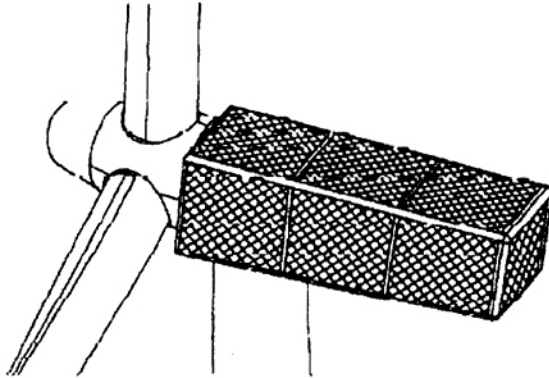
Các Hình E.5 và E.6 biểu diễn cách mà bên trong tuabin gió có thể được chia thành các vùng bảo vệ LPZ 1 và LPZ 2. Vỏ tuabin (có một số lưới bao phủ), cột tháp và các kết nối áp là vùng bảo vệ LPZ 1. Các thiết bị bên trong buồng kim loại trong các diện tích LPZ 1 nằm trong vùng bảo vệ LPZ 2 (xem Chú thích). Ví dụ, kiểm soát trong buồng bên trong một cột tháp kim loại là vùng LPZ 2, nhưng trong buồng kim loại bên ngoài cột tháp lại là LPZ 1 hoặc LPZ 2 (Chú thích 1).

Nếu cột tháp được làm bằng một ống kim loại và có kết nối điện tốt giữa các bộ phận của cột tháp, LPZ bên trong cột tháp có thể được xác định như LPZ 2. Một cột tháp thép hình ống là một lồng Faraday rất hiệu quả, miễn là nó điện từ kín ở trên và dưới. Thiết bị rất nhạy cảm có thể được đặt bên trong một vùng vẫn được bảo vệ nhiều hơn, LPZ 3, ở mức các buồng kim loại khác (Chú thích 1). Có độ nhạy của các thành phần trong một vùng nhất định (tức là các giới hạn chịu đựng) xác định độ ảnh hưởng của sét (như từ và điện trường dòng điện, điện áp) phải được giảm xuống trong vùng đó. Do đó, không có giá trị cụ thể của dòng điện, điện áp và điện từ trường trong từng vùng được đề xuất trong bộ tiêu chuẩn IEC 62305.

CHÚ THÍCH: Đối với một buồng kim loại, chống lại sự suy giảm từ và điện trường phụ thuộc vào cách thiết kế buồng kim loại. Đối với các buồng EMC, nhà chế tạo có thể cung cấp các phép đo độ suy giảm của từ và điện trường.



Hình E.2 – Lưới có kích thước dạng lưới đan lớn cho vỏ tuabin phủ vật liệu GFRP



Hình E.3 – Lưới có kích thước dạng lưới đan nhỏ cho vỏ tuabin phủ vật liệu GFRP

E.4 Các ranh giới vùng

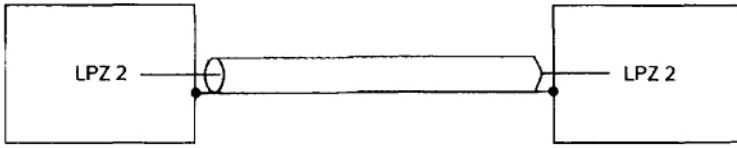
Tại mỗi ranh giới vùng, phải đảm bảo rằng cáp và dây dẫn qua ranh giới không dẫn phần lớn dòng điện sét hoặc các chuyển tiếp điện áp vào vùng bảo vệ chống sét có mức cao hơn. Điều này được thực hiện bằng các thực tiễn liên kết và bảo vệ thích hợp và bảo vệ quá áp cho các cáp và dẫn dấy ở ranh giới vùng. Mục đích là để giảm dòng điện và điện áp đến một mức độ cho phép để thiết bị được đặt trong vùng bảo vệ có mức cao hơn.

Số lượng thành phần cần thiết để bảo vệ chống quá áp (SPD) có thể được giảm bằng cách phân chia thích hợp thành các vùng, vị trí thích hợp của cáp, sử dụng cáp có màn chắn và sử dụng sợi quang để truyền tín hiệu và dữ liệu.

Các vùng kế tiếp được đặc trưng bởi những thay đổi đáng kể về độ nghiêm trọng của xung LEMP. Ranh giới của một LPZ được xác định bởi các biện pháp bảo vệ sử dụng để chống lại suy giảm của từ và điện trường.

Trong một số tình huống đặc biệt, có thể cần thiết đi trực tiếp từ LPZ 0_B đến LPZ 2. Điều này đặt yêu cầu cao hơn về các thành phần bảo vệ tại các ranh giới vùng mà phải giảm các tham số ảnh hưởng tới mức độ cần thiết.

Vùng bảo vệ chống sét có thể được nối qua màn chắn của cáp có vỏ hoặc qua các ống dẫn bảo vệ cáp, nhờ đó khi hai tủ điều khiển được đặt cách riêng một khoảng có thể được nối mà không cần phải sử dụng SPD trên mạch chính (xem Hình E.4). Tương tự như vậy, một buồng được định nghĩa là LPZ 2 có thể được mở rộng bằng cáp có vỏ để bao gồm một hộp cảm biến kim loại bên ngoài cũng được xác định là LPZ 2.

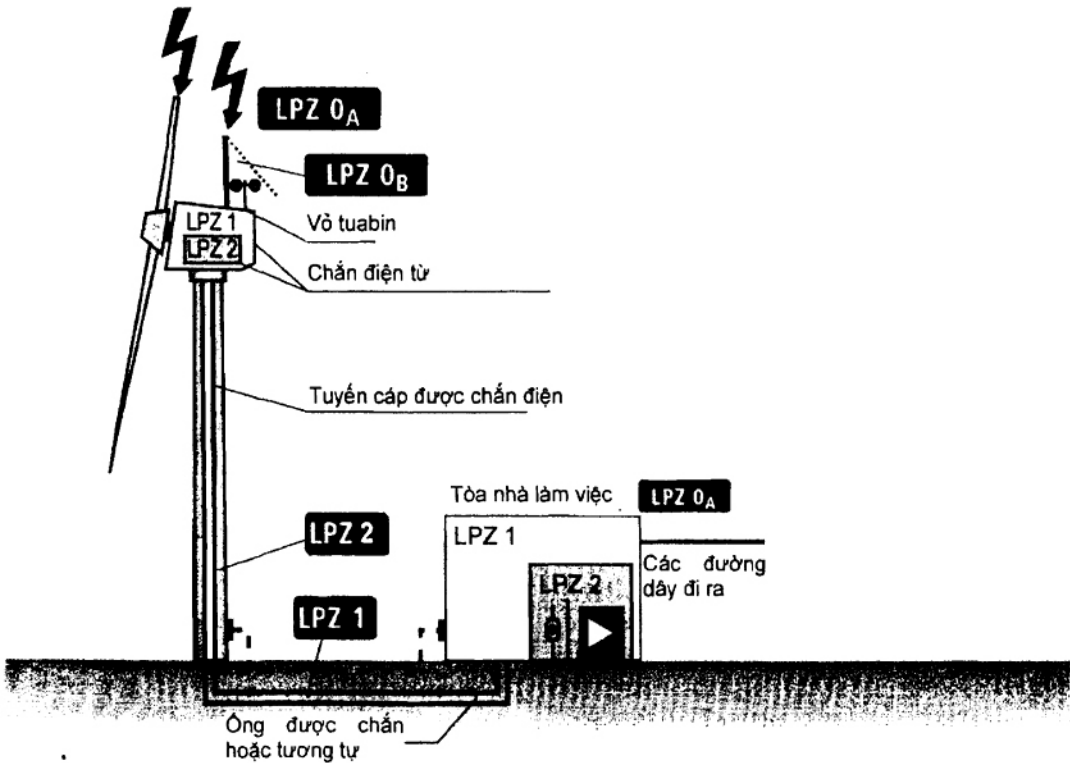


Hình E.4 – Hai buồng đều được xác định là LPZ 2 được nối thông qua màn chắn của cáp có màn chắn

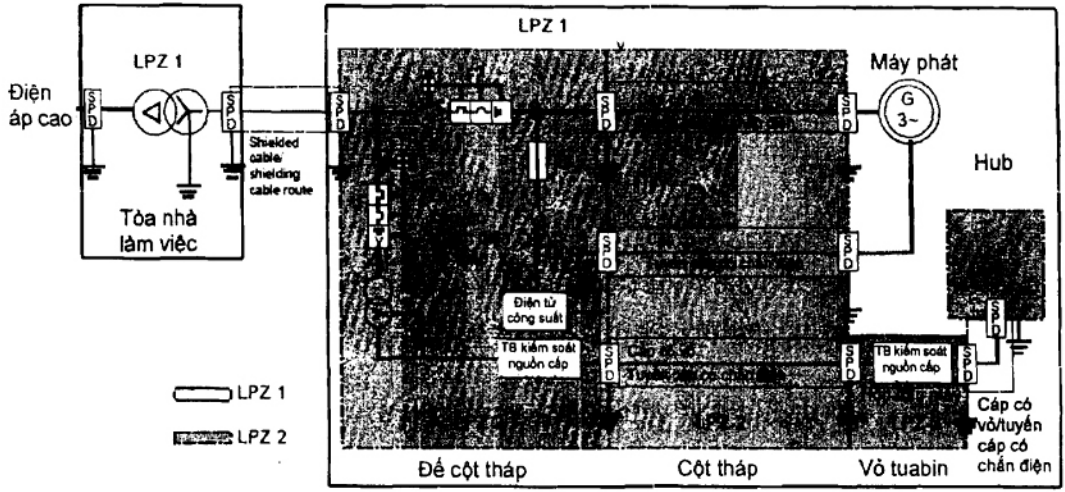
E.5 Các yêu cầu của vùng bảo vệ

Để tránh xảy ra thiệt hại hay hỏng hóc không thể chấp nhận, cần phải đảm bảo rằng trong một vùng nhất định, không có thành phần nào được tiếp xúc với các phần dòng điện sét, các chênh lệch điện áp hoặc các trường điện từ và điện trường vượt các mức chịu đựng của chúng. Để đáp ứng các yêu cầu này, phải thực hiện và ghi lại thử nghiệm và xác minh.

Bảo vệ có thể đạt được bằng cách sử dụng SPD phối hợp, nhờ sử dụng cáp có màn chắn, nhờ sử dụng các tuyến cáp chắn điện, hoặc sự kết hợp khi cần thiết.



Hình E.5 – Ví dụ: Chia tuabin gió thành các vùng bảo vệ chống sét khác nhau



Hình E.6 – Ví dụ về cách phân chia LPMS của hệ thống điện bên trong thành các vùng bảo vệ có chỉ dẫn về nơi các mạch đi qua ranh giới LPZ và biểu diễn các cáp dài chạy giữa đế cột tháp và vỏ tuabin

Phụ lục F

(tham khảo)

Lựa chọn và lắp đặt bảo vệ SPD phối hợp trong tuabin gió

F.1 Vị trí của SPD

IEC 62305-4 có thông tin chi tiết về vị trí của các SPD. Tiêu chuẩn đó đưa ra thông tin về các giới hạn của khoảng cách cáp mà SPD cung cấp bảo vệ do các hiệu ứng cảm ứng và hiện tượng dao động.

IEC 61643-12 đưa thêm một số ví dụ trong đó có thể cần bảo vệ bổ sung, như:

- có thiết bị rất nhạy;
- khoảng cách giữa SPD được đặt tại lõi vào tới LPZ và thiết bị được bảo vệ là quá dài;
- các trường điện từ bên trong kết cấu được tạo bởi các nguồn nhiễu bên trong.

Điều D.2.3 của IEC 62305-4 mô tả khoảng cách bảo vệ dao động. Khoảng cách bảo vệ dao động là độ dài lớn nhất của mạch điện giữa SPD và thiết bị, mà bảo vệ SPD vẫn thích hợp, có tính đến hiện tượng dao động và tải điện dung. Hiện tượng dao động có thể được bỏ qua nếu chiều dài của mạch điện giữa SPD và thiết bị nhỏ hơn 10 m hoặc nếu mức bảo vệ hiệu quả là 50 % điện áp chịu xung danh định của thiết bị đặt phía tải.

Điều D.2.4 của IEC 62305-4 mô tả các vấn đề về khoảng cách bảo vệ cảm ứng. Khoảng cách bảo vệ cảm ứng là chiều dài tối đa của mạch điện giữa SPD và thiết bị mà bảo vệ SPD vẫn thích hợp, có tính đến hiệu ứng cảm ứng. Hiệu ứng cảm ứng có thể được giảm thiểu bằng cách sử dụng màn chắn không gian và màn chắn đường dây - xem thêm Phụ lục G.

Do quá điện áp, gây ra bởi ví dụ các thao tác chuyển mạch hoặc thao tác ngắt cầu chảy trong hệ thống điện tuabin gió hoặc trong các hệ thống điện mà tuabin gió được nối tới, các SPD bổ sung trong LPZ có thể là cần thiết - xem thêm Điều F.7.

F.2 Lựa chọn các SPD

Nói chung, SPD có thể được lựa chọn dựa trên các tấm thông số và thông tin sản phẩm của SPD.

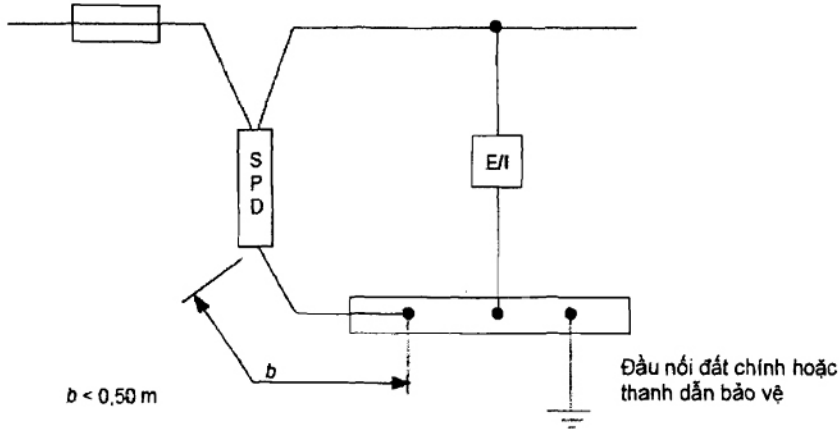
CHÚ THÍCH: Chứng nhận thử nghiệm IEC-CB đưa ra một bằng chứng độc lập về SPD tuân thủ các tiêu chuẩn liên quan IEC 61643-1 và IEC 61643-21.

F.3 Lắp đặt SPD

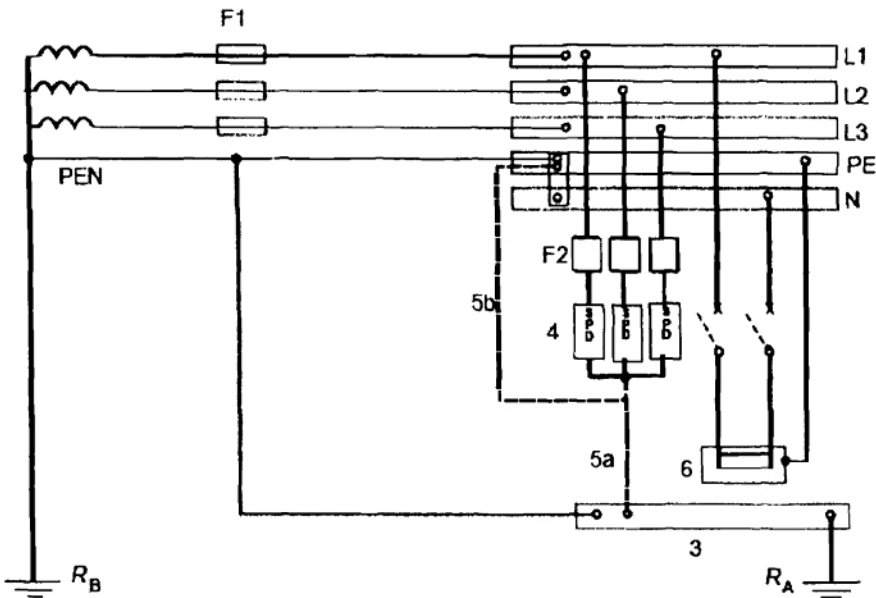
Với chiều dài ngày càng tăng của các dây nối SPD, hiệu quả bảo vệ chống quá điện áp bị giảm đi. Để đạt được bảo vệ tối đa, tổng chiều dài dây nối nên được giữ càng ngắn càng tốt.

Đối với lắp đặt SPD trong tuabin gió:

- tổng chiều dài dây nối không nên vượt quá 0,5 m;
- sơ đồ lắp đặt điểm-điểm phải theo Hình F.1;
- các nối đất 5a và 5b phải theo Hình F.2.



Hình F.1 – Sơ đồ lắp đặt điểm - điểm (Hình 53E trong TCVN 7447-5-53 (IEC 60364-5-53))



Hình F.2 – Sơ đồ lắp đặt nối đất (Hình A.1 trong TCVN 7447-5-53 (IEC 60364-5-53))

F.4 Ứng suất môi trường của SPD

IEC 61643-1 qui định:

- nhiệt độ làm việc và lưu kho từ $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (phạm vi bình thường) và $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (phạm vi mở rộng);

TCVN 10687-24:2015

- độ ẩm tương đối trong các điều kiện trong nhà phải trong khoảng từ 30 % đến 90 %;
- hiện nay IEC 61643-1 chưa bao gồm các yêu cầu về rung.

Nếu ứng suất môi trường thực của SPD lắp trong các tuabin gió vượt quá các giá trị cho trong IEC 61643-1, thì phải áp dụng phương pháp thử nghiệm và giá trị ứng suất thích hợp trong TCVN 7699 (IEC 60068). Nhà chế tạo tuabin gió phải qui định rõ các yêu cầu về điểm lắp đặt cụ thể, ví dụ như vỏ tuabin và hub.

F.5 Chỉ thị trạng thái của SPD và giám sát SPD trong trường hợp hỏng SPD

Các SPD có thể bị quá tải do dòng điện sét cao bất thường hoặc do ứng suất lặp lại. Hơn nữa, các bộ phận quan trọng của các hệ thống điện và điện tử của tuabin gió có thể đòi hỏi tăng các yêu cầu về tính sẵn có.

Trong các ứng dụng như vậy, được nhà chế tạo tuabin gió xác định, SPD có thể cung cấp một kết hợp về tính liên tục của nguồn cung cấp và tính liên tục của bảo vệ như mô tả trong TCVN 7447-5-53 (IEC 60364-5-53).

Nếu cần, điều này có thể được cung cấp bởi, ví dụ:

- hệ thống giám sát SPD;
- cơ chế kiểm soát và phát tín hiệu bên trong SPD để đưa ra cảnh báo chống hỏng SPD tiếp theo;
- việc phát tín hiệu từ xa có thể được đưa vào hệ thống giám sát và điều khiển tổng thể của tuabin gió.

F.6 Lựa chọn SPD liên quan đến mức bảo vệ (Up) và miễn nhiệm ở cấp hệ thống

Khi cần thiết, miễn nhiệm ở cấp hệ thống có thể được kiểm tra bằng thử nghiệm cấp hệ thống. Các phương pháp có thể có đối với thử nghiệm miễn nhiệm cấp hệ thống được mô tả trong Phụ lục H.

F.7 Lựa chọn SPD liên quan đến quá điện áp tạo thành bên trong tuabin gió

Quá điện áp gây ra do các thao tác chuyển mạch trong hệ thống điện tuabin gió hoặc trong hệ thống điện mà tuabin gió được nối tới, phải được xem xét khi lựa chọn và áp dụng các biện pháp bảo vệ quá điện áp cho tuabin gió.

Các ví dụ có thể có về các quá điện áp được tạo ra trong tuabin gió có thể là:

- ngắn mạch lưới;
- bộ chuyển đổi tĩnh (năng lượng được tích trong trường hợp ngắt mạch);
- đồng phóng điện dung tăng do chu kỳ biến đổi năng lượng;
- chuyển mạch tải do bộ chuyển mạch điện áp thấp.

F.8 Lựa chọn SPD liên quan đến dòng phóng (I_n) và dòng xung (I_{imp})

Nói chung, tuabin gió được dựng trên các vị trí rộng chịu nhiều tác động. Hơn nữa, do chiều cao ngày càng tăng của tuabin gió, xác suất bị sét đánh tăng lên. Cách thức có thể làm tăng tuổi thọ của SPD trong trường hợp số lượng sét đánh vào lớn là chọn SPD có các tham số dòng phóng và dòng xung cao hơn giá trị cho trong TCVN 7447-5-53 (IEC 60364-5-53), xem Bảng F.1. Các mạch nối thiết bị nằm trong vùng bảo vệ LPZ 0_B có thể được coi là các mạch tiếp xúc đặc biệt, như mô tả trong 8.5.6.10. Thiết bị này được phân loại là thiết bị lắp đặt bên ngoài, theo IEC 62305-4 Điều B.9.

Một ví dụ điển hình về thiết bị lắp đặt bên ngoài tuabin gió là hệ thống đo gió, v.v....

Trong trường hợp như vậy, SPD bên trong các tuabin gió cần đáp ứng các yêu cầu của Bảng F.2

Bảng F.1 – Các mức dòng phóng và dòng xung đối với hệ thống TN nêu trong TCVN 7447-5-53 (IEC 60364-5-53)

SPD cấp I – I_{imp} (10/350)
12,5 kA đối với mỗi chế độ bảo vệ
SPD cấp II – I_n (8/20)
5 kA đối với mỗi chế độ bảo vệ

Bảng F.2 – Ví dụ về các mức dòng phóng và dòng xung tăng lên đối với hệ thống TN

SPD cấp I – I_{imp} (10/350)
25 kA đối với mỗi chế độ bảo vệ
SPD cấp II – I_n (8/20)
15 kA đối với mỗi chế độ bảo vệ

Khi sử dụng SPD kết hợp cho các mục đích bảo vệ theo cả SPD cấp I và SPD cấp II, thông số đặc trưng của các dòng I_n và I_{imp} phải phù hợp với các giá trị trong Bảng F.1 và F.2.

Khi được dẫn từ tuabin gió xuống đất, dòng điện sét được chia giữa các hệ thống đầu thu sét, các bộ phận dẫn điện bên ngoài (nếu có) và đường dây cung cấp, trực tiếp hoặc thông qua SPD nối với đường dây. Mức độ dòng điện chuyển hướng qua các SPD riêng rẽ phụ thuộc vào số lượng các tuyến dẫn song song giữa biến đổi dòng điện được chia và các trở kháng của các tuyến dẫn đó - IEC 62305-1 Phụ lục E cung cấp chỉ dẫn về cách tính toán.

Phụ lục G

(tham khảo)

Thông tin bổ sung về liên kết và kỹ thuật che chắn và lắp đặt**G.1 Thông tin bổ sung về liên kết**

Do bản chất quá độ của dòng điện sét, sụt áp đỉnh dọc theo dây dẫn có thể lấy xấp xỉ bằng

$$V = L \frac{di}{dt} \quad (G.1)$$

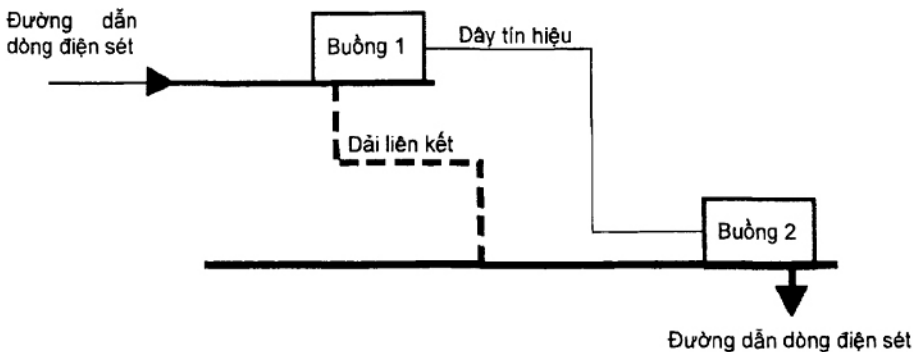
trong đó

L [H/m] là điện cảm của dây dẫn;

di/dt [A/s] là tốc độ thay đổi lớn nhất của dòng điện sét.

Điện cảm của một dây dẫn có thể thường được xem xét trong khoảng 1 $\mu\text{H/m}$ và di/dt tối đa có thể thay đổi từ 0,2 kA/ms đến 200 kA/ms phụ thuộc vào cú sét đánh và mức chia dòng giữa các dây dẫn riêng. Do đó, chênh lệch điện áp dọc theo dải liên kết có thể lên đến 200 kV/m.

Xem xét hệ thống thể hiện trong Hình G.1 có hai buồng điều khiển nằm trên các mặt phẳng kim loại khác nhau bên trong một vỏ tuabin gió. Dòng điện sét dẫn vào mặt phẳng phía trên và truyền tới mặt phẳng phía dưới thông qua dải liên kết. Khi dòng điện sét dẫn qua dải liên kết, điện thế của buồng 1 được nâng lên so với buồng 2. Các kết quả có thể có của sự thay đổi điện thế này có thể làm hỏng các thành phần nằm trong buồng 1 hoặc 2. Tình hình có thể được cải thiện bằng các liên kết tốt, lắp đặt cáp thích hợp và hoặc SPD bảo vệ dây tín hiệu hoặc bằng cách sử dụng cáp tín hiệu có màn chắn liên kết bảo vệ ở cả hai đầu.



Hình G.1 – Hai buồng điều khiển nằm trên các mặt phẳng kim loại khác nhau trong vỏ tuabin

Sử dụng nhiều dải liên kết và tối giản chiều dài dải liên kết sẽ có thể dẫn đến chênh lệch điện áp thấp nhất giữa hai mặt phẳng kim loại.

Do đó, liên kết trong tuabin gió cần sử dụng nhiều dây dẫn để:

- có khả năng mang một phần dòng điện sét dự báo để dẫn qua đường dẫn đang xem xét;
- càng ngắn và thẳng càng tốt.

Hệ thống đi dây cũng có thể được bảo vệ bằng các dây dẫn nhất định trong ống dây/ống bao cáp hay bằng cách sử dụng cáp có màn chắn như trong IEC/TR 61000-5-2.

G.2 Thông tin bổ sung liên quan đến bảo vệ LEMP

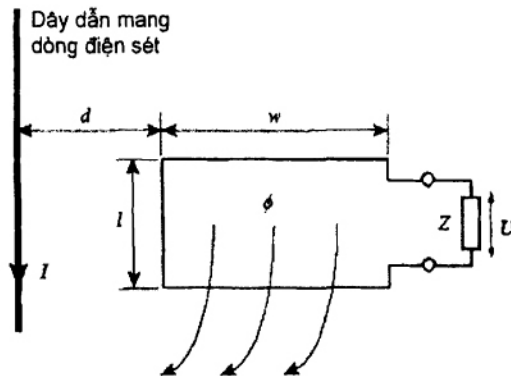
Thông tin chi tiết về màn chắn không gian, định tuyến dây và màn chắn đường dây được đưa ra trong IEC 62305-4, Điều A.2.1.

Nói chung, mức chịu điện áp và dòng điện quá độ (miễn nhiễm) của thiết bị phải được ghi thành tài liệu bằng cách thử nghiệm EMC theo IEC 61000-4-X, và khi đó các mức miễn nhiễm xác định được sẽ được sử dụng để đánh giá sự cần thiết của bảo vệ bổ sung cho thiết bị trong môi trường ở các vùng LPZ riêng. Hơn nữa, mức chịu cách điện của dây dẫn, v.v... cần được ghi thành tài liệu theo tiêu chuẩn phối hợp cách điện IEC 60664-1.

G.3 Thông tin bổ sung về kỹ thuật màn chắn và lắp đặt

Khi dòng điện sét dẫn qua tuabin gió sẽ sinh ra từ trường lớn. Nếu các từ trường thay đổi này đi qua một vòng dây, chúng sẽ cảm ứng các điện áp trong vòng dây đó. Biên độ điện áp tỷ lệ với tốc độ thay đổi của từ trường và diện tích vòng dây đó. Người xây dựng phải xem xét độ lớn của điện áp cảm ứng này và đảm bảo điện áp đó không vượt quá mức chịu đựng của cáp và thiết bị kèm theo.

Sơ đồ dưới đây cho thấy một vòng dây chạy bên cạnh dây dẫn mang dòng. Điện áp U sẽ tỷ lệ thuận với tốc độ thay đổi của từ trường (xem Hình G.2).



Hình G.2 – Cơ chế cảm ứng từ

TCVN 10687-24:2015

Điều này có thể được biểu diễn bằng công thức sau:

$$U = \frac{d\phi}{dt} \quad (G.2)$$

trong đó:

ϕ [Wb] từ thông liên kết vòng;

U [V] điện áp cảm ứng trong vòng dây.

Có thể biểu diễn tổng từ thông dẫn qua vòng dây là:

$$\phi = \frac{\mu_0 l I}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{d+w}{d} \right) \right] \quad (G.3)$$

Do đó, điện áp cảm ứng trong vòng dây là:

$$U = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \left(\frac{d+w}{d} \right) \cdot \frac{di}{dt} = M \cdot \frac{di}{dt} \quad (G.4)$$

trong đó:

μ_0 là độ dẫn từ của không khí và các kích thước khác như đã được đưa ra trên sơ đồ;

M [H/m] hồ cảm giữa vòng dây và dây dẫn mang dòng.

Khi vòng dây là kín, dòng điện được cảm ứng trong vòng dây là:

$$I = \frac{\int u dt}{L} \quad (G.5)$$

trong đó:

L là tự cảm của vòng dây;

u điện áp vòng dây hở.

Xem IEC 62305-4 về một thảo luận chi tiết của các điện áp và dòng điện cảm ứng.

Điện áp này sẽ là một ví dụ về điện áp vi sai, tức là điện áp cảm ứng giữa hai dây trong hệ thống. Để ngăn chặn điện áp cảm ứng bên trong dây dẫn điện, rõ ràng là việc giảm đỉnh thay đổi của từ trường dẫn qua một vòng dây và giảm tiết diện vòng dây sẽ dẫn đến điện áp cảm ứng thấp hơn. Điều này có thể đạt được theo các cách:

- tăng khoảng cách giữa các dây dẫn mang dòng và mạch điện: Phương pháp giảm điện áp cảm ứng này sẽ làm việc, nhưng không thể thường có bên trong đường biên của một tuabin gió. Tuy nhiên, nếu có thể thiết lập một đường dẫn dòng điện sét thích hợp, như bên trong vỏ tuabin, thì có thể xem xét lại vị trí của dây dẫn cho tuabin gió;
- sử dụng cáp đôi xoắn: việc sử dụng cáp đôi xoắn sẽ làm giảm mức điện áp cảm ứng. Điều này là do giảm hiệu quả về diện tích - mà qua đó từ trường dẫn tới "không". Do đó, hệ thống cáp đôi xoắn sẽ làm giảm điện áp phương thức vi sai, nhưng điện áp phương thức chung có thể vẫn còn tồn tại;

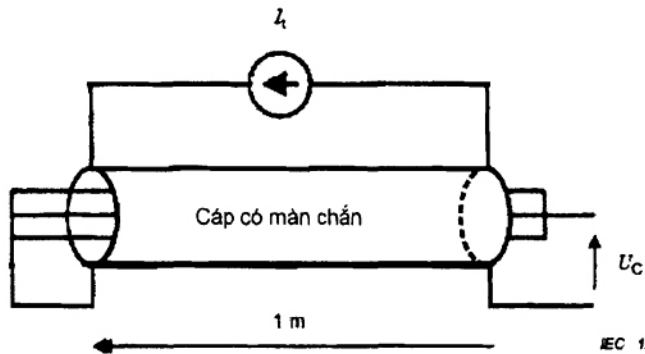
- sử dụng màn chắn: việc đặt dây dẫn trong các ống thép hoặc ống dẫn kim loại là tốt vì các cáp này sẽ có màn chắn rất hiệu quả tránh từ trường. Việc sử dụng cáp có màn chắn cũng cung cấp hiệu ứng tương tự cho các dây dẫn nằm trong các màn chắn. Điều quan trọng cần lưu ý là mặc dù bảo vệ chỉ có thể khi cả hai đầu của màn chắn/ống/ống dẫn được liên kết trực tiếp. Nếu không, nói cách khác nếu chỉ có một đầu màn chắn/dây dẫn được liên kết, thì sẽ không có bảo vệ chống ghép nối cảm ứng/ghép nối từ.

Trong hầu hết các trường hợp, màn chắn cáp sẽ cung cấp bảo vệ tốt đối với xung LEMP. Màn chắn phải được liên kết đúng (kết nối 360° với bộ máy thiết bị) ở cả hai đầu để làm việc như mong đợi.

Nếu cáp dài hoặc các xung dòng cao, các tính toán sẽ cho thấy điện áp cảm ứng giữa màn chắn và dây dẫn sẽ cao. Nếu thiết bị được nối với cáp không thể chịu được các xung điện áp cao này thì việc bảo vệ phải được kết hợp với SPD. Điều này có thể là tình huống giữa đế cột tháp và vỏ tuabin.

Dòng điện sét sẽ chạy trong màn chắn của cáp có màn chắn. Dòng điện sẽ cảm ứng điện áp giữa các dây và màn chắn. Giá trị điện áp này có thể được tính theo trở kháng truyền.

Nếu tín hiệu trong cáp có màn chắn quá nhạy, có thể cần có SPD để bảo vệ dây dẫn.



Hình G.3 – Đo trở kháng truyền

Đo trở kháng truyền có thể thực hiện theo IEC 62153-4-3 khi một dòng điện được cấp vào màn chắn, khi chiều dài cáp được biết và nếu dây dẫn và vỏ không bị ngắn mạch ở một đầu của cáp, thì điện áp có thể được đo ở đầu kia của cáp (xem Hình G.3).

Với dòng thử nghiệm đã biết I_t và điện áp U_c , trở kháng truyền có thể được tính theo:

$$Z_T = \frac{U_c}{I_t} \tag{G.6}$$

có thể được sử dụng để tính toán điện áp giữa màn chắn và dây theo:

$$U_c = I_t \cdot Z_T \tag{G.7}$$

TCVN 10687-24:2015

trong đó

U_c [V] là điện áp giữa màn chắn và các dây dẫn;

l [m] là chiều dài cáp;

I_t [A] dòng điện trong màn chắn;

Z_T [Ω] trở kháng truyền.

Khi cáp được lắp đặt, sụt điện áp sẽ được phân giữa các trở kháng tương đương ở hai đầu của cáp và do đó ảnh hưởng tới các đầu của thiết bị được nối. Ước tính sơ bộ rằng điện áp tính được sẽ được chia đôi giữa hai đầu cáp.

Trong trường hợp cáp điện lực được bảo vệ có các kết nối trở kháng thấp giữa các dây pha và màn chắn/đất, dòng điện sét sẽ được chia giữa màn chắn và các dây pha. Kết nối trở kháng thấp như vậy có thể là SPD để bảo vệ chống quá áp giữa các dây pha và màn chắn/đất ở hai đầu của cáp. Tình huống này sẽ cần phải xem xét đối với cáp điện lực kết nối tuabin gió vào lưới.

IEC 62305-2 Phụ lục D đưa ra chỉ dẫn về cách đánh giá dòng điện sự cố cho các cáp được bảo vệ (tức là mức dòng điện sét dẫn trong màn chắn cáp mà sẽ gây ra hỏng hóc do đánh thủng cách điện cáp).

Phụ lục H

(tham khảo)

Phương pháp thử nghiệm cho các thử nghiệm miễn nhiễm cấp hệ thống

Áp dụng các phương pháp thử nghiệm sau cho các thử nghiệm độ miễn nhiễm cấp hệ thống.

– thử nghiệm dòng phóng điện SPD trong các điều kiện vận hành:

a) Trước khi thử nghiệm miễn nhiễm cấp hệ thống:

Thiết bị được bảo vệ, miễn nhiễm của mỗi thiết bị phải được xác định bằng cách áp dụng các phương pháp theo IEC 6100-4-5. Hiệu ứng bảo vệ của SPD phải được xác định với các quy trình thử nghiệm theo IEC 61643-1.

b) Trong thử nghiệm hệ thống thông thường, thiết bị cần bảo vệ được thử nghiệm trong điều kiện vận hành, tức là các thiết bị được kích hoạt và kết nối với nguồn cung cấp điện áp danh định của nó và chịu ứng suất với các tham số dòng phóng danh định của các SPD. Nếu có thể, phải nối các mạch bổ sung, như các đường dây viễn thông, cảm biến, động cơ.

c) Hình H.1 đưa ra một mạch ví dụ của một thử nghiệm dòng phóng điện SPD trong các điều kiện vận hành có các SPD cấp II và hệ thống kiểm soát độ xoay cánh của tuabin gió.

– thử nghiệm cảm ứng do dòng điện sét:

a) Các dòng điện xung phải được dẫn vào tấm lắp đặt bằng kim loại xác định để xem xét đáp ứng của hệ thống hoàn chỉnh trong một trường điện từ được phát ra bởi các dòng điện sét.

b) Hệ thống đang thử nghiệm phải được lắp đặt càng giống thực tế càng tốt.

Lắp ráp được mô phỏng phải có thiết bị riêng, tất cả các SPD được lắp đặt, chiều dài thực và loại đường dây giao nhau.

c) Theo dõi kết quả các dòng điện xung được cảm ứng trong cáp của hệ thống hoàn chỉnh.

d) Các giá trị đặc trưng và có thể áp dụng của dòng điện sét chính phải được lấy từ IEC 62305-1, Bảng C.3.

e) Hình H.2 đưa ra một mạch ví dụ về một thử nghiệm cảm ứng do các dòng điện sét có SPD cấp II với nguồn cung cấp và SPD cho thiết bị điều khiển một hệ thống kiểm soát độ xoay cánh của tuabin gió

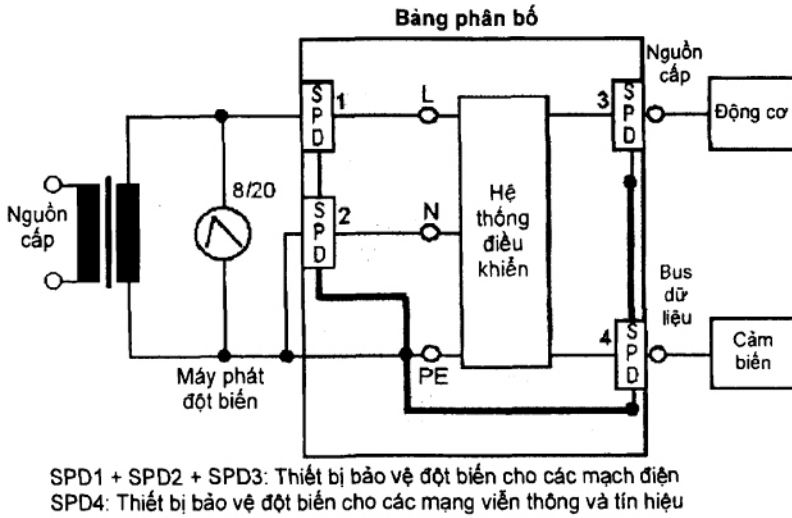
△ phân loại thử nghiệm khuyến cáo của thử nghiệm miễn nhiễm cấp hệ thống (theo IEC 61000-4-5):

a) Tính năng thông thường trong các giới hạn được quy định bởi nhà chế tạo.

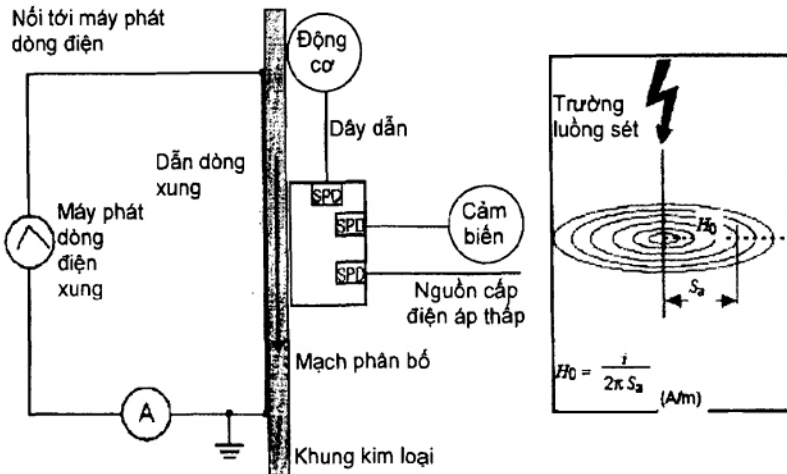
b) Dừng tổn thất tạm thời về chức năng hoặc suy giảm tính năng sau khi không còn nhiễu và từ đó thiết bị thử nghiệm phục hồi tính năng thông thường mà không cần sự can thiệp của người vận hành.

TCVN 10687-24:2015

- c) Tổn thất tạm thời về chức năng hoặc suy giảm tính năng, cần có điều chỉnh từ sự can thiệp của người vận hành.
- d) Tổn thất về chức năng hoặc suy giảm tính năng mà không thể phục hồi do thiệt hại phần cứng hoặc phần mềm hay tổn thất dữ liệu.



Hình H.1 – Ví dụ về mạch thử nghiệm dòng phóng điện SPD trong các điều kiện vận hành



Hình H.2 – Ví dụ mạch thử nghiệm cảm ứng do các dòng điện sét

Phụ lục I

(tham khảo)

Hệ thống đầu thu sét

I.1 Qui định chung

I.1.1 Các loại hệ thống đầu thu sét

Đối với các tuabin gió lớn sẽ luôn có một kết cấu móng mở rộng trong đó kết hợp một lượng lớn thép có kích thước lớn. Thép trong kết cấu móng thường được sử dụng cho các mục đích tiếp đất như một hệ thống nối đất móng, bởi vì làm như vậy sẽ có trở kháng nối đất thấp nhất có thể.

Trong trường hợp các nhà thiết kế LPS chọn để cài đặt một hệ thống nối đất tách biệt với các điện cực đất, vẫn cần thiết để đảm bảo liên kết thích hợp cho thép móng, khi không chế dòng điện sét dẫn vào móng thép sẽ rất khó khăn, và khi chênh lệch điện áp giữa hệ thống nối đất tách biệt và móng thép có thể gây nguy hiểm ví dụ như bê tông bao phủ cốt thép của một nền móng.

Các nhà thiết kế LPS và nhà lắp đặt LPS sẽ chọn các loại điện cực phù hợp. Các nhà thiết kế LPS và nhà lắp đặt LPS phải xem xét bảo vệ chống lại điện áp bước nguy hiểm trong vùng lân cận của các mạng lưới đầu nối đất nếu chúng được lắp đặt trong khu vực có thể tiếp cận công cộng.

Điện cực đất được đóng cọc sâu có thể có hiệu quả trong trường hợp đặc biệt làm giảm điện trở đất với độ sâu và nơi lớp nền ở một độ sâu có điện trở suất thấp lớn hơn so với giá trị mà điện cực thanh được đóng cọc bình thường.

Trong trường hợp bê tông dự ứng lực, phải cân nhắc đến hậu quả của đường dẫn dòng điện sét đánh mà có thể sinh ra các ứng suất cơ học không thể chấp nhận.

Hai loại bố trí điện cực đất cơ bản xem xét trong IEC 62305-3.

Bố trí kiểu A: điện cực ngang hoặc dọc được nối tới không ít hơn hai dây dẫn sét. Loại A có thể được sử dụng cho các tòa nhà nhỏ (ví dụ độ dốc tính toán hoặc thực tế trong kết nối đến một trang trại gió).

CHÚ THÍCH 1: Để biết thêm thông tin về bố trí kiểu A, xem IEC 62305-3, 5.4.2.1 và E.5.4.2.1

Bố trí kiểu B: Một hoặc nhiều dây dẫn vòng bên ngoài hoặc điện cực đất tự nhiên được xây dựng trong kết cấu. Bố trí kiểu này bao gồm hoặc một điện cực đất vòng bên ngoài tiếp xúc với đất ít nhất 80 % tổng chiều dài của nó hoặc một điện cực đất móng. Các bố trí kiểu B được sử dụng cho các tuabin gió.

CHÚ THÍCH 2: Để biết thêm thông tin về bố trí kiểu B, xem IEC 62305-3, 5.4.2.2 và E.5.4.2.2.

TCVN 10687-24:2015

1.1.2 Kết cấu

1.1.2.1 Các điện cực đất móng

Một điện cực đất móng bao gồm các dây dẫn đã được lắp đặt trong móng của kết cấu bên dưới mặt đất. Chúng có lợi thế là đang được bảo vệ chống ăn mòn đầy đủ nếu bê tông có chất lượng đồng nhất tốt và phủ các điện cực đất móng ít nhất 50 mm.

Các kim loại được sử dụng cho các điện cực đất phải phù hợp với vật liệu được liệt kê trong IEC 62305-3, Bảng 7, và luôn tính đến tác động ăn mòn kim loại trong đất. Một số chỉ dẫn được đưa ra trong IEC 62305-3, 5.6. Khi chỉ dẫn cho các loại đất cụ thể không có sẵn, kinh nghiệm với hệ thống đầu thu sét trong các xưởng lân cận có đất thể hiện tính chất tương tự phải được xác định. Khi các hố móng cho điện cực đất được điền đầy lại, phải thực hiện cẩn thận để không có tro, than đá hoặc đá xây dựng được tiếp xúc trực tiếp với điện cực đất. Nếu điện trở suất đất rất cao, phải thực hiện biện pháp để giảm điện trở đất. Đề nghị sử dụng các điện cực có diện tích bề mặt lớn hơn, như bằng cách sử dụng các dạng lưới đan của dây dẫn trong hố móng thay vì các điện cực đơn hoặc bằng cách sử dụng vật liệu đổ móng dẫn điện để cải thiện tiếp xúc điện cực với đất trong hố móng và hố khoan. Ăn mòn phải được xem xét khi sử dụng vật liệu cải thiện đất.

Thép đưa vào trong bê tông có xấp xỉ điện thế điện hóa cùng trong dây điện hóa như đồng trong đất. Vì vậy, khi thép trong bê tông được nối với thép trong đất, một điện thế điện hóa kéo theo khoảng 1 V gây ra một dòng điện ăn mòn dẫn qua đất và bê tông ướt và hòa tan thép trong đất.

Do đó, dây dẫn bằng đồng hoặc thép không gỉ được sử dụng cho các điện cực đất trong đất, nơi chúng được nối với thép được gắn trong bê tông.

Tại đường bao chu vi kết cấu, một dây dẫn kim loại phù hợp với IEC 62305-3, Bảng 7 phải được lắp đặt nối cột tháp vào kim loại của móng với đường dẫn ngắn nhất có thể.

Trong khi lắp đặt, lợi thế đo điện trở nối đất thường xuyên. Các dẫn động cho các điện cực có thể bị gián đoạn ngay khi trở kháng nối đất ngừng giảm. Các điện cực bổ sung sau đó có thể được lắp đặt tại các vị trí khác mà tác động tới trở kháng nối đất tốt hơn. Đề xuất theo dõi các phép đo mỗi điện cực trong hệ thống bảo đảm chất lượng QA.

Điện cực đất phải được tách biệt vừa đủ với cáp hiện có, ống kim loại, v.v.... Trong đất, và dung sai thích hợp phải được thực hiện đối với điện cực đất khởi phát từ vị trí dự định của nó trong quá trình dẫn động. Khoảng cách tách biệt phụ thuộc vào độ lớn xung điện và điện trở suất của đất và dòng điện trong điện cực.

Nếu có nguy hiểm tăng trở kháng gần bề mặt (như nhờ sấy khô), thường cần thiết để sử dụng các điện cực đất cắm sâu có chiều dài lớn hơn.

Điện cực đất xuyên tâm sẽ được lắp đặt ở độ sâu 0,5 m hoặc sâu hơn. Tăng độ sâu chôn chìm của điện cực đảm bảo ở các nước có nhiệt độ thấp vào mùa đông, điện cực đất không nằm trong đất đóng băng (mà có độ dẫn điện rất thấp). Các điện cực đứng được ưa thích để đạt được trở kháng đất theo

mùa ổn định. Một lợi ích nữa là các điện cực đất sâu hơn dẫn đến giảm sự chênh lệch điện áp ở mặt đất và do đó các điện áp bước thấp hơn làm giảm nguy hiểm cho sinh vật trên mặt đất.

1.1.2.2 Điện cực đất vòng loại B

Nếu cần giảm trở kháng đất thông thường, bố trí nối đất loại B có thể cải thiện, bằng cách thêm các điện cực đất đứng hoặc điện cực đất xuyên tâm. Hình 1.1 đưa ra các yêu cầu về độ dài tối thiểu của các điện cực đất.

Giới hạn cho phép và độ sâu đối với điện cực đất loại B là tối ưu trong điều kiện đất thường để bảo vệ con người trong vùng lân cận tuabin gió. Ở các nước có nhiệt độ mùa đông thấp, độ sâu thích hợp của các điện cực đất cần được xem xét.

Nơi thường xuyên có số người tập trung lớn trong khu vực tiếp giáp với tuabin gió phải được bảo vệ, kiểm soát điện thế mở rộng cho các khu vực như vậy sẽ được cung cấp. Lắp đặt nhiều điện cực vòng đất hơn ở những khoảng cách hợp lý từ các dây dẫn vòng đầu tiên và tiếp theo. Các điện cực vòng đất này sẽ được nối với dây dẫn vòng đầu tiên bằng dây dẫn xuyên tâm.

1.1.2.3 Điện cực đất trong đất đá

Trong khi xây dựng một điện cực đất móng được xây bên trong móng bê tông.

Ngay cả trong đất đá, nơi mà điện cực đất móng có hiệu ứng nối đất giảm, nó vẫn hoạt động như một mặt phẳng đẳng thế ghép nối dòng điện sét với đất.

Các điện cực đất xuyên tâm nằm trên hoặc gần bề mặt đất có thể được bao phủ bởi đá, sỏi hoặc gắn vào trong bê tông để bảo vệ cơ khí.

Khi tuabin gió nằm gần một con đường, nếu có thể một điện cực đất vòng phải nằm bên dưới con đường. Tuy nhiên, không thể trên toàn bộ chiều dài của đoạn đường chịu tác động, cung cấp kiểm soát đẳng thế như vậy ít nhất là trong vùng lân cận các điện cực đất.

Để kiểm soát điện thế trong các trường hợp đặc biệt, phải quyết định xem liệu có lắp một phần vòng bổ sung trong vùng lân cận lối vào tuabin gió, hoặc tăng điện trở suất nhân tạo cho lớp đất bề mặt (ví dụ bằng cách thêm một lớp sỏi).

1.2 Hình dáng kích thước điện cực

1.2.1 Kiểu bố trí

Một bố trí kiểu A bao gồm các điện cực đất ngang hoặc đứng được lắp bên ngoài kết cấu được bảo vệ và nối với mỗi dây dẫn sét. Tổng số điện cực đất sẽ không ít hơn hai.

Chiều dài tối thiểu của mỗi điện cực tại nền của mỗi dây dẫn sét là:

- l_1 với các điện cực nằm ngang, hoặc
- $0,5 l_1$ với các điện cực đứng (hoặc nghiêng).

TCVN 10687-24:2015

Trong đó l_1 là chiều dài tối thiểu của các điện cực ngang chỉ trên Hình I.1.

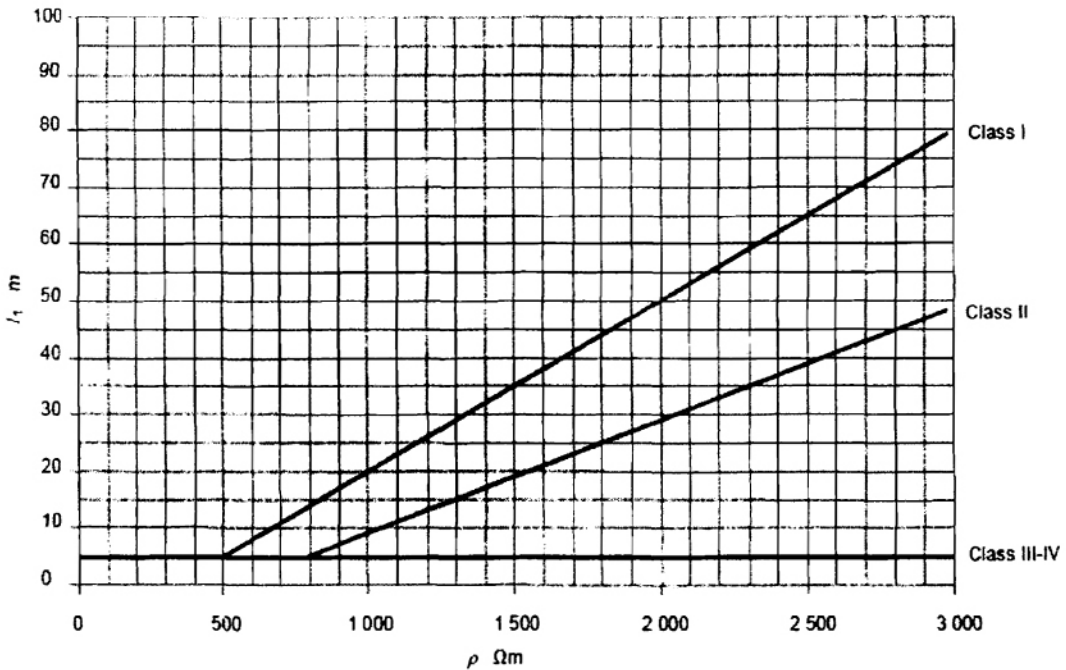
Chiều dài tối thiểu (l_1) của điện cực đất dựa trên cấp bảo vệ chống sét (I-IV) và trên điện trở suất đất.

Đối với các điện cực kết hợp (đứng hoặc ngang), tổng chiều dài điện cực phải được xem xét.

Chiều dài tối thiểu đã được công bố l_1 có thể được bỏ qua nếu trở kháng đất của hệ thống nối đất nhỏ hơn 10Ω được đo tại một tần số khác với tần số điện (50 Hz đến 60 Hz) và các sóng hài bậc thấp này.

Đối với bố trí sắp xếp loại A trong đất có điện trở suất nhỏ hơn $500 \Omega\text{m}$, chiều dài tối thiểu là 5 m đối với hai điện cực ngang hay là 2,5 m đối với hai điện cực đứng.

Đối với điện trở suất đất cao hơn $500 \Omega\text{m}$, chiều dài tối thiểu (l_1) tăng tuyến tính tới 80 m tại điện trở suất $3\,000 \Omega\text{m}$.



Hình I.1 – Chiều dài tối thiểu (l_1) của mỗi điện cực đất theo cấp của hệ thống LPS
(Hình 2 trong IEC 62305-3)

Do các thành phần tần số cao của dòng điện sét, một chiều dài hơn 80 m, độc lập với điện trở đất, không làm giảm tổng trở kháng thêm nữa.

Một bố trí kiểu B bao gồm hoặc một dây dẫn vòng bên ngoài kết cấu được bảo vệ, tiếp xúc với đất ít nhất là 80 % tổng chiều dài của nó, hoặc một điện cực đất móng. Các điện cực đất như vậy cũng có thể được đan lưới.

Đối với điện cực đất vòng (hoặc điện cực đất móng), bán kính trung bình (r_e) của diện tích được bao quanh bởi điện cực đất vòng (hoặc điện cực đất móng) phải không được nhỏ hơn giá trị l_1 :

$$r_e \geq l_1 \quad (1.1)$$

Trong đó, l_1 được biểu diễn trên Hình 1.1 theo các cấp hệ thống LPS I, II, III và IV. Khi giá trị l_1 đã yêu cầu lớn hơn giá trị r_e thuận tiện, các điện cực đứng và ngang (hoặc nghiêng) bổ sung phải được thêm vào với các chiều dài riêng l_r (ngang) và l_v (đứng) đưa ra bởi các công thức sau:

$$l_r = l_1 - r_e \quad (1.2)$$

$$l_v = (l_1 - r_e)/2 \quad (1.3)$$

Số điện cực không nhỏ hơn hai.

Các điện cực bổ sung phải được nối càng cách đều nhau càng tốt.

Thông tin về điện trở suất đất, dòng nối đất lỗi dự kiến và thời gian cho phép là vô cùng quan trọng cho kế hoạch thiết kế và lắp đặt chính xác hệ thống nối đất.

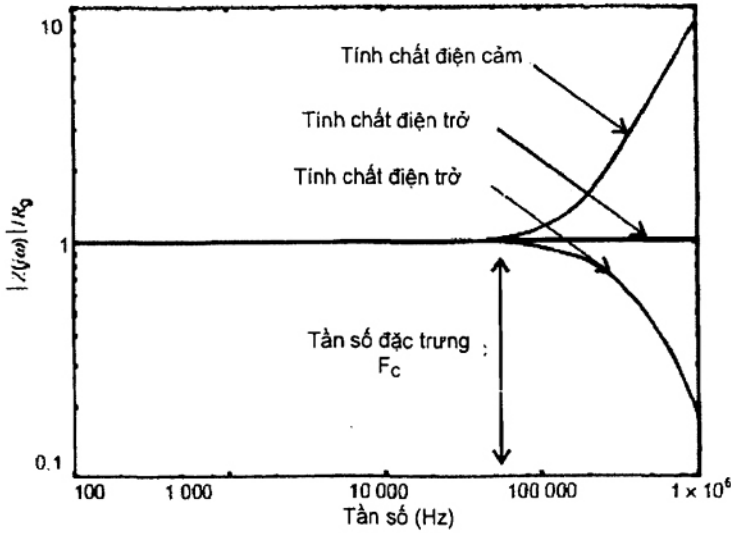
Điện trở suất đất sẽ khác nhau rất nhiều phụ thuộc vào đặc trưng của đất.

Ví dụ:

Đối với mức LPL I và $\rho = 1500 \Omega\text{m}$, Hình 1.1 cho một chiều dài điện cực đất tối thiểu $l_1 = 35 \text{ m}$. Trong trường hợp điện cực đất vòng có bán kính $r_e = 10$, hai điện cực ngang có chiều dài riêng là $l_r = 35 \text{ m} - 10 \text{ m} = 25 \text{ m}$ hay hai điện cực đứng $l_v = (35 \text{ m} - 10 \text{ m})/2 = 12,5 \text{ m}$ sẽ được thêm vào.

1.2.2 Tần số phụ thuộc trở kháng đất

Các phép đo hệ thống nối đất thường được thực hiện với tần số thấp, kết quả thu được là một điện trở, nhưng nhà thiết kế hệ thống nối đất phải nhận ra rằng do tần số sét đánh cao (lớn hơn 1 MHz), đáp ứng xung trở kháng điện cực có thể cao hơn hoặc thấp hơn giá trị đo được ở tần số thấp. Tính chất điện cực (điện dung, điện cảm hay điện trở) phụ thuộc vào hình dáng điện cực, điện trở suất đất và điểm mà dòng điện sét dẫn vào.



Hình I.2 – Tần số phụ thuộc trở kháng đất (phòng theo Cigré WG C.4.4.02 July 2005 [49])

Hình I.2 biểu diễn sự phụ thuộc điển hình vào trở kháng đất, tỷ số của hệ số trở kháng ($Z(j\omega)$) và trở kháng đất tần số thấp (R_g). Có hai giới hạn tần số: Giới hạn tần số thấp (LF) cỡ khoảng 50 kHz, trong đó trở kháng gần như là hằng số và bằng với điện trở, và giới hạn tần số cao (HF) trên 50 kHz, trong đó trở kháng thay đổi theo tần số và có thể cao hơn hoặc thấp hơn giá trị điện trở đo được. Tính chất động của điện cực đất chịu các xung dòng điện sét là một vấn đề quan trọng nhất (tức là tỷ số giữa các giá trị điện áp và dòng điện dẫn vào tối đa)

Tính chất điện trở và điện dung có lợi thế do trở kháng nối đất HF bằng hoặc nhỏ hơn so với LF. Thông thường, tính chất điện dung là điển hình cho hệ thống nối đất với điện cực lưới chia nhánh bao phủ một khu vực mà trong đó hệ thống nối đất có vài điện cực dài hầu hết là có tính chất điện cảm. Việc sử dụng nhiều bố trí nối đất cải thiện hiệu quả xung như chỉ trong Bảng I.1. Tuy nhiên, trong thực tế, không phải là luôn có thể sử dụng điện cực nhỏ để đáp ứng các yêu cầu theo tiêu chuẩn về các giá trị trở kháng thấp. Các thanh ngang có hiệu quả khá thấp ở tần số điện lưới so với thanh đứng, nhưng có hiệu quả xung tốt hơn.

Bảng I.1 – Hiệu quả xung của nhiều bố trí thanh nối đất liên quan đến thanh nối đất thẳng đứng 12 m (100 %) (phòng theo Cigré WG C.4.4.02 tháng 7/2005)

Bố trí thanh nối đất						
Phần trăm	100	95	85	85	80	70

1.3 Giải thích trở kháng nổi đất theo các cấu hình điện cực khác nhau

Áp dụng tiêu chuẩn cho hầu hết các thiết kế hệ thống nổi đất được sản xuất khi sử dụng một số hình thức phần mềm tính toán vì điều này có khả năng phân tích chính xác sự tương tác giữa nhiều yếu tố thường được sử dụng trong các hệ thống như vậy. Một số hệ thống này có khả năng phân tích đáp ứng của hệ thống nổi đất đối với các dòng điện biến động tức thời như chúng là kết quả của sét. Các công cụ như vậy sẽ thường cho kết quả chính xác nhất. Trong trường hợp không có sẵn các công cụ như vậy, có thể sử dụng công thức để đơn giản hóa các cấu hình và kết hợp điện trở đất được liệt kê theo Bảng 1.2 để 1.6.

Bảng 1.2 – Các ký hiệu được sử dụng trong các Bảng 1.3 đến 1.6

ρ [Ωm]	điện trở suất đất	a_{12} [m]	khoảng cách giữa các cọc
n	số dây xuyên tâm	d [m]	độ sâu chôn xuống
L [m]	chiều dài của mỗi dây xuyên tâm	R [Ω]	điện trở điện cực
a [m]	bán kính của dây xuyên tâm	D [m]	đường kính điện cực vòng
s [m]	khoảng cách đều giữa các cọc	e	2,718
		π	3,1415

Bảng I.3 – Công thức cho các cấu hình điện cực đất khác nhau

<p>Điện cực chôn thẳng ngang</p> $R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{2ad}} - 1 \right)$ <p>khi $d \ll L$</p> <p style="text-align: right;">I.4</p>	<p>Hai điện cực cọc dài bằng nhau tách biệt với khoảng cách a_{12}</p> $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 + \frac{L}{a_{12}} \right)$ <p>khi $a_{12} \gg L$</p> <p style="text-align: right;">I.8</p>
<p>n điện cực chôn chìm bức xạ đối xứng từ một điểm chung</p> $R = \frac{\rho}{n\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{2ad}} - 1 + \sum_{m=1}^{n-1} \ln \frac{1 + \sin\left(\frac{\pi m}{n}\right)}{\sin\left(\frac{\pi m}{n}\right)} \right)$ <p>CHÚ THÍCH: Trong công thức trên, giả thiết rằng góc giữa hai điện cực liền kề là như nhau, do đó, trong trường hợp $n = 2$, các điện cực mở rộng theo hướng ngược nhau từ một điểm chung. Tất cả các dây dẫn mang dòng như nhau.</p> <p style="text-align: right;">I.5</p>	<p>n thanh nối đất có chiều dài bằng nhau được sắp xếp cách đều nhau trên một vòng tròn có đường kính D nhỏ hơn so với chiều dài của các thanh</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{\sqrt[n]{na \left(\frac{D}{2}\right)^{n-1}}} - 1 \right)$ <p>Khi $D \ll L$</p> <p>CHÚ THÍCH: n thanh nối đất được nối qua một cáp cách ly.</p> <p style="text-align: right;">I.9</p>
<p>Điện cực thanh đứng</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$ <p>Khi $L \gg a$</p> <p style="text-align: right;">I.6</p>	<p>n thanh nối đất bằng nhau được sắp xếp cách đều nhau trên một vòng tròn có đường kính D với khoảng cách đều giữa các thanh lân cận bằng hoặc lớn hơn chiều dài của một thanh</p> $R = \frac{\rho}{2n\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 + \frac{L}{D} \sum_{m=1}^{n-1} \ln \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi m}{n}\right)} \right)$ <p style="text-align: right;">I.10</p>
<p>Hai điện cực thanh có chiều dài bằng nhau tách nhau một khoảng cách a_{12}.</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{\sqrt{aa_{12}}} - 1 \right)$ <p>Khi $a_{12} \ll L$</p> <p style="text-align: right;">I.7</p>	<p>Điện cực vòng chôn chìm</p> $R = \frac{\rho}{\pi^2 L} \ln \frac{4D}{\sqrt{2ad}}$ <p style="text-align: right;">I.11</p>

Bảng I.4 – Công thức cho điện cực vòng chôn chìm kết hợp các thanh dọc

Điện cực vòng chôn chìm để dây trần	$R_1 = \frac{\rho}{\pi^2 L} \ln \frac{4D}{\sqrt{2ad}}$	I.12
n thanh nối đất chiều dài bằng nhau được bố trí trên một vòng tròn đường kính D với khoảng cách giữa các thanh lân cận bằng hoặc lớn hơn chiều dài mỗi thanh	$R_2 = \frac{\rho}{2n\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 + \frac{L}{D} \sum_{m=1}^{n-1} \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi m}{n}\right)} \right)$	I.13
Điện trở đất tương hỗ giữa điện cực vòng và n thanh nối đất được bố trí trên một vòng tròn có đường kính D	$R_3 = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{4D}{\sqrt{2\frac{L}{e}d}}$	I.14
Điện trở kết hợp	$R = \frac{R_1 R_2 - R_3^2}{R_1 + R_2 - 2R_3}$	I.15

Bảng I.5 – Công thức cho điện cực vòng chôn chìm kết hợp các điện cực xuyên tâm

Điện cực vòng chôn chìm để dây trần	$R_1 = \frac{\rho}{\pi^2 L} \ln \frac{4D}{\sqrt{2ad}}$	I.16
n điện cực xuyên tâm chôn chìm bức xạ ngang và đối xứng từ một điểm chung	$R_2 = \frac{\rho}{2n\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{2ad}} - 1 + \sum_{m=1}^{n-1} \ln \frac{1 + \sin\left(\frac{\pi m}{n}\right)}{\sin\left(\frac{\pi m}{n}\right)} \right)$	I.17
Điện trở đất tương hỗ giữa điện cực vòng và n điện cực xuyên tâm chôn chìm bức xạ đối xứng từ một điểm chung.	$R_3 = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{4D}{\sqrt{2\frac{L}{e}d}}$	I.18
Điện trở kết hợp	$R = \frac{R_1 R_2 - R_3^2}{R_1 + R_2 - 2R_3}$	I.19

Bảng I.6 – Công thức cho điện cực ngang thẳng chôn chìm kết hợp các thanh đứng

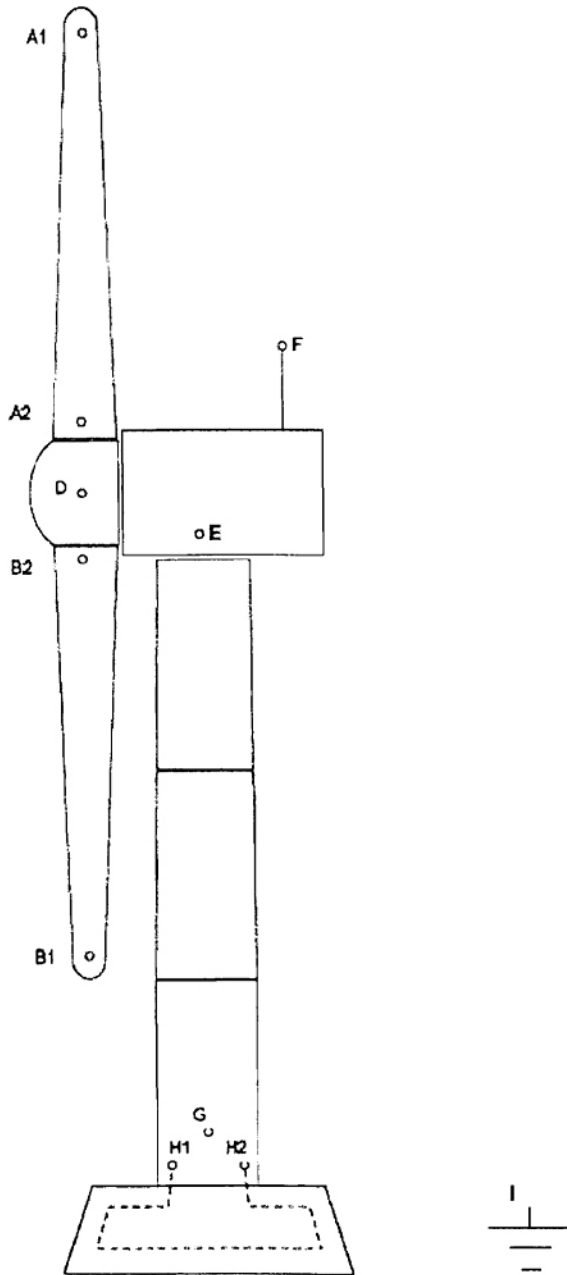
Điện cực ngang thẳng chôn chìm để dây trần	$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left(\ln \frac{2L_c}{\sqrt{2ad}} - 1 \right)$ Khi $d \ll L_c$	I.20
Điện cực thanh đứng	$R_r = \frac{\rho}{2\pi L_p} \left(\ln \frac{4L_p}{a} - 1 \right)$ Khi $L_p \gg a$	I.21
n điện cực thanh đứng nối với một cáp cách ly	$R_2 = \frac{R_r}{n} + \frac{\rho}{n\pi s} \sum_{m=2}^n \frac{1}{m}$	I.22
Điện trở đất tương hỗ giữa điện cực ngang thẳng và n thanh đứng	$R_3 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left(\ln \frac{2L_c}{\sqrt{2\frac{L}{e}d}} - 1 \right)$	I.23
Điện trở kết hợp	$R = \frac{R_1 R_2 - R_3^2}{R_1 + R_2 - 2R_3}$	I.24

Phụ lục J

(tham khảo)

Ví dụ về các điểm đo xác định

Ví dụ xác định các điểm đo được đưa ra trong Hình J.1.



Hình J.1 – Ví dụ các điểm đo

Theo ví dụ này, có thể thực hiện các điểm đo sau (xem Bảng J.1):

Bảng J.1 – Các điểm đo và trở kháng cần ghi lại

Điểm đo	Mô tả	Điểm đo	Mô tả	Điện trở Ω
A1	Điểm đầu thu sét ở đầu cánh A	A2	Dây dẫn sét ở cổ cánh A	
B1	Điểm đầu thu sét ở đầu cánh B	B2	Dây dẫn sét ở cổ cánh B	
A2	Dây dẫn sét ở cổ cánh A	D	Bộ động cơ hub	
B2	Dây dẫn sét ở cổ cánh B	D	Bộ động cơ hub	
D	Bộ động cơ hub	E	Bộ vỏ tuabin – hoặc thanh nối đất	
F	Dây thu sét bảo vệ các thiết bị đo gió	E	Bộ vỏ tuabin – hoặc thanh nối đất	
E	Bộ vỏ tuabin – hoặc thanh nối đất	G	Thanh nối đất ở bên dưới cột tháp	
H1	Điểm nối đất 1 tới điện cực móng	H2	Điểm nối đất 2 tới điện cực móng	
G1	Thanh nối đất ở bên dưới cột tháp	I	Đất từ xa	

Phụ lục K

(tham khảo)

Bảng câu hỏi thiết hại sét đánh điển hình

1. Nhà chế tạo tuabin gió:

Nhà vận hành tuabin gió:

2. Loại tuabin gió (mô tả chung):

3. Thông số kỹ thuật tuabin gió cụ thể:

Tốc độ: kW Chiều cao hub: Đường kính động cơ: m

Ngày lắp đặt: Chú thích khác:

4. Vị trí tuabin:

Vị trí chính xác (như theo tọa độ GPS):

Tuabin gió đơn Tuabin gió trong trang trại gió có số tuabin gió

Bờ biển Gần bờ biển Ngoài khơi Trên đất liền

Đất được nâng cao (chiều cao so với mặt biển): m

Chú thích khác:

5. Các điều kiện thời tiết:

Đông bão Gió: m/s

Nhiệt độ: °C Điều kiện khác:

Mưa (mức độ nghiêm trọng nếu biết): Các chú thích khác:

6. Thời gian xảy ra sự cố:

Ngày: Giờ: Khoảng thời gian chính xác:

Chú thích khác:

7. Các điểm nghi ngờ sét đánh:

Các cánh Vô tuabin Thiết bị khí tượng

Cột tháp Dây dẫn sét vỏ tuabin Điểm khác:

Chú thích khác:

8. Các bộ phận bị thiệt hại:

Hub Động cơ Vòng bi trục chính Vòng bi xoay cánh

- Vòng bi lệch Vòng bi máy phát Vòng bi trục bánh răng Các bánh răng
 Máy phát Hệ thống điều khiển Hệ thống SCADA Hệ thống điện
 Khác: Chú thích khác:

9. Hậu quả thiệt hại do sét:

- Tổn thất thời gian sản xuất: giờ Chi phí sửa chữa (đồng tiền quốc gia):
 Chi phí tổn thất sản xuất điện (đồng tiền quốc gia):
 Chú thích khác:

10. Chi tiết hệ thống bảo vệ chống sét cho tuabin (trừ các cánh):

- Không có Điện cực đất vòng Điện cực đất móng
 Hệ thống đầu thu sét (loại/vị trí):
 Các dây dẫn sét (loại/vị trí):

Bảo vệ quá áp/đột biến điện:

- Không có Kết nối điện đầu vào
 Máy phát Các đường dữ liệu ngoài
 Các đường điều khiển bên trong Các đường điện thoại
 Chú thích khác:

11. Bảo vệ chống sét cánh và các cánh:

- Nhà chế tạo cánh: Loại cánh (thắt tóc/xoay cánh)
 Một cánh Hai cánh Ba cánh Khác:
 Gắn phanh đầu

Chuyển động động cơ tại thời điểm cú sét đánh:

- Dừng Quay Không biết

Vật liệu cánh động cơ:

- GFRP CFRP GFRP/CFRP Gỗ ép
 Gỗ rắn Khác:

(GFRP = nhựa gia cố sợi thủy tinh, CFRP = nhựa gia cố sợi cacbon)

TCVN 10687-24:2015

Kiểu bảo vệ chống sét:

- Đầu thu ở đầu (vật liệu): Chụp đầu (vật liệu):
 Không bảo vệ chống sét Khác:

Dây dẫn sét cánh:

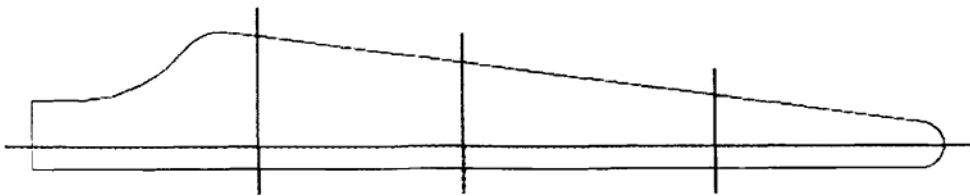
- Ngoài Trong
 Tiết diện: mm Vật liệu:
 Chú thích khác:

Thiệt hại trực quan:

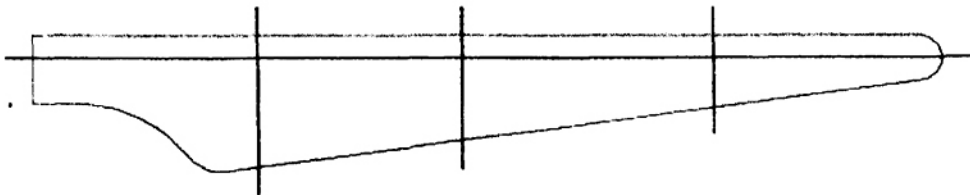
- Không thiệt hại cánh Thủng lỗ trên cánh: \varnothing mm
 Nứt bề mặt cánh (chiều dài): Nứt cạnh cánh (dài):
 Khác:
 Chú thích khác:

Hãy đánh dấu vào các vị trí mà quan sát thấy có thiệt hại trên cánh (xem Hình K.1):

Phía đầu gió:



Phía khuất gió:



Hình K.1 – Hình dạng cánh để đánh dấu các vị trí thiệt hại

Phụ lục L

(tham khảo)

Hệ thống giám sát

Tuabin gió nên được trang bị thiết bị phát hiện sét đánh/theo dõi các mức dòng điện sét của cú sét đánh như vậy. Mục đích của hệ thống như vậy nhằm:

- cung cấp thông tin cho nhà vận hành về mức độ của cú sét đánh đã ảnh hưởng đến các tuabin gió và đóng góp một phần trong chế độ vận hành và bảo dưỡng;
- cung cấp dữ liệu có giá trị về số lượng cú sét đánh dự kiến vào tuabin gió cao và để đánh giá độ lớn/đặc điểm của chúng, hỗ trợ trong quy trình đánh giá rủi ro trong tương lai.

Có các tùy chọn khác nhau cho các hệ thống giám sát. Bản mô tả ngắn gọn về các tùy chọn này như dưới đây.

a) hệ thống phát hiện sét diện rộng

Nhiều hệ thống thương mại cho phép phát hiện sét sử dụng anten phát hiện xung điện từ được sinh ra do một chùm sét. Sử dụng nhiều anten này để định vị các chùm sét dựa theo các kỹ thuật định hướng hoặc thời gian đến. Dữ liệu từ các hệ thống này thường có sẵn trong thời gian thực. Đầu ra dữ liệu sẽ thường không cho phép chỉ định chính xác chùm sét theo độ chính xác của hệ thống như vậy có thể được giới hạn từ vài trăm mét đến vài kilomet (độ chính xác phụ thuộc vào vị trí tương đối của các chùm sét đánh vào anten và độ lớn của nó). Do đó, một hệ thống như vậy chỉ thực sự được sử dụng trong việc xác nhận xem liệu có thiệt hại cho tuabin gió do sét đánh.

b) Các hệ thống phát hiện hoạt động sét cục bộ

Hệ thống đặc biệt, như có cảm biến gắn trên cột tháp của tuabin gió để kích hoạt báo động sét dựa trên tiêu chí từ trường. Anten ngăn sét đánh từ xa bằng kích hoạt báo động lỗi. Hệ thống như vậy có thể được nối với một hệ thống SCADA đưa ra dấu hiệu hữu ích về các cú sét đánh theo thời gian thực. Các hệ thống có thể hoặc không thể cung cấp dấu hiệu về dạng sóng và độ lớn dòng điện và nếu được đặt trên cột tháp, hệ thống sẽ không đưa ra dấu hiệu về vị trí cú sét đánh vào tuabin gió. Tuy nhiên, đó là một lựa chọn tốt cho nhà vận hành nào muốn được chủ động trong giám sát tuabin gió sau một cơn bão sét.

Các nhà phát triển khác đã sản xuất các cảm biến cho phép chuyển đổi dòng điện được điều chỉnh trực tiếp trong các cánh hoặc các dây dẫn sét khác. Thông qua việc sử dụng bộ chuyển đổi như một cuộn dây Rogowski hoặc một kỹ thuật dựa trên sợi quang, các cảm biến này có thể vừa cung cấp một chức năng báo động và vừa thu thập dữ liệu dòng điện đỉnh/dạng sóng có giá trị để sử dụng trong các nghiên cứu đánh giá rủi ro tương lai.

c) Hệ thống phát hiện sét thụ động cục bộ

TCVN 10687-24:2015

Bản mạch cảm biến dòng điện đỉnh (PCS) có một dải băng từ với mô hình trường được xác định trước. Chúng được kẹp vào dây dẫn sét, mô hình xác định trước bị xóa một phần do từ trường của dòng điện chạy qua dây dẫn. Dòng điện sét cao hơn, từ trường xung quanh dây dẫn sét cao hơn và mô hình trường được xác định trước bị xóa/méo nhiều hơn. Dạng hệ thống này yêu cầu đặc thù phải có phạm vi phát hiện từ 3 kA tới 120 kA với kết quả sai lệch không lớn hơn ± 2 kA. Các bản mạch chỉ ghi các dòng đỉnh và chỉ có khả năng lưu trữ chỉ có một cách đọc như vậy. Do đó, trong trường hợp nhiều cú sét đánh, chỉ có dòng đỉnh cao nhất trong số tất cả các cú sét là được lưu lại. Không có thời gian tương ứng và chúng không thể được ghép nối vào hệ thống SCADA hoặc tương tự.

Phụ lục M

(tham khảo)

Hướng dẫn cho các tuabin gió nhỏ - Vi máy phát

Tiêu chuẩn này được sử dụng với các tuabin gió quy mô công nghiệp. Các tuabin này có thể được đặc trưng bởi các tính năng nhất định: công suất phát điện lớn hơn 100 kW, cột tháp cao hơn 30 m, có buồng vỏ tuabin máy phát, các hệ thống điều khiển và chuyển đổi và cánh dài hơn 10 m.

Nhỏ hơn cỡ này, có loại tuabin gió được gọi là quy mô nhỏ hoặc vi máy phát điện. Chúng thường được thiết kế cho các ứng dụng chiếu sáng hoặc gia dụng nơi mà năng lượng sẽ chủ yếu được dành để sử dụng tại chỗ. Mặc dù có thể có khả năng xuất năng lượng dư vào lưới điện địa phương, các tuabin gió này chỉ phát ở LV và không bao giờ ở mức MV mà các tuabin quy mô công nghiệp phát ra.

Môi trường cho hai loại riêng biệt của máy phát điện gió là rất khác nhau và do đó các yêu cầu và chỉ dẫn bảo vệ chống sét cũng sẽ rất khác.

Vấn đề bảo vệ chống sét vẫn phải được xem xét cho tuabin gió quy mô nhỏ. Vấn đề chính là để cung cấp bảo vệ tức thời cho kết nối lưới điện và các kết nối hệ thống điều khiển và viễn thông (nếu có), để đảm bảo hệ thống có thể tiếp tục hoạt động sau khi bị tiếp xúc với điện áp và dòng điện đột biến cao kết hợp với nguồn sét tức thời trong tuabin gió. Sét đánh trực tiếp vào hệ thống quy mô nhỏ sẽ tương đối hiếm, trừ khi được đặt rất cao và chịu tác động. Tuy nhiên, các hệ thống cần duy trì an toàn, cả trong việc duy trì tính toàn vẹn vật lý và không gây thiệt hại cho người hoặc tài sản nếu cơ cấu vỡ ra và cả về việc tránh nguy hiểm cháy hoặc thiệt hại cho hệ thống điện mà tuabin được nối.

Mặc dù tiêu chuẩn này không bao gồm bảo vệ chống sét các tuabin gió quy mô nhỏ, một số nguyên tắc và phương pháp tiếp cận chung vẫn có thể có lợi trong việc tránh những rủi ro nêu trên.

Thử nghiệm trực tiếp sử dụng điện áp cao và dòng điện cao rất có ích trong việc hỗ trợ thiết kế các hệ thống bảo vệ chống sét (xem Phụ lục D liên quan đến các phương pháp thử nghiệm). Các thành phần như cánh, phong tốc kế và hộp máy phát điện có thể được thử nghiệm, và các mạch điện và hệ thống điều khiển có thể được thử nghiệm về khả năng chống tác động của đột biến dòng tức thời. Giải pháp bảo vệ chống sét cuối cùng có thể kết hợp cột thu sét tác động trên rôto và liên kết đẳng thế điện với một số dạng của thiết bị chống đột biến điện (SPD), mà cần được xác nhận hiệu quả bằng cách thử nghiệm.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] RAKOV V.A., UMAN, M.A. Lightning Physics and Effects. Cambridge University Press, 2003, ISBN 0 521 58327 (*Các hiệu ứng và vật lý học về sét*)
- [2] BERGER, K., ANDERSON R.B., and KRONINGER, H. Parameters of lightning flashes. *Electra*, Vol. 80, pp. 23-37, 1975 (*Các tham số về các chùm sét*)
- [3] ANDERSON, RB., and ERIKSSON AJ. Lightning parameters for engineering applications. *Electra* Vol. 69, pp. 65-103, 1980 (*Các tham số sét cho các ứng dụng kỹ thuật*)
- [4] WADA, A., YOKOYAMA, S., NUMATA, T., ISHIBASHI, Y., HIROSE, T. Lightning Damages of Wind Turbine Blades in Winter in Japan – Lightning Observation on the Nikaho-Kogen Wind Farm, Proceedings of the 27th International Conference on Lightning Protection, Avignon, France, pp. 947-952, 2004. (*Các thiệt hại sét của các cánh tuabin gió trong mùa đông ở Nhật Bản – Quan sát sét trên trang trại gió Nikaho-Kogen*)
- [5] JANISCHEWSKYJ, W., HUSSEIN, AM., SHOSTAK, V., RUSAN, I., Li, JX., and CHANG, JS. Statistics of lightning strikes to the Toronto Canadian National Tower (1978-1995). IEEE Power Engineering Summer Meeting, Denver, Colorado, 1996 (*Thống kê các lần sét đánh vào cột tháp Toronto Canadian National Tower*)
- [6] HOPF, C., and WIESINGER, J. Lightning protection of wind power plants. *Elektrizitaetswirtschaft*, Vol. 94, no. 15, July 1995, pp. 921-5 (*Bảo vệ chống sét của các nhà máy điện gió*)
- [7] FUCHS, F., LANDERS, EU., SCHMID, R., and WIESINGER, J. Lightning Current and Magnetic Field Parameters Caused by Lightning Strikes to Tall Structures Relating to Interference of Electronic Systems. *IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility*, Vol. 40, Nov. 1998 (*Các tham số dòng điện sét và từ trường gây ra bởi sét đánh vào kết cấu cao liên quan nhiều sóng các hệ thống điện tử*)
- [8] ERIKSSON, AJ. and MEAL, DV. The Incidence of Direct Lightning Strikes to Structures and Overhead Lines. IEE-Conference on Lightning and Power Systems. IEE - Conference Publications 236, pp. 67-71, 1984 (*Tần suất sét đánh trực tiếp vào kết cấu và các đường dây trên cao.*)
- [9] TSUCHIYA, K., YAMADA, S., and MATSUZAKA, T. A Study of Lightning Damage to WECs with Artificial Lightning Strokes. *Wind Energy: Technology and Implementation*, pp. 737-741. Amsterdam EWEC '91. Elsevier Science Publ., 1991 (*Một nghiên cứu về thiệt hại sét tới các WEC có các cú sét đánh nhân tạo. Năng lượng gió: Công nghệ và thực hiện*)
- [10] FISHER, F.A., PLUMER, J.A. and Perala, R.A. Lightning Protection of Aircraft. Second edition. Lightning Technologies Inc., Pittsfield, MA, USA, 2004 (*Bảo vệ chống sét nhân tạo. Phiên bản hai*)

- [11] GEWEHR, HW. Lightning Protection for Composite Rotor Blades. American Wind Energy Association. Nat. Conf. Pittsburgh PA, USA, June 8-11, 1980 (*Bảo vệ chống sét cho các cánh Roto vật liệu tổng hợp. Hiệp hội năng lượng gió Mỹ*)
- [12] DALÉN, G. Lightning Protection of Large Rotor Blades, Design and Experience. IEAR&D Wind, ANNEX XI, 26th Meeting of Experts. Lightning Protection of Wind Turbine Generator Systems and EMC Problems in the Associated Control Systems. Cologne Monzese, Milan, Italy, March 8-9, 1994 (*Bảo vệ chống sét cho các cánh Roto lớn, thiết kế và trải nghiệm*)
- [13] DODD, C W., MCCALLA, T. Jr., and SMITH, JG. How to Protect a Wind Turbine from Lightning. Windbooks. P.O.Box 4008, St. Johnsbury, VT, USA. ISBN:0-88016-072-1 (*Cách bảo vệ tuabin gió tránh sét*)
- [14] DODD, CW., MCCALLA, TM. Jr. and SMITH, JG. Design Considerations for Lightning Protection of Wind Turbines, Sixth Biennial Wind Energy Conference and Workshop. pp. 687-695. American Solar Energy Society, 1983 (*Các xem xét thiết kế cho bảo vệ chống sét của tuabin gió, Hội nghị và Hội thảo năng lượng gió Biennial lần thứ sáu*)
- [15] SCHMID, R. Investigations on GRP-Rotor Blade Samples of Wind power Plants Regarding Lightning Protection. 24th Int. Conf. on Lightning Protection, pp. 955-959, Birmingham UK, 14th-18th September 1998 (*Các điều tra trên các mẫu cánh Roto vật liệu GRP của nhà máy điện gió về bảo vệ chống sét. Hội nghị hợp nhất về bảo vệ chống sét lần thứ 24*)
- [16] NIELSEN, JO., and PEDERSEN, AA. Status Report for the Pilot Project: Lightning protection for Wind Turbines – Especially Non-conducting Wind Turbine Blades. Technical University of Denmark, December 1994. (in Danish) (*Báo cáo tình trạng cho Dự án thí điểm: Bảo vệ chống sét cho tuabin gió – Cánh tuabin gió không dẫn điện đặc biệt*)
- [17] DRUMM, F. Investigation into Segmented Diverter Strips. 23rd ICLP, Int. Conf. on Lightning Protection. pp. 796-800, Florence, Italy, Sep. 23-27, 1996 (*Khảo sát bên trong các dải dây bảo vệ chống sét chia đoạn*)
- [18] DRUMM, F., and BÄUML, G. Isolation Coordination of Segmented Diverter Strips and Their Current Capability. 24th Int. Conf. on Lightning Protection, pp. 918-923, Birmingham UK, 14th-18th September 1998 (*Phối hợp cách ly cho các dải dây bảo vệ chống sét phân đoạn và khả năng dẫn dòng của chúng. Hội nghị hợp nhất về bảo vệ chống sét lần thứ 24*)
- [19] SORENSEN, T., BRASK, MH., OLSEN, K., OLSEN, ML., and GRABAU, P. 24th Int. Conf. on Lightning Protection, pp. 938-943, Birmingham UK, 14th-18th September 1998 (*Hội nghị hợp nhất về bảo vệ chống sét lần thứ 24*)
- [20] FAA Fundamental Considerations of Lightning Protection, Grounding, Bonding, and Shielding, Federal Aviation Administration, 6950.20, 1978 (*Các xem xét cơ bản về bảo vệ chống sét, nối đất, liên kết và chắn bảo vệ*)

TCVN 10687-24:2015

- [21] GONDOT, P., LEPETIT, B., BĪSIAEV, A., and SOLOLEVSAKIA, H. Lightning Protection of Aeronautical Structural Materials. 23rd ICLP, Int. Conf. on Lightning Protection. pp. 563-568, Florence, Italy, Sep. 23-27, 1996 (*Bảo vệ chống sét của các vật liệu kết cấu hàng không. Hội nghị hợp nhất về bảo vệ chống sét lần thứ 23*)
- [22] MULJADI, E., and BUTTERFIELD, CP. Lightning and the Impact on Wind Turbine Generation. IEA R&D Wind, ANNEX XI, 26th Meeting of Experts. Lightning Protection of Wind Turbine Generator Systems and EMC Problems in the Associated Control Systems. Cologne Monzese, Milan, Italy, March 8-9, 1994 (*Sét và ảnh hưởng lên việc phát điện tuabin gió. IEA R & D gió, Phụ lục XI, Hội nghị chuyên gia thứ 26. Bảo vệ chống sét các hệ thống phát điện tuabin gió và các vấn đề EMC trong hệ thống điều khiển kết hợp*)
- [23] WACHSMUTH, R. Rotorblatt in Faserverbundbauweise für Windkraftanlage AEOLUS II, Phase I/II, Statusbericht für das Jahr 1990 zum Forschungsvorhaben 0328819 A/B des Bundesministeriums für Forschung und Technologie. Statusreport 1990 Windenergie, pp. 279-297, Bundesministerium für Forschung und Technologie, 1990, ISBN 3-8042-0517-8
- [24] COTTON, I., JENKINS, N., HATZIARGYRIOU, N., LORENTZOU, M., HAIGH, S., and HANCOCK, M. Lightning Protection of Wind Turbines -- A designer's Guide to Best Practice. UMIST – Preview edition – January 1999 (*Bảo vệ chống sét cho các tuabin gió – Hướng dẫn nhà thiết kế thực tiễn nhất*)
- [25] BALDWIN, RE. Experience gained in the lightning protection of aircraft and petrochemical installations applicable to wind turbine generators. IEA R&D Wind, ANNEX XI, 26th Meeting of Experts. Lightning Protection of Wind Turbine Generator Systems and EMC Problems in the Associated Control Systems. Cologne Monzese, Milan, Italy, March 8-9, 1994 (*Kinh nghiệm có được trong bảo vệ chống sét cho các lắp đặt máy bay và hóa dầu áp dụng cho các máy phát điện tuabin gió*)
- [26] HANSEN, L.B., KORSGAARD, J. and MORTENSEN, I., Improved lightning protection system enhances the reliability of multi-MW blades. Copenhagen Offshore Wind 2005 (*hệ thống bảo vệ chống sét cải tiến tăng cường độ tin cậy của các cánh nhiều MW*)
- [27] MADSEN, S.F., Interaction between electrical discharges and materials for wind turbine blades particularly related to lightning protection. Ørsted-DTU, The Technical University of Denmark, Ph.D. Thesis, March 2006 (*tương tác giữa phóng điện và vật liệu cho cánh tuabin gió đặc biệt liên quan đến bảo vệ chống sét*).
- [28] LARSEN, F.M and SORENSEN, T., New lightning qualification test procedure for large wind turbine blades. Proceedings of International Conference on Lightning and Static Electricity, Blackpool, UK, 2003 (*Quy trình thử nghiệm định tính sét mới cho các cánh tuabin gió lớn*)
- [29] LENNING, F.E., Analysis of lightning current flow in anisotropic CFRP using finite difference methods, Proceedings of International Conference on Lightning and Static Electricity, Blackpool, UK,

2003 (*Phân tích dòng điện sét dẫn trong vật liệu CFRP bất đẳng hướng sử dụng các phương pháp sai phân hữu hạn*)

[30] MADSEN, S.F., HOLBOLL, J., HENRIKSEN, M., BERTELSEN, K., ERICHSEN, H.V., New test method for evaluating the lightning protection system on wind turbine blades, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. (*Phương pháp thử nghiệm mới để đánh giá hệ thống bảo vệ chống sét trên cánh tuabin gió, Kỷ yếu của Hội nghị quốc tế Bảo vệ chống sét lần thứ 28*)

[31] HEATER, J., RUEI, R., A Comparison of Electrode Configurations for Simulation of Damage Caused by a Lightning Strike, Proceedings of International Conference on Lightning and Static Electricity, Blackpool, UK, September 2003 (*So sánh về cấu hình điện cực để mô phỏng các thiệt hại gây ra bởi một cú sét đánh*)

[32] BECERRA, M., V. COORAY, A simplified Physical Model to Determine the Lightning Upward Connecting Leader Inception, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 2, April 2006 (*Một mô hình vật lý đơn giản để xác định khởi phát tiên đạo sét kết nối sét đánh hướng lên*)

[33] BERTHELSEN, K., ERICHSEN, H.V., SKOV JENSEN, M.R.V., MADSEN, S.F., Application of numerical models to determine lightning attachment points on wind turbines, Proceedings of International Conference on Lightning and Static Electricity, Paris, France, August 2007 (*Áp dụng mô hình số để xác định điểm sét đánh trên tuabin gió*)

[34] BERTHELSEN, K., ERICHSEN, H.V., MADSEN, S.F., New high current test principle for wind turbine blades simulating the life time impact from lightning discharges, Proceedings of International Conference on Lightning and Static Electricity, Paris, France, August 2007 (*Nguyên lý thử nghiệm dòng điện sét cao mới cho các cánh tuabin gió mô phỏng tác động thời gian sống từ phóng sét*)

[35] HOLBOELL, J., MADSEN, S.F., HENRIKSEN, M., BERTELSEN, K., Discharge phenomena in the tip area of wind turbine blades and their dependency on material and environmental parameters, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. (*Hiện tượng phóng điện trong khu vực đầu cánh tuabin gió và sự phụ thuộc của chúng vào các tham số vật liệu và môi trường*)

[36] SHITAISHI, Y., OTSUKA, T., MATSUURA, H., The Observation of Direct Lightning Stroke Current to the Wind Turbine Generator System. Proceedings of the 27th International Conference on Lightning Protection, Avignon, France, pp. 947-952, 2004. (*Trực quan dòng điện cú sét đánh trực tiếp tới hệ thống máy phát tuabin gió*)

[37] VASE, N.J., NAKA, T., YOKOYAMA, S., WADA, A., ASAKAWA, A., ARINAGA, S., Experimental study on lightning attachment manner considering various types of lightning protection measures on wind turbine blades, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection,

TCVN 10687-24:2015

Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. *(Nghiên cứu thực nghiệm về sét đánh cách xem xét theo nhiều biện pháp bảo vệ chống sét trên cánh tuabin gió)*

[38] ARINAGA, S., TSUTSUMI, K., MURATA, N., MATSUSHITA, T., SHIBATA, M., INOUE, K., KORAMATSU, Y., UEDA, Y., SUGURO, Y., YOKOYAMA, S., Experimental study on lightning protection methods for wind turbine blades, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. *(Nghiên cứu thực nghiệm về các phương pháp bảo vệ chống sét cho cánh tuabin gió)*

[39] HANAI, M., KOUAMA, H., KUBO, N., HASHIMOTO, Y., SUZUKI, I., UEDA, Y., SAKAMOTO, H., Reproduction and Test Method of FRP Blade Failure for Wind Turbine Generators Caused by Lightning, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. *(Phương pháp thử nghiệm và tái sản xuất hỏng hóc cánh FRP cho máy phát điện tuabin gió gây ra bởi sét)*

[40] SAKAMOTO, H., KUBO, N., HASHIMOTO, Y., SUZUKI, I., UEDA, Y., HANAI, M., Lightning Failure Protection of FRP blade for Wind Power Generators, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. *(Hồng bảo vệ chống sét cánh FRP cho máy phát năng lượng gió)*

[41] SAKURANO, H., HASHIMOTO, M., NAKAMURA, K., Observation of Winter Lightning Striking a Wind Power Generation Tower and a Lightning Tower, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006 *(Quan sát cú sét đánh mùa đông một cột tháp phát năng lượng gió và một cột tháp sét)*

[42] LEWKE, B., KRUG, F., KINDERSBERGER, J., Risk of Lightning Strike to Wind Turbines for Maintenance Personnel Inside the Hub, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. *(Rủi ro sét đánh vào các tuabin gió cho nhân viên bảo trì bên trong hub)*

[43] BIRKL, J., FREY, C., ZAHLMANN, P., How to verify lightning protection efficiency for wind turbines? Testing procedures for lightning protection components, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. *(Cách xác minh hiệu quả bảo vệ chống sét cho tuabin gió? Các quy trình thử nghiệm các thành phần bảo vệ chống sét)*

[44] MINOWA, M., MINAMI, M., YODA, M., Research into Lightning Damages and Protection Systems for Wind Power Plants in Japan, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. *(Nghiên cứu thiệt hại sét và hệ thống bảo vệ cho các nhà máy năng lượng gió tại Nhật Bản)*

[45] YASAMUDA, Y., YOSHIOKA, T., UEDA, T., FDTD Analysis on Wind Turbine Earthing, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. *(Phân tích nối đất tuabin gió)*

- [46] YASUDA, Y., UNO, N., KOBAYASHI, H., FUNABASHI, T., Surge Analysis on Wind Farm Winter Lightning Stroke, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. (*Phân tích đột biến điện trên trang trại gió tại các cú sét đánh mùa đông*)
- [47] SUMI, S.I., AICHI, H., HORII, K., YODA, M., MINAMI, M., MINOWA, M., Breakdown Tests of Wind Turbine Blade for Improved Lightning Protection, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006 (*Các thử nghiệm đánh thủng điện của cánh tuabin gió đối với bảo vệ chống sét được cải tiến*)
- [48] SHIRASHI, Y., OTSUKA, T., The Observation and a Study of Direct Lightning Stroke Current through the Wind Turbine Generator System, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 18-22 September 2006. (*Quan sát và nghiên cứu về dòng điện cú sét đánh trực tiếp thông qua hệ thống máy phát tuabin gió*)
- [49] Cigré WG C.4.4.02, Protection of MV and LV networks against lightning, Part 1: Common topics, July 2005 (*Bảo vệ cho các mạng MV và LV bảo vệ chống sét, Phần 1: Các chủ đề chung*)
-