

Tiêu chuẩn IEC 61643-21

Áp dụng cho các thiết bị truyền thông, tín hiệu.

Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử nghiệm

Giới thiệu chung:

Mục đích của bộ tiêu chuẩn này đưa ra nhằm mục đích xác định các yêu cầu kỹ thuật của thiết bị chống sét bảo vệ các đường tín hiệu truyền thông, tín hiệu thông tin, âm thanh, cảnh báo làm việc với điện áp thấp. Tất cả các hệ thống này đều có thể bị ảnh hưởng bởi xung sét, lỗi nguồn điện ngay cả do nguyên nhân trực tiếp hay gián tiếp, các nguyên nhân chủ yếu này ảnh hưởng đến hệ thống gây ra sốc quá áp hoặc quá dòng hoặc cả hai nguyên nhân trên với cường độ đủ lớn gây ra hư hại đối với các thiết bị trong hệ thống do xung sét hoặc lỗi nguồn điện. Hệ thống tiêu chuẩn này mô tả các thử nghiệm, các yêu cầu về việc thiết lập các phương pháp thử nghiệm thiết bị chống sét và đánh giá khả năng làm việc của thiết bị chống sét.

Thiết bị chống sét đề cập trong bộ tiêu chuẩn này có thể chỉ chứa phần tử chống quá áp hoặc kết hợp bao gồm cả phần tử chống quá áp và quá dòng. Thiết bị chỉ chứa duy nhất các phần tử chống quá dòng không nằm trong phạm vi xem xét của bộ tiêu chuẩn này, tuy nhiên thiết bị bao gồm chỉ các phần tử chứa quá dòng nằm trong phạm vi xem xét theo phụ lục A (Annex A).

Một thiết bị chống sét có thể kết hợp gồm các phần tử chống quá áp và phần tử chống quá dòng. Tất cả các phần tử chống sét được thử nghiệm theo phương pháp thử nghiệm chung kiểu "hộp đen" .v.v, số cổng của thiết bị liên quan đến việc cân nhắc số lượng các lần thử mà không liên quan đến các phần tử nằm chống sét được tích hợp trong thiết bị, cấu hình của thiết bị được mô tả theo mục 1.2, trong trường hợp thiết bị gồm nhiều đường thì từng đường một được thử nghiệm riêng rẽ nhưng cũng đồng thời phải thử nghiệm toàn bộ các đường trong một lần thử nghiệm.

Tiêu chuẩn này bao hàm một loạt các thử nghiệm có điều kiện tương ứng với các yêu cầu và việc sử dụng một trong các thử nghiệm riêng biệt theo người dùng. Việc yêu cầu của tiêu chuẩn này liên quan đến các loại thiết bị chống sét khác nhau được mô tả trong mục 1.3. Khi khả năng đáp ứng theo tiêu chuẩn và khả năng đáp ứng yêu cầu thực tế của thiết bị chống sét được chỉ rõ, Hệ số rủi ro và sự hiểu biết thực tế về thiết bị là do người dùng, lựa chọn và ứng dụng được áp dụng theo tiêu chuẩn IEC 61643-22.

Nếu thiết bị chống sét là một phần tử duy nhất, thiết bị phải đáp ứng yêu cầu của tiêu chuẩn cũng như các thiết bị khác theo bộ tiêu chuẩn này.

THIẾT BỊ CHỐNG SÉT ĐIỆN ÁP THẤP

Phần 21: Thiết bị chống sét bảo vệ truyền thông, tín hiệu – yêu cầu đối với thiết bị và phương pháp thử nghiệm

1. Mô tả chung

1.1. Phạm vi tiêu chuẩn

Bộ tiêu chuẩn quốc tế này áp dụng cho các thiết bị chống sét bảo vệ đường truyền thông tin, tín hiệu bảo vệ chống xung trực tiếp và gián tiếp gây ra do quá áp hoặc các xung sét lan truyền. Mục đích các thiết bị này bảo vệ các thiết bị điện tử hiện đại nối đến các đường truyền thông, tín hiệu với điện áp làm việc đến 1000 (r.m.s) VAC hoặc đến 1500VDC.

1.2. Cấu hình thiết bị chống sét

Thiết bị chống sét quy định trong bộ tiêu chuẩn này được mô tả theo hình 1 bao gồm 1 hay nhiều phần tử phần tử giới hạn điện áp (limiting voltage component) hoặc bao gồm phần tử giới hạn dòng (current limiting component)

1.3. Áp dụng tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn này chia thành 2 loại thiết bị tiêu chuẩn

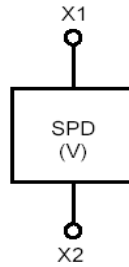
Loại thứ nhất chứa ít nhất một phần tử giới hạn điện áp và không có phần tử giới hạn dòng trên cùng 1 module. Tất cả các thiết bị chống sét có cấu hình theo hình vẽ 1 đều có thể là dạng này, thiết bị chống sét này phải thoả mãn các yêu cầu của tiêu chuẩn theo các mục 5.1; 5.2.1 và 5.3 theo bảng 1. thiết bị chống sét được chỉ ra theo hình vẽ 1b; 1d; 1e và 1f có thể chứa phần tử tuyến tính giữa cực nối thiết bị và phần tử đáp ứng bảo vệ cổng đầu cuối thiết bị. Thiết bị chống sét này cũng đồng thời phải đáp ứng yêu cầu tiêu chuẩn theo 5.2.2

Loại thiết bị chống sét thứ hai chứa cả phần tử giới hạn điện áp (voltage limiting) và giới hạn dòng (current limiting) trong cùng 1 module, cấu hình thiết bị được chỉ ra trong hình vẽ 1b; 1d; 1e và 1f bao gồm cả phần tử giới hạn điện áp (voltage limiting) và giới hạn dòng (current limiting), thiết bị này đồng thời phải đáp ứng theo yêu cầu tiêu chuẩn theo mục 5.1; 5.2.1; 5.2.2 và 5.3 (theo bảng 1). Cấu hình thiết bị chống sét bao gồm chỉ duy nhất kiểu phần tử giới hạn dòng được áp dụng theo phụ lục A.

Thiết bị chống sét có thể phải đáp ứng các yêu cầu khác theo tiêu chuẩn tùy thuộc và ứng dụng. các yêu cầu khác được chỉ ra trong mục 5.2.3 và 5.4 (bảng 1)

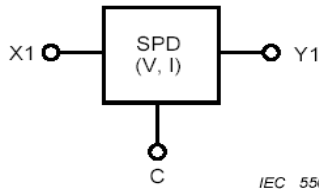
Mục 5.2.3 đưa ra các yêu cầu thử nghiệm về truyền thông mà thiết bị chống sét buộc phải đáp ứng tùy thuộc vào tín hiệu hoặc kiểu truyền thông mà thiết bị đó sử dụng, lựa chọn kiểu truyền thông mà thiết bị được sử dụng tương ứng với các thử nghiệm áp dụng theo mục 5.2.3. Bảng 1 hướng dẫn cách áp dụng các thử nghiệm truyền thông theo yêu cầu chung.

Mục 5.4 cung cấp các yêu cầu về môi trường đối với thiết bị chống sét với mục đích sử dụng trong môi trường không kiểm soát được được mô tả trong mục 4.1. Thiết bị chống sét phải thoả mãn các yêu cầu này sau khi có sự thống nhất giữa người sử dụng và nhà sản xuất. Bảng 1 cung cấp 1 ví dụ minh hoạ về các yêu cầu đáp ứng khác nhau đối với các kiểu thiết bị chống sét.



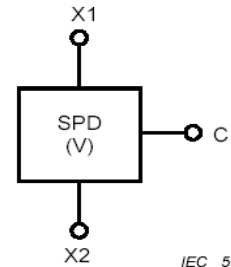
IEC 549/08

Figure 1a – Two-terminal SPD



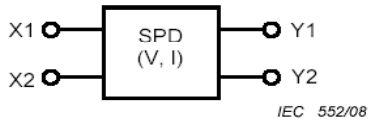
IEC 550/08

Figure 1b – Three-terminal SPD



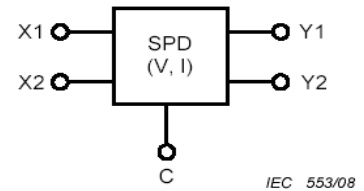
IEC 551/08

Figure 1c – Three-terminal SPD



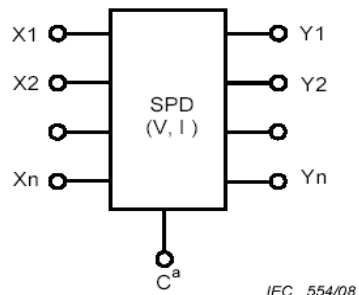
IEC 552/08

Figure 1d – Four-terminal SPD



IEC 553/08

Figure 1e – Five-terminal SPD



IEC 554/08

Figure 1f – Multi-terminal SPD

Key

V	voltage-limiting component
V, I	voltage-limiting components or a combination of voltage-limiting and current-limiting components
X1, X2....Xn	line terminals
Y1, Y2...Yn	protected line terminals
C	common terminal

Figure 1 – SPD configurations

Table 1 – General SPD requirements

Test series ⁴	Requirement – Test	Sub-clause	Type of SPD					
			SPD with only voltage-limiting function	SPD with both voltage-limiting and current-limiting functions	SPD with voltage-limiting function and linear component between its terminals	SPD having both voltage-limiting and current-limiting functions with enhanced transmission capabilities	SPD having only voltage-limiting function but intended for use in extended range environment	SPD having both voltage-limiting and current-limiting functions but intends for use in extended range environment
1	General test	6.1						
	Identification and documentation	6.1.1	A	A	A	A	A	A
	Marking	6.1.2	A	A	A	A	A	A
	Transmission tests	6.2.3						
	Capacitance	6.2.3.1	A	O	O	O	A	O
	Insertion loss	6.2.3.2	O	A	A	A	O	A
	Return loss	6.2.3.3	O	O	O	A	O	O
	Longitudinal balance	6.2.3.4	O	O	O	A	O	O
	Bit Error Ratio (BER)	6.2.3.5	O	O	O	O	O	O
	Near-end crosstalk (NEXT)	6.2.3.6	O	O	O	A	O	O
	Mechanical tests	6.3						
	Terminals and connectors	6.3.1	A	A	A	A	A	A
	General testing procedure	6.3.1.1	A	A	A	A	A	A
	Terminals with screws	6.3.1.2	A	A	A	A	A	A
	Screwless terminals	6.3.1.3	A	A	A	A	A	A
	Insulating pierced connections	6.3.1.4	A	A	A	A	A	A
	Pull-out-test on SPD terminals designed for single-core conductors	6.3.1.4.1	A	A	A	A	A	A
	Pull-out-test on SPD terminals designed for multi-core cables and cords	6.3.1.4.2	A	A	A	A	A	A
	Mechanical strength (mounting)	6.3.2	A	A	A	A	A	A
	Resistance to ingress of solid objects and to harmful ingress of water	6.3.3	A	A	A	A	A	A
	Protection against direct contact	6.3.4	A	A	A	A	A	A
	Fire resistance	6.3.5	A	A	A	A	A	A

IEC

Test series ⁴	Requirement – Test	Sub-clause	Type of SPD					
			SPD with only voltage-limiting function	SPD with both voltage-limiting and current-limiting functions	SPD with voltage-limiting function and linear component between its terminals	SPD having both voltage-limiting and current-limiting functions with enhanced transmission capabilities	SPD having only voltage-limiting function but intended for use in extended range environment	SPD having both voltage-limiting and current-limiting functions but intended for use in extended range environment
	Environmental tests	6.4						
	High temperature and humidity endurance	6.4.1	O	O	O	O	A	A
	Environmental cycling with impulse surges	6.4.2	O	O	O	O	A	A
	Environmental cycling with a.c. surges	6.4.3	O	O	O	O	A	A
2	Voltage limiting tests	6.2.1						
	Maximum continuous operating voltage (Uc)	6.2.1.1	A	A	A	A	A	A
	Insulation resistance	6.2.1.2	A	A	A	A	A	A
	Impulse durability for voltage limiting function ¹	6.2.1.6	A	A	A	A	A	A
	Impulse-limiting voltage ²	6.2.1.3	A	A	A	A	A	A
	Impulse reset switching types	6.2.1.4	A	A	A	A	A	A
	AC durability for voltage limiting function ¹	6.2.1.5	O	O	O	O	O	O
	Blind spot test multi stage SPD	6.2.1.8	A	A	A	A	A	A
	Overstressed fault mode	6.2.1.7	A	A	A	A	A	A
3	Current limiting tests	6.2.2						
	Rated current	6.2.2.1	N.A.	A	A	A	N.A.	A
	Series resistance	6.2.2.2	N.A.	A	A	A	N.A.	A
	Current response time	6.2.2.3	N.A.	A	N.A.	A ³	N.A.	A ³
	Current reset time	6.2.2.4	N.A.	A	N.A.	A ³	N.A.	A ³
	Maximum interrupting voltage	6.2.2.5	N.A.	A	N.A.	A ³	N.A.	A ³
	Operating duty test	6.2.2.6	N.A.	A	N.A.	A ³	N.A.	A ³
	AC durability for current limiting function ¹	6.2.2.7	N.A.	A	N.A.	A ³	N.A.	A ³
	Impulse durability for current limiting function ¹	6.2.2.8	N.A.	A	N.A.	A ³	N.A.	A ³
4	Acceptance tests	6.5	O	O	O	O	O	O

A Applicable.

N.A. Not applicable.

O Optional.

¹ For each category of test impulse a new set of samples can be used.

² It is admissible to measure the impulse-limiting voltage 6.2.1.3 while testing impulse durability 4.2.1.6.

³ Test not applicable if there is a linear component between its terminals.

⁴ Each test series is carried out on three samples.

Applicable.

Not applicable.

Optional.

For each category of test impulse a new set of samples can be used.

It is admissible to measure the impulse-limiting voltage 6.2.1.3 while testing impulse durability 4.2.1.6.

Test not applicable if there is a linear component between its terminals

Each test series is carried out on three samples

2. Tham khảo chung

Những tài liệu tiêu chuẩn tham khảo sau đây là không thể thiếu cho việc áp dụng tiêu chuẩn này, Đối với tham khảo ngày tháng, chỉ cần trích dẫn phiên bản sử dụng. Đối với cập nhật tham khảo, sử dụng phiên bản tham khảo cập nhật cuối cùng (bao gồm cả các hiệu chỉnh liên quan).

IEC 60050 (702):1992, bảng từ vựng kỹ thuật điện quốc tế - Mục 702: Dao động, tín hiệu và các thiết bị liên quan.

IEC 60050 (726):1992, bảng từ vựng kỹ thuật điện quốc tế - Mục 726: đường truyền và sóng mang

IEC 60060-1:1989, kỹ thuật thử nghiệm cao áp - Phần 1: Định nghĩa chung và các yêu cầu thử nghiệm

IEC 60068-2-30:1980, Môi trường thử nghiệm - Phần 2: Các thử nghiệm - thử nghiệm Db và hướng dẫn: âm, nóng và tuần hoàn (12 + 12hours chu kỳ)

IEC 60529, khả năng bảo vệ chịu môi trường của vỏ thiết bị (mã IP)

IEC 60695-2-1/1:1994 Thử nghiệm môi trường dễ cháy - Phần 2: phương pháp thử nghiệm Mục 1/Trang 1: thử nghiệm phá huỷ phát cháy thiết bị và hướng dẫn.

IEC 60950:1999, an toàn thiết bị công nghệ thông tin

IEC 60999-1:1999, kết nối thiết bị - dây dẫn điện – yêu cầu an toàn đối với thiết bị kết nối qua cổng kẹp bằng vít nối hoặc không có vít nối - Phần 1: Yêu cầu chung và yêu cầu cụ thể đối với kẹp đầu nối cho cỡ dây dẫn từ 0,2mm² đến 35mm²

IEC 61000-4-5, tương thích điện từ (EMC) - Phần 4: kỹ thuật thử nghiệm và đo lường - Mục 5: thử nghiệm chống sốc

IEC 61083-1, các máy ghi kỹ thuật số trong thử nghiệm xung cao áp Phần 1: Yêu cầu đối với máy ghi kỹ thuật số.

IEC 61180-1:1992, kỹ thuật thử nghiệm cao áp cho thiết bị điện áp thấp Phần 1: định nghĩa, yêu cầu về các bước và thử nghiệm.

IEC 61643-1, thiết bị chống sét cho hệ thống phân phối điện áp thấp - Phần 1: Yêu cầu đối với thiết bị và phương pháp thử nghiệm.

IEC 61643-22:2004, Thiết bị chống sét điện áp thấp, Phần 22: Thiết bị chống sét cho đường mạng truyền thông và tín hiệu – nguyên tắc lựa chọn và ứng dụng

ITU-T, đề xuất K.30-1993, Biến trở nhiệt tương hỗ

ITU-T, đề xuất K.55:2002 – yêu cầu về thiết bị kết nối cách điện thay thế đối với quá dòng và quá áp

ITU-T, đề xuất K.65:2004 – yêu cầu về cực kết nối của module cho thử nghiệm hoặc thiết bị chống sét đối với quá dòng và quá áp.

ITU-T, đề xuất O.9:1999 - thiết lập các phép đo đặc đánh giá mức độ không cân bằng với đất.

3. Các định nghĩa

Với mục đích áp dụng tiêu chuẩn IEC 61643, các định nghĩa sau đây được áp dụng

3.1. Mã hiệu thiết bị (model number): Mã hoá hoặc mã hiệu kẻ cả trên tài liệu được dùng để nhận dạng thiết bị chống sét

3.2. Các tham số nổi bật: Giá trị các tham số được liệt kê trong bảng theo các thử nghiệm nổi bật ở chỗ các tham số đồng nhất được sử dụng để giới thiệu cũng như có ý nghĩa so sánh với các thiết bị khác, nó cũng được thể hiện bằng ngôn ngữ kỹ thuật phổ thông và của nhà sản xuất đối với các thiết bị chống sét cho đường truyền thông và tín hiệu. Tuy nhiên, với những ứng dụng đặc biệt có thể yêu cầu các tham số nhiều hơn các tham số đặc trưng trong bảng.

3.3. Chế độ lỗi khi vượt ngưỡng chịu của thiết bị (overstressed fault mode)

Chế độ 1: khi thiết bị chống sét với phần tử giới hạn điện áp bị ngắt kết nối. Chức năng giới hạn điện áp của thiết bị không còn tác dụng, nhưng đường tín hiệu vẫn làm việc bình thường.

Chế độ 2: khi thiết bị chống sét với phần tử giới hạn điện áp bị ngắn mạch với trở kháng thấp đường truyền tín hiệu không thể hoạt động nhưng thiết bị chống sét vẫn làm việc ở chế độ bảo vệ bởi trạng thái ngắn mạch.

Chế độ 3: Khi mạch kết nối của các phần tử giới hạn điện áp của thiết bị chống sét bị ngắt (hở mạch), tình trạng thiết bị chống sét được coi là hỏng, đường truyền tín hiệu không thể làm việc tuy nhiên thiết bị vẫn được bảo vệ nhờ hở mạch trong thiết bị chống sét.

3.4. Bảo vệ

Phương pháp ứng dụng và khả năng ngăn chặn sự lan truyền xung lực điện bởi thiết kế giao diện kết nối.

3.5. Thời gian đáp ứng dòng (current response time)

Thời gian yêu cầu đáp ứng làm việc cho phần tử giới hạn dòng tại mức dòng và nhiệt độ xác định.

3.6. Điện áp làm việc liên tục lớn nhất (maximum continuous operating voltage) U_c :

Điện áp lớn nhất (DC hoặc rms) mà thiết bị chống sét vẫn làm việc bình thường và không gây ra bất cứ hiện tượng thay đổi về đặc tính về cách điện truyền dẫn bảo vệ của thiết bị chống sét.

3.7. Điện áp ngắt lớn nhất (maximum interrupting voltage)

Điện áp lớn nhất (DC hoặc rms) đặt lên phần tử ngắt dòng của thiết bị chống sét mà không làm thay đổi cách điện truyền dẫn bảo vệ của thiết bị chống sét. Điện áp làm có thể bằng với điện áp U_c hoặc lớn hơn tùy thuộc vào cách đấu nối của phần tử giới hạn dòng trong thiết bị chống sét.

3.8. Thiết bị chống sét – Surge protective device SPD

Thiết bị ngăn chặn điện áp trên công hoặc nhiều công được lắp đặt gây ra do sóc điện khi xung sóc vượt ngưỡng cho phép.

Chú ý 1: Có thể chức năng giới hạn dòng cho công được bảo vệ không làm việc đồng thời

Chú ý 2: Thiết bị được lắp đặt phải có ít nhất 1 phần tử phi tuyến bảo vệ sóc điện kiểu giới hạn điện áp

Chú ý 3: Thiết bị chống sét được tích hợp hoàn chỉnh phải có công nối đến đường dây được bảo vệ

3.9. Giới hạn điện áp – Voltage limiting

Là đáp ứng của thiết bị chống sét ngăn chặn và làm suy giảm mức điện áp sóc vượt quá ngưỡng cho phép xuống dưới mức cho phép.

3.10. Giới hạn dòng – Current limiting

Là đáp ứng của thiết bị chống sét, có chứa ít nhất một phần tử phi tuyến giới hạn dòng, nó có chức năng ngăn chặn các dòng sóc vượt quá ngưỡng cho phép.

3.11. Giới hạn dòng không phục hồi – none resettable current limiting

Là thiết bị giới hạn dòng làm việc 1 lần duy nhất.

3.12. Giới hạn dòng có phục hồi – resettable current limiting

Thiết bị chống sét giới hạn dòng và có thể tác động phục hồi sau khi thiết bị làm việc

3.13. Giới hạn dòng tự phục hồi – self-resetting current limiting

Là đáp ứng của thiết bị chống sét kiểu giới hạn dòng và tự phục hồi về chế độ bình thường sau khi chuyển sang chế độ bảo vệ ngắt các xung nhiễu hoặc gây hại đến thiết bị được bảo vệ.

3.14. Điện áp ngưỡng (kẹp) của thiết bị chống sét – Voltage clamping type SPD:

Trở kháng mạch nhánh bảo vệ thoát dòng sét ở mức cao và thay đổi giảm xuống tương ứng khi

xuất hiện xung dòng và điện áp xung vượt ngưỡng bảo vệ của thiết bị chống sét.

Chú ý: ví dụ về phần tử sử dụng điện áp ngưỡng trong thiết bị chống sét là Varistor (ví dụ: MOV) hoặc Diod thác lũ đánh thủng ABD (avalanche breakdown diodes)

3.15. Thiết bị chống sét kiểu chuyển mạch điện áp – Voltage switching type SPD

Thiết bị chống sét với mạch thoát xung sét trở kháng cao và chuyển sang trạng thái dẫn điện (trở kháng thấp) tức thời khi điện áp xung vượt ngưỡng điện áp cho phép của thiết bị chống sét.

Chú ý: ví dụ về phần tử kiểu chuyển mạch điện áp là Khe hở phóng điện (sparkgap) Ống khí phóng điện (Gas discharge tube – GDT) hoặc thyristor ngắt sét (thyristor surge suppressor - TSS)

3.16. Điện áp bảo vệ - Voltage protection level U_p

Thông số thể hiện đặc tính làm việc của thiết bị chống sét về giới hạn điện áp đặt lên cực của thiết bị chống sét. Mức điện áp bảo vệ này lớn hơn mức giới hạn điện áp xung làm việc và được thiết lập bởi nhà sản xuất

3.17. Thiết bị nhiều tầng bảo vệ - Multi stage SPD

Thiết bị chống sét có cấu tạo gồm từ hai phần tử giới hạn điện áp trở lên. Các phần tử này có thể đấu độc lập hoặc liên kết với nhau trong chuỗi phần tử. Phần tử giới hạn điện áp có thể là loại kiểu chuyển mạch theo điện áp (Voltage switching type) hoặc ngưỡng theo điện áp (Voltage clamping type).

3.18. Điểm mù – Blind spot

Trường hợp này xảy ra khi điện áp vượt ngưỡng điện áp liên tục lớn nhất U_c nhưng thiết bị chống sét không hoàn toàn làm việc. Thiết bị chống sét không hoàn toàn làm việc nghĩa là không phải toàn bộ các tầng bảo vệ trong thiết bị chống sét cùng làm việc khi có xung sét trong thử nghiệm. Trường hợp này có thể dẫn tới một phần tử hoặc một trong các tầng bảo vệ của thiết bị chống sét nhiều tầng bị vượt quá ngưỡng chịu của phần tử chống sét.

3.19. Tính ổn định A.C – A.C durability

Là đặc tính của thiết bị chống sét dẫn dòng với tần số và cường độ và khoảng thời gian ở mức xác định nhiều lần

3.20. Tính ổn định xung – Impulse durability

Là đặc tính của thiết bị chống sét làm việc dẫn dòng với dạng xung và cường độ đỉnh xác định trong nhiều lần

3.21. Thời gian phục hồi dòng – current reset time

Là thời gian yêu cầu để thiết bị chống sét phục hồi về mức dòng bảo vệ ở chế độ bình thường hay trạng thái không làm việc dẫn dòng xung.

3.22. Ngưỡng dòng – rated current

Là mức dòng cực đại mà thiết bị chống sét ngưỡng dòng có thể dẫn ổn định không làm thay đổi trở kháng của phần tử giới hạn dòng trong thiết bị chống sét

3.23. Điện trở cách điện – insulation resistance

Là điện trở giữa 2 cực của thiết bị chống sét khi điện áp U_c đặt lên các cực này của thiết bị

3.24. Suy hao phản hồi – return loss

Là module phản hồi một phần tương hỗ với tín hiệu thường được đo bằng đơn vị (dB)

Chú ý: khi trở kháng được xác định, suy hao phản hồi có thể được tính theo công thức sau:

$$20 \log_{10} \text{MOD}\{[Z_1+Z_2]/[Z_1-Z_2]\}$$

Trong đó Z_1 là trở kháng truyền dẫn của nguồn, Z_2 là trở kháng sau khi qua thiết bị chống sét

3.25. Hệ số bit lỗi – Bit error ratio (BER)

Là tỷ lệ giữa số bit lỗi trên số bit truyền trong một khoảng thời gian xác định

3.26. Suy hao xen vào – Insertion loss

Là việc mất thông tin do việc lắp thiết bị chống sét xen vào hệ thống truyền thông, nó là tỷ lệ của phần công suất truyền qua hệ thống trước khi lắp thiết bị chống sét và sau khi lắp thiết bị chống sét. Đơn vị tính suy hao xen vào đo bằng dB.

3.27. Nhiều xen vào đầu cuối – Near End CrossTalk

Nhiều xen vào đầu cuối là sự truyền tín hiệu ngược với tín hiệu truyền thông trên kênh có nhiễu, nhiễu xen vào tại đầu cuối của kênh nhiễu có mức năng lượng tương đương với mức năng lượng tín hiệu của kênh nhiễu.

3.28. Hai dây cân bằng – Longitudinal balance (Analog voice frequency circuits)

Là sự đối xứng về tín hiệu điện giữa 2 dây kết hợp thành 1 đôi dây với điểm so sánh là đất.

3.29. Hai dây cân bằng – Longitudinal balance (Data transmission)

Trở kháng đo được trên mỗi dây so với đất (hoặc điểm so sánh Zero) cho hai hoặc nhiều hơn đường dây truyền tín hiệu của mạch cân bằng. Thuật ngữ này dùng để mô tả mức độ ảnh hưởng của nhiễu thông thường.

3.30. Hai dây cân bằng – Longitudinal balance (communication and control cable)

Hệ số của điện áp nhiễu rms (V_s) so với đất (điểm Zero) và điện áp rơi trên thiết bị chống sét V_m trong thử nghiệm và được thể hiện bằng đơn vị dB.

Chú ý: hệ số của 2 dây cân bằng trong truyền thông và điều khiển được tính theo công thức:

$$20\log_{10}(V_s/V_m)$$

Trong đó V_s và V_m được xác định ở cùng tần số

3.31. Hệ số của điện áp nhiễu V_s và điện áp rơi trên thiết bị chống sét trong thử nghiệm V_m , đơn vị đo theo dB.

3.32. Xung sét trong Viễn thông – Surge Telecommunication

Là xung áp hoặc dòng hoặc cả hai trong khoảng thời gian ngắn xuất hiện trên đường truyền viễn thông từ một nguồn điện bên ngoài

Chú ý 1: nguồn xung phổ biến là xung sét và nguồn điện AC/DC

Chú ý 2: Nguồn điện có thể từ một trong các dạng sau: nguồn điện, điện từ, điện từ trường hoặc vật dẫn

4. Điều kiện thực hiện và điều kiện thử nghiệm

4.1. Điều kiện thực hiện

4.1.1. Điều kiện thực hiện bình thường

4.1.1.1. Áp suất và độ cao tương đối

Áp suất môi trường từ 80-106kPa tương ứng với độ cao từ +2000m đến -500m so với mực nước biển.

4.1.1.2. Nhiệt độ môi trường

Giải nhiệt độ bình thường từ -5°C đến +40°C

Chú ý 1: giải nhiệt độ này áp dụng cho các thiết bị chống sét làm việc trong nhà tương ứng với tiêu chuẩn mã AB4 theo IEC 60364-5-51

Giải nhiệt độ mở rộng từ -40°C đến +70°C

Chú ý 2: giải nhiệt độ này áp dụng cho thiết bị chống sét làm việc ngoài trời trong điều kiện không có vỏ bảo vệ môi trường theo cấp 3K7 tiêu chuẩn IEC 60721-3-3.

Nhiệt độ bảo quản từ -40°C đến $+70^{\circ}\text{C}$

Chú ý 3: tất cả các thông số có mức cao hơn do nhà sản xuất công bố và lựa chọn

4.1.1.3. Độ ẩm tương đối

Giải độ ẩm bình thường từ 5% đến 95%

Chú ý 1: giải độ ẩm này áp dụng cho thiết bị chống sét lắp đặt trong nhà tương ứng với mã AB4 theo tiêu chuẩn IEC 60364-5-51

Giải độ ẩm mở rộng từ 5% đến 100%

Chú ý 2: giải độ ẩm này áp dụng cho thiết bị chống sét lắp đặt ngoài trời ví dụ thiết bị chống sét được lắp đặt trong hộp bảo vệ khí hậu & môi trường.

4.1.2. Các điều kiện thực hiện bất thường

Việc thử nghiệm thiết bị chống sét trong điều kiện không bình thường cần phải có những cân nhắc thận trọng dựa trên thiết kế và ứng dụng của thiết bị chống sét và cần phải lưu ý đến các chỉ dẫn của nhà sản xuất.

4.2. Thử nghiệm nhiệt độ và độ ẩm

Nếu xác định được trước về tính năng của thiết bị chống sét trong thử nghiệm không chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ, nhiệt độ chuẩn được dùng để thử nghiệm đặt ở mức $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ với độ ẩm môi trường ở mức 45% đến 55% cho các thử nghiệm. với các thiết bị có nhạy cảm về nhiệt độ làm việc thiết bị sẽ được thử nghiệm với nhiệt độ ở mức biên giới hạn nhiệt độ làm việc cho thiết bị được đưa vào thử nghiệm. việc lựa chọn giải nhiệt độ trong thử nghiệm có thể hẹp hơn giải nhiệt độ được đề cập trong 4.1 tùy thuộc vào thử nghiệm. Đối với một thiết bị chống sét cụ thể, có thể biết trước thiết bị chỉ bị đặt vào chế độ làm việc tối nhất trong thử nghiệm khi nhiệt độ môi trường đạt biên trong giải nhiệt độ cho phép, trong trường hợp này thiết bị chỉ cần thực hiện thử nghiệm ở giải nhiệt độ biên để xác định tính năng của thiết bị trong trường hợp chế độ làm việc tối nhất, giải nhiệt độ biên có thể thay đổi tùy thuộc vào thử nghiệm tính năng khác nhau đối với cùng 1 thiết bị được đề cập đến trong mục 6.

Khi thử nghiệm được yêu cầu thực hiện ở giải nhiệt độ biên, thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm phải đảm bảo được làm nóng hay làm lạnh đến nhiệt độ biên theo yêu cầu của thử nghiệm, thời gian gia nhiệt phải đảm bảo đủ lớn để không làm hỏng bộ phận của thiết bị chống sét do nhiệt. Nếu không có chỉ định rõ ràng thời gian gia nhiệt vào khoảng 1 giờ, nhiệt độ của thiết bị chống sét được giữ ở nhiệt độ xác định ổn định trong khoảng thời gian đưa vào thử nghiệm, nếu không có chỉ định rõ ràng nào thì thời gian giữ nhiệt là 15 phút.

4.3. Thử nghiệm thiết bị chống sét – SPD testing

Thiết bị chống sét đạt các tiêu chuẩn IEC 61643-21 phải được thử nghiệm bằng cách kết nối cổng của thiết bị chống sét hoặc các cực bảo vệ với các điều kiện làm việc theo tiêu chuẩn đề ra, đồng thời các thiết bị đo xác định tình trạng làm việc của thiết bị trong quá trình thử nghiệm cũng như giám sát các thông số đưa vào trong thử nghiệm, với các điều kiện đó các cực của thiết bị cũng cần phải được thử nghiệm về tính kết nối là một phần của các thử nghiệm.

Đối với các ứng dụng cho truyền thông thông tin, tiêu chuẩn ITU-T đưa ra một loạt các yêu cầu về bảo vệ kết nối chắc chắn theo K-65 hay thiết bị đầu cuối theo K-55.

Khi thiết bị đi kèm theo đề trong thử nghiệm, các thiết bị đo phải được kết nối đến thiết bị chống sét với các đoạn cáp càng ngắn càng tốt, thiết bị hiện sóng phải đạt tiêu chuẩn IEC 61083-1.

Chú ý: cài đặt chế độ hiện sóng theo phụ lục D.

Các thiết bị chống sét theo hình vẽ 1c, 1e hay 1f có thể có phần tử giới hạn dòng hoặc là có kết

nổi bên trong có khả năng dẫn dòng xung sét, nhà sản xuất sẽ phải công bố khả năng chịu dòng xung sét(xung lực) đối với thiết bị chống sét được thử nghiệm, cường độ của dòng xung lực này có thể nhỏ hơn một số lần so với cường độ xung lực mà mỗi công của thiết bị chống sét có khả năng chịu trong đó n bằng số công của thiết bị chống sét.

Thiết bị chống sét phải được thử nghiệm với tất cả các công với sự tương đồng về thông số thử nghiệm.

Vấn đề về kích thước của thiết bị cũng như tỷ lệ lỗi thiết bị là sự thoả thuận giữa nhà sản xuất và người sử dụng.

4.4. Độ sai lệch của xung cho phép – Waveform tolerances

Quy định về dạng xung tiêu chuẩn với tham số A/B trong đó A là thời gian sườn trước của xung được tính bằng micro giây và B là thời gian tính bằng micro giây của sườn sau của xung được tính từ thời điểm xung giảm từ đỉnh xuống $\frac{1}{2}$ giá trị đỉnh và tuân theo tiêu chuẩn IEC 60060-1 (tham khảo thêm tiêu chuẩn IEC 61000-4-5), bảng 2 dưới đây chỉ ra các tham số trong khoảng dao động cho phép được sử dụng trong tiêu chuẩn này.

Bảng 2 - Độ sai lệch xung thử nghiệm cho phép

Tham số xung	Dạng xung điện áp hở mạch 1,2/50 và 10/700	Dạng xung dòng ngắn mạch 8/20 và 5/300	Dạng khác
Giá trị đỉnh	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
Sườn trước	$\pm 30\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$
Sườn sau	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$

5. Các yêu cầu

5.1. Yêu cầu chung – General requirement

Các yêu cầu sau đây áp dụng cho tiêu chuẩn IEC 61643-21 đối với các thiết bị chống sét truyền thông, tín hiệu ..etc

5.1.1. Các ký hiệu, từ chuyên ngành và tài liệu

Các thông tin trong mục từ a đến n dưới đây phải được ghi đầy đủ trên thiết bị chống sét như trong mô tả của mục 5.1.2 hoặc trong tài liệu đi kèm hoặc trên vỏ đóng gói thiết bị, tất cả các ký hiệu viết tắt phải được chú thích rõ ràng trong tài liệu kỹ thuật. Mọi thử nghiệm đối với thiết bị chống sét theo mục 6, điều kiện và tình trạng thử nghiệm phải được ghi lại trong tài liệu thử nghiệm thiết bị.

a) Tên nhà sản xuất hoặc tem nhãn sản phẩm

b) Ngày tháng năm sản xuất thiết bị hoặc số hiệu sản phẩm

c) Kiểu thiết bị

d) Mục đích áp dụng

e) Điện áp làm việc liên tục lớn nhất U_c

f) Mức dòng làm việc

g) Mức điện áp bảo vệ U_p

h) Mức xung phục hồi (Impulse reset) nếu áp dụng

i) Tính ổn định với nguồn AC

j) Độ ổn định với xung

k) Tình trạng lỗi khi xung vượt ngưỡng

l) Các thông số truyền thông

m) Các thông tin bổ sung, tùy điều kiện áp dụng, vấn đề thay thế phần tử chống sét và

tần số làm việc.

n) Trở kháng nối tiếp (series impedance – if applicable) nếu áp dụng

5.1.2. Tem nhãn sản phẩm – Marking

Tem nhãn thiết bị chống sét phải rõ ràng các thông tin theo các mục thuộc 5.1.1 gồm a) tên nhà sản xuất hoặc tên thương mại của thiết bị; b) mã sản xuất của thiết bị có thể tra cứu ngày tháng năm sản xuất; c) kiểu thiết bị và e) điện áp làm việc liên tục lớn nhất. Tem nhãn thiết bị phải rõ ràng và có thể chống bám bẩn và chống bám bẩn trong quá trình sử dụng. Tất cả các chú ý trong việc vận chuyển hoặc lắp đặt phải được ghi chú trên vỏ thiết bị và trong tài liệu thiết bị. Thiết bị đạt các yêu cầu kể trên sau khi tuân thủ quy trình kiểm tra theo 6.1.2

5.2. Các yêu cầu về thông số kỹ thuật điện

Các thiết bị chống sét phải đáp ứng theo yêu cầu về thông số kỹ thuật điện theo các thử nghiệm tuân theo quy trình được quy định trong phụ lục của mục 6

5.2.1. Các yêu cầu về điện áp giới hạn của thiết bị chống sét

Khi thiết bị chống sét chỉ bao gồm duy nhất phần tử giới hạn điện áp, thiết bị chống sét phải đáp ứng tất cả các yêu cầu trong mục 5.2.1, nếu thiết bị chống sét bao gồm các phần tử giới hạn điện áp và giới hạn dòng thì thiết bị chống sét cần phải đáp ứng các yêu cầu trong mục 5.2.1 đồng thời đáp ứng tất cả các ứng dụng yêu cầu theo 5.2.2

Một thiết bị chống sét bao gồm phần tử tuyến tính nối giữa cực đầu của thiết bị chống sét và đường dây được bảo vệ phải đáp ứng các yêu cầu ứng dụng trong mục 5.2.2

5.2.1.1. Điện áp làm việc liên tục lớn nhất U_c

Nhà sản xuất phải công bố điện áp làm việc liên tục lớn nhất đối với thiết bị chống sét và phải phù hợp với ứng dụng cho nguồn điện AC với điện áp quy đổi r.m.s hoặc DC Đánh giá đáp ứng tiêu chuẩn được kiểm tra theo mục 6.2.1.1

5.2.1.2. Điện trở cách điện

Thông số kỹ thuật này phải được công bố bởi nhà sản xuất và phải được thử nghiệm theo quy định tại mục 6.2.1.2

5.2.1.3. Giới hạn điện áp xung – Impulse limiting voltage

Thiết bị chống sét phải có ngưỡng điện áp xung xác định khi được thử nghiệm trong điều kiện xác định theo bảng 3. Điện áp xung ngưỡng cho phép phải nhỏ hơn điện áp bảo vệ U_p , tham khảo tiêu chuẩn IEC 61180-1

5.2.1.4. Xung chuyển trạng thái – Impulse reset

Yêu cầu kỹ thuật này chỉ áp dụng đối với thiết bị chống sét dùng phần tử chuyển mạch bằng điện áp. Thiết bị chống sét khi chịu tác động xung xác định theo bảng 3 sẽ chuyển sang trạng thái dẫn điện dập dòng xung hoặc về trạng thái không dẫn điện. Trong quá trình thử nghiệm dòng xung tác động lên thiết bị chống sét, đồng thời đặt điện áp thử nghiệm lên thiết bị chống sét theo bảng 4. Trừ trường hợp có lựa chọn khác, thiết bị chống sét phải trở lại trạng thái bình thường sau khoảng thời gian 30ms hoặc ít hơn.

5.2.1.5. Tính ổn định với nguồn điện AC

Thiết bị chống sét sau khi vượt qua thử nghiệm theo mục 6.2.1.6 với các dòng thử nghiệm theo bảng 5 phải đáp ứng các yêu cầu ứng dụng theo mục 5.2.1 và 5.2.2

5.2.1.6. Tính ổn định với xung – Impulse durability

Thiết bị chống sét sau khi vượt qua thử nghiệm theo mục 6.2.1.6 với dòng xung và

điện áp xung có dạng sóng theo bảng 3 phải đáp ứng yêu cầu ứng dụng theo mục 5.2.1 và 5.2.2

5.2.1.7. Chế độ lỗi khi xung vượt ngưỡng

Thiết bị chống sét trong quá trình thử nghiệm không bị cháy, nổ hoặc dò xung phóng ra vỏ và không thải ra khí độc trong quá trình thử nghiệm theo 6.2.1.7

Nhà sản xuất phải cung cấp thông tin về khả năng dòng xung làm việc lớn nhất dạng xung 8/20 đồng thời phải cung cấp ngưỡng xung dẫn đến hỏng thiết bị chống sét như mô tả trong mục 6.2.1.7

5.2.1.8. Điểm mù – Blind Spot

Nếu không có thông tin nào về điểm mù từ nhà sản xuất cung cấp hoặc kiểm tra không xác định được điểm mong muốn, thử nghiệm thiết bị nhiều tầng bảo vệ được thực hiện theo mục 6.2.1.8

5.2.2. Yêu cầu về giới hạn dòng – current limiting requirements

Khi thiết bị chống sét được cấu tạo bao gồm cả phần tử giới hạn điện áp và giới hạn dòng, phần tử chống sét kiểu giới hạn dòng phải đáp ứng các yêu cầu theo mục 5.2.2. Thiết bị chống sét có chứa phần tử tuyến tính (ví dụ: điện trở, dây dẫn) nối giữa các cực các phần tử chống sét phải đáp ứng theo yêu cầu của mục 5.2.2.1; 5.2.2.2; 5.2.2.7 và 5.2.2.8

5.2.2.1. Dòng tải

Nhà sản xuất phải tuyên bố khả năng chịu dòng tải của thiết bị chống sét. Để xác định thông số này thiết bị chống sét phải được thử nghiệm theo mục 6.2.2.1, Trong và sau quá trình thử nghiệm dòng tải này, phần tử chống sét kiểu giới hạn dòng phải không thay đổi tính năng kỹ thuật làm việc.

5.2.2.2. Trở kháng nối tiếp – Series resistance

Nhà sản xuất phải công bố thông tin về trở kháng và độ sai lệch trở kháng nối tiếp. Để xác định các tham số này thiết bị sẽ được thử nghiệm theo 6.2.2.2

5.2.2.3. Thời điểm đáp ứng của phần tử giới hạn dòng

Khi thử nghiệm theo mục 6.2.2.3, phần tử giới hạn dòng phải có thời gian đáp ứng nhỏ hơn hoặc bằng với thời gian nhà sản xuất tuyên bố, giá trị dòng đáp ứng tiêu chuẩn được đề cập trong bảng 6. Tham khảo tiêu chuẩn ITU-T phần K30.

5.2.2.4. Thời điểm phục hồi của phần tử giới hạn dòng

Thiết bị chống sét bao gồm 1 hay nhiều phần tử giới hạn dòng có chức năng tự phục hồi, thời gian phục hồi hay thời gian để phần tử thiết bị chống sét trở về trạng thái bình thường

Yêu cầu này không áp dụng cho thiết bị chống sét được chế tạo từ phần tử chống sét giới hạn dòng phục hồi bằng nhân công.

5.2.2.5. Điện áp ngắt lớn nhất – Maximum interrupting voltage

Yêu cầu này chỉ áp dụng cho thiết bị chống sét được chế tạo từ phần tử chống sét giới hạn dòng tự phục hồi hoặc phục hồi bằng nhân công. Nhà sản xuất phải công bố điện áp ngắt lớn nhất của thiết bị chống sét được chế tạo từ phần tử chống sét giới hạn dòng. Để xác định lại các thông số này thực hiện thử nghiệm theo mục 6.2.2.5. Sau các thử nghiệm trên phần tử chống sét giới hạn dòng không được suy giảm tính năng bảo vệ như ban đầu.

5.2.2.6. Thử khả năng chịu tải khi làm việc – Operating duty test

Yêu cầu này chỉ áp dụng cho các thiết bị chống sét được chế tạo từ phần tử chống sét

giới hạn dòng tự phục hồi hoặc phục hồi bằng nhân công. Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được thử nghiệm nhiều lần với điện áp giới hạn (ngắt) bảo vệ lớn nhất. Dòng làm việc hay thử nghiệm phải có cường độ đủ lớn để kích hoạt làm việc phần tử chống sét giới hạn dòng và tham số sử dụng lựa chọn theo bảng 7. Sau khi trải qua các thử nghiệm theo trình tự thiết bị chống sét phải đảm bảo đạt yêu cầu theo mục 5.2.2.3 và 5.2.2.4.

5.2.2.7. Tính ổn định với nguồn điện AC

Thiết bị chống sét phải làm việc với dòng xác định trong các thử nghiệm đối với thiết bị chống sét. Bảng 8 đưa ra các mức dòng xác định. Thiết bị chống sét sau khi làm việc với các dòng thử nghiệm, phần tử chống sét giới hạn dòng phải đạt yêu cầu theo các mục 5.2.2.1; 5.2.2.2 và 5.2.2.3.

5.2.2.8. Tính ổn định với dòng xung

Thiết bị chống sét phải được thử nghiệm với một loạt xung với cường độ xung ở mức cực đại (đỉnh xung). Bảng 9 đưa ra các mức dòng xung xác định. Sau khi thử nghiệm với các dòng xung theo yêu cầu 6.2.2.8, các phần tử chống sét giới hạn dòng của thiết bị chống sét được thử nghiệm phải đạt yêu cầu theo 5.2.2.1, 5.2.2.2 và 5.2.2.3.

5.2.3. Yêu cầu về truyền thông

Thiết bị chống sét cần phải đạt các yêu cầu theo 5.2.3, yêu cầu bổ sung đối với 5.2.1 và 5.2.2, tùy thuộc vào ứng dụng dạng tín hiệu hoặc truyền thông cụ thể (ví dụ: tín hiệu thoại, dữ liệu và video). Bảng 1 cung cấp các hướng dẫn thử nghiệm tùy thuộc vào ứng dụng truyền thông.

5.2.3.1. Điện dung

Nhà sản xuất phải công bố thông số điện dung giữa các cực của thiết bị, để xác định đạt tiêu chuẩn thử nghiệm tuân thủ theo 6.2.3.1.

5.2.3.2. Suy hao xen vào

Thiết bị chống sét trong thử nghiệm phải xác định sự chênh lệch điện áp giữa điện áp từ máy phát đặt lên thiết bị đến điện áp đo được đầu ra của thiết bị chống sét theo 6.2.3.3

5.2.3.3. Suy hao phản hồi – Return loss

Thiết bị chống sét được thử nghiệm theo 6.2.3.3 nhằm xác định tổng số tín hiệu phản hồi về nguồn tín hiệu, ngoài tác động gây ra do giải tần làm việc của thiết bị chống sét còn có nguyên nhân do sự xen vào của thiết bị chống sét lên mạch truyền thông.

5.2.3.4. Truyền thông hai dây cân bằng

Thiết bị chống sét được thử nghiệm theo 6.2.3.4 thử nghiệm này nhằm xác định mức thấp nhất về độ dài cân bằng khi lắp thiết bị chống sét đối với mạch cân bằng. Độ dài cân bằng được đo bằng giải tần số là rất quan trọng.

5.2.3.5. Hệ số bit lỗi

Thiết bị chống sét được thử nghiệm theo 6.2.3.5, thử nghiệm này nhằm xác định việc lắp thiết bị chống sét xen vào gây ra số bit lỗi trong truyền thông số (digital).

5.2.3.6. Tín hiệu xen vào đầu cuối – Near-End Crosstalk

Thiết bị chống sét được thử nghiệm theo 6.2.3.6, thử nghiệm này nhằm xác định số tín hiệu cảm ứng gây ra do việc lắp thiết bị chống sét gây ra từ dây này sang dây kia.

5.3. Yêu cầu về kết cấu cơ khí của thiết bị chống sét

Thiết bị chống sét phải đáp ứng yêu cầu về kết cấu cơ khí theo các mục dưới đây, tuy nhiên yêu

cầu kết cấu cơ khí có thể phải tuân thủ theo yêu cầu cao hơn đối với tiêu chuẩn từng quốc gia quy định

5.3.1. Công và đầu nối

5.3.1.1. Công và đầu nối phải được gắn chặt trên thiết bị chống sét và phải đảm bảo không gây ra ngắt kết nối khi đã được xiết bằng dụng cụ.

5.3.1.2. Vít, chịu dòng tải và cực nối

- 1) Cực nối phải chịu được các tác động mà không làm đứt kết nối trong quá trình sử dụng bình thường. kết cấu cơ khí dẫn điện phải chịu được xung lực cao do năng lượng của xung gây ra.

Vít gắn trong quá trình lắp thiết bị chống sét không được sử dụng kiểu vít khoan ren.

Kiểm tra đáp ứng các yêu cầu trên bằng cách kiểm tra và thử nghiệm theo 6.3.1.2

- 2) Cực kết nối điện phải được thiết kế chắc chắn đảm bảo tính dẫn điện tốt với vật liệu chế tạo không phải từ gốm hoặc mica hoặc các vật liệu có tính chất dẫn điện không phù hợp, trừ trường hợp vật liệu có tính đàn hồi được pha vào vật liệu kim loại để giảm độ cứng hoặc giòn

Đáp ứng tiêu chuẩn bằng phương pháp kiểm tra thực tế bằng mắt và nhân công.

Đáp ứng các điều kiện về vật liệu phù hợp còn phải xét đến kích thước các cực của thiết bị chống sét.

- 3) Phần dẫn dòng bao gồm cả các cực đầu dây và cho tiếp địa trong bất kỳ trường hợp nào cũng phải được chế tạo từ:
 - a. Đồng hoặc
 - b. Hợp kim đồng với ít nhất 58% đồng để đảm bảo độ dẫn điện và nhiệt độ thấp.
 - c. Hợp kim đồng với tối thiểu 50% đồng cho chế độ làm việc dẫn điện sinh nhiệt với các thành phần kim loại khác dùng để phủ nhưng không làm tăng điện trở dẫn điện cao hơn đồng đồng thời đảm bảo kết cấu chắc chắn không thấp hơn mức yêu cầu.

Các yêu cầu về kết cấu cơ khí đối với các cực đầu dây của thiết bị được đề cập đến bao hàm trong tiêu chuẩn IEC 61643-1.

5.3.1.3. Cực đầu dây có vít xiết đầu cáp

- 1) Cực đầu dây phải có kết cấu chắc chắn với các yêu cầu sau

Mỗi cực đầu dây chỉ nối 1 dây dẫn đồng thời có thể đầu dây hoặc ngắt dây riêng rẽ.

- 2) Có thể kẹp đầu cáp với kích thước lớn đến kích thước cho phép đã được thiết kế và yêu cầu

5.3.1.4. Cách điện nối đầu cáp

Phần đầu nối cách điện phải đảm bảo kết cấu chắc chắn tin cậy, kiểm tra tính hợp quy bằng nhân công và thử nghiệm theo 6.3.1.4

Vít xiết đầu nối kẹp cáp được đánh dấu cho một đầu không được dùng để cố định phần khác thậm chí là để cố định thiết bị

Kiểm tra hợp quy bằng nhân công

Kim loại làm vít không được sử dụng bằng vật liệu kim loại mềm và thiếu tin cậy.

5.3.1.5. Chịu va đập kim loại

Các loại kẹp, khoá, kẹp giữ cáp, vòng đệm siết cáp, cáp và các phần tương tự phải chịu được các lực siết như kim loại (tham khảo thêm IEC 60999-1).

5.3.2. Yêu cầu về chịu lực

Kết cấu thiết bị chống sét phải đảm bảo đủ chắc chắn khi lắp đặt để đảm bảo làm việc ổn định.

5.3.3. Chống tác động của vật rắn và nước từ bên ngoài

Thiết bị chống sét phải có kết cấu đảm bảo yêu cầu vận hành trong điều kiện theo yêu cầu mô tả trong mục 4.1, Thiết bị lắp đặt ngoài trời phải được lắp trong hộp kín chống lại tác động của môi trường bằng thủy tinh hoặc vật liệu gốm tráng men hoặc vật liệu cho phép khác chịu được ăn mòn, chống tia cực tím, va đập .v.v

Các thiết bị được lắp phải có khoảng cách với bề mặt đủ lớn giữa 2 phần tử có điện thế chênh lệch, ở một số quốc gia có thể áp dụng tiêu chuẩn của quốc gia cho các yêu cầu trên.

5.3.4. Bảo vệ chống tiếp xúc trực tiếp

Để đảm bảo không thể tiếp xúc trực tiếp vào các phần dẫn điện hoặc các phần tử chống sét thiết bị chống sét cần phải được thiết kế đảm bảo không thể có tiếp xúc trực tiếp của người vào các phần kể trên khi thiết bị chống sét được lắp đặt đưa vào sử dụng. Các yêu cầu này áp dụng cho các thiết bị chống sét làm việc với đường dây có điện áp U_C từ 50V rms hoặc 71VDC trở lên.

Thiết bị chống sét, ngoại trừ các thiết bị không thể tiếp cận, phải có thiết kế chắc chắn khi lắp đặt đầu nối dẫn từ bên ngoài không thể tiếp xúc trực tiếp với con người trong điều kiện sử dụng bình thường, phần cực đầu nối cũng như các phần tử chống sét bên trong thiết bị không thể tiếp xúc trực tiếp ngay cả trong trường hợp thiết bị được tháo ra bằng tay mà không cần dụng cụ (kiểm tra hợp quy về cách điện theo mục 6.3.4).

Phần cực đầu nối giữa tiếp địa và các phần cực đầu nối khác có thể tiếp xúc phải có điện trở tiếp xúc nhỏ (tham khảo IEC 60529).

Một số quốc gia khác có thể có quy định quốc gia riêng.

5.3.5. Chống cháy

Các phần cách điện phải được chế tạo từ vật liệu không cháy hoặc tự dập lửa.

Một số quốc gia khác có thể có quy định riêng.

5.4. Yêu cầu về môi trường.

Thiết bị chống sét với mục đích sử dụng trong điều kiện môi trường theo yêu cầu 4.1 được coi là hợp quy sau khi có thỏa thuận thống nhất giữa người dùng và nhà sản xuất.

5.4.1. Nhiệt độ và chịu ẩm cao

Thiết bị được đặt trong môi trường thử nghiệm với nhiệt độ 80°C và độ ẩm 90%, thời gian thử nghiệm thiết bị coi là đạt yêu cầu khi thực hiện theo bảng 15. Thử nghiệm này chỉ áp dụng cho thiết bị lắp đặt sử dụng trong môi trường không ổn định và quy trình thử nghiệm hợp quy tuân theo 6.4.1, sau khi thử nghiệm trên hoàn thành thiết bị chống sét với các phần tử chống sét giới hạn điện áp phải hợp quy theo yêu cầu 5.2.1.2 và 5.2.1.3, nếu thiết bị được đưa vào thử nghiệm có phần tử giới hạn dòng thì phải hợp quy theo yêu cầu 5.2.2.2 và 5.2.2.3

Trong trường hợp seri sản phẩm được nhà sản xuất công bố đầy đủ thông tin, ngoài thông tin về U_C , và các sản phẩm cùng loại khác, ngoại trừ trường hợp điện áp làm việc thay đổi

dẫn đến điện áp U_C của thiết bị thay đổi theo tương ứng, thì chỉ cần thử nghiệm với mức điện áp bảo vệ lớn nhất.

5.4.2. Thử nghiệm lặp lại về điều kiện môi trường khi thiết bị chống sét đang chịu dòng xung.

Thiết bị đặt trong môi trường thử nghiệm với mức nhiệt độ và độ ẩm cao nhất trong khi dẫn dòng xung. Các thông số về môi trường lặp lại trong thử nghiệm khi thiết bị dẫn dòng xung lựa chọn theo bảng 16.

Trong và sau quá trình thử nghiệm với điều kiện môi trường ở mức cao nhất, phần tử chống sét kiểu giới hạn điện áp phải đáp ứng yêu cầu theo 5.2.1.2 và 5.2.1.3, nếu thiết bị đưa vào thử nghiệm bao gồm cả phần tử chống sét kiểu giới hạn dòng thì phải đáp ứng yêu cầu theo 5.2.2.2 và 5.2.2.3.

Thiết bị đưa vào thử nghiệm này chỉ áp dụng cho các thiết bị dùng cho môi trường không ổn định và các thử nghiệm được thực hiện theo quy định 6.4.2

Trong trường hợp seri sản phẩm được nhà sản xuất công bố đầy đủ thông tin, ngoài thông tin về U_C , và các sản phẩm cùng loại khác, ngoại trừ trường hợp điện áp làm việc thay đổi dẫn đến điện áp U_C của thiết bị thay đổi theo tương ứng, thì chỉ cần thử nghiệm với mức điện áp bảo vệ lớn nhất.

5.4.3. Thử nghiệm lặp lại về điều kiện môi trường khi thiết bị chịu dòng xung AC

Thiết bị đặt trong môi trường thử nghiệm với nhiệt độ và độ ẩm cao nhất trong khi dẫn dòng thay đổi. Cường độ dòng thử nghiệm và thời gian thử nghiệm lựa chọn theo bảng 5, nhiệt độ và độ ẩm thử nghiệm lựa chọn theo bảng 16.

Trong và sau quá trình thử nghiệm với điều kiện môi trường ở mức cao nhất, thiết bị chống sét phải đáp ứng yêu cầu theo 5.2.1.2 và 5.2.1.3

Thiết bị chống sét thử nghiệm trong điều kiện này chỉ áp dụng cho thiết bị sử dụng trong điều kiện môi trường không ổn định và đáp ứng quy chuẩn theo 6.4.3

Trong trường hợp seri sản phẩm được nhà sản xuất công bố đầy đủ thông tin, ngoài thông tin về U_C , và các sản phẩm cùng loại khác, ngoại trừ trường hợp điện áp làm việc thay đổi dẫn đến điện áp U_C của thiết bị thay đổi theo tương ứng, thì chỉ cần thử nghiệm với mức điện áp bảo vệ lớn nhất.

6. Quy trình thử nghiệm

6.1. Yêu cầu chung đối với các thử nghiệm

6.1.1. Nhận dạng sản phẩm và tài liệu

Nhận dạng sản phẩm và tài liệu thiết bị đi kèm được kiểm tra bằng nhân công theo yêu cầu 5.1.1

6.1.2. Tem nhãn sản phẩm

Kiểm tra tem nhãn sản phẩm được thực hiện bởi nhân công, Những quy tắc nhận dạng sau đây được thực hiện đối với tem nhãn của tất cả các sản phẩm ngoại trừ việc chúng được làm theo kiểu đóng dấu, khuôn hoặc khắc.

Kiểm tra bằng cách cọ xát bằng tay với vải cotton len nhúng nước trong thời gian 15 giây và lặp lại với dung dịch benzen thơm với nồng độ tối đa 0,1% trong thời gian 15 giây. Một dung dịch nhựa thông hoà butanol 29 với nhiệt độ sôi ở 65°C với trọng lượng riêng khoảng 0,68g/cm³. Sau khi hoàn tất các thử nghiệm tem nhãn sản phẩm vẫn phải rõ ràng dễ đọc.

6.2. Thử nghiệm thông số kỹ thuật điện

6.2.1. Thử nghiệm điện áp giới hạn

6.2.1.1. Thử nghiệm điện áp làm việc liên tục lớn nhất U_C

Điện áp U_C được kiểm tra trong quá trình thử nghiệm cách điện theo yêu cầu 6.2.1.2.

6.2.1.2. Điện trở cách điện

Điện trở cách điện cần phải được xác định ở cả đầu vào và đầu ra tại cùng thời điểm trên cả 2 cực của thiết bị chống sét. Điện áp thử nghiệm thiết bị được đặt ở mức U_C , thiết bị đo mức dòng chạy qua thiết bị chống sét xác định dòng qua thiết bị, điện trở cách điện được xác định bằng tỷ lệ giữa điện áp và dòng chạy qua thiết bị và phải lớn hơn hoặc bằng với mức nhà sản xuất tuyên bố.

6.2.1.3. Xung thử nghiệm giới hạn điện áp

Thiết bị chống sét được thử nghiệm với 1 xung được lựa chọn từ mục C của bảng 3 đặt lên cực phù hợp của thiết bị. Mức dòng xung thử nghiệm được lựa chọn phù hợp căn cứ trên khả năng chịu mức năng lượng của thiết bị chống sét cũng như xem xét đến thử nghiệm ổn định xung theo 6.2.1.6; Cả xung thử nghiệm giới hạn điện áp và xung thử nghiệm độ ổn định đưa vào thử nghiệm phải thuộc 1 dạng xung, các mức xung được liệt kê trong bảng 3 là những yêu cầu tối thiểu. Các dạng xung khác căn cứ theo tiêu chuẩn ví dụ theo đề xuất của ITU-T.

Các dạng xung khác được thử nghiệm có thể lựa chọn từ mục A1, B, C và D cũng như các dạng xung được liệt kê trong tài liệu kỹ thuật của thiết bị chống sét. Tuy nhiên, các thử nghiệm này là tùy chọn thêm và phải được áp dụng phù hợp với ứng dụng của thiết bị chống sét. Mức xung thử nghiệm phải căn cứ trên khả năng chịu mức năng lượng của thiết bị chống sét theo tuyên bố của nhà sản xuất.

Ngoại trừ trường hợp có chỉ định đặc biệt khác, một lần thử nghiệm xung sẽ bao gồm 5 xung âm và 5 xung cực dương. Máy phát xung phát ra xung áp dạng hở mạch và dòng ngắn mạch được lựa chọn theo bảng 3.

Đo mức điện áp giới hạn với mỗi lần phát xung thử nghiệm không có tải. Mức điện áp cực đại đo được trên cực phù hợp của thiết bị chống sét không được vượt quá mức điện áp bảo vệ đã được tuyên bố (U_P). Thời gian nghỉ giữa các lần thử nghiệm phải đủ dài để đảm bảo nhiệt độ của thiết bị trở về môi trường ban đầu như trước khi thử nghiệm, điều đó có nghĩa là mỗi thiết bị khác nhau sẽ có đặc tuyến theo nhiệt độ khác nhau. Và vì thế việc nghỉ giữa các lần phát xung thử nghiệm là điều cần thiết.

Xem phụ lục D để có chi tiết về thiết lập thiết bị ghi lại quá trình phát xung thử nghiệm.

Xung thử nghiệm được đặt lên các cực của thiết bị chống sét X1 và X2 theo hình vẽ 1c và 1e.

Thử nghiệm thiết bị chống sét theo sơ đồ 1c và 1e, mỗi cặp cực (X1-C và X2-C) có thể thử nghiệm đồng thời, cùng cực xung hoặc riêng rẽ.

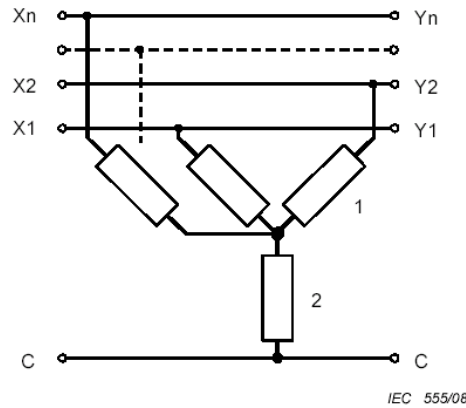
Thiết bị chống sét được chế tạo từ phần tử rẽ nhánh, điện áp làm việc bình thường đặt lên cực của thiết bị chống sét trong thời gian không có xung đo được không được vượt quá mức điện áp bảo vệ U_P .

Table 3 – Voltage and current waveforms for impulse-limiting voltage

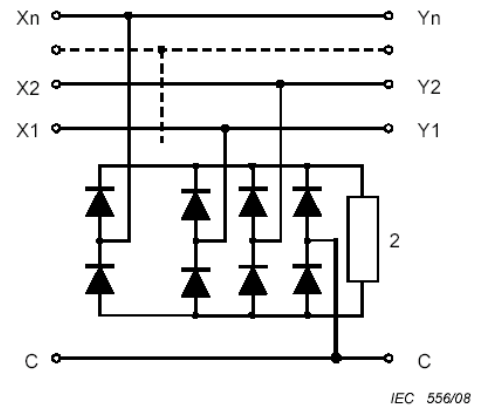
Category	Type of test	Open-circuit voltage ^a	Short-circuit current	Minimum number of applications	Terminals to be tested
A1	Very slow rate of rise	≥ 1 kV Rate of rise from 0,1 kV/μs to 100 kV/s	10 A, 0,1 A/μs to 2 A/μs, ≥ 1 000 μs (duration)	Not applicable (NA)	X1 – C X2 – C X1 – X2 ^b
A2	AC	Select a test from Table 5		Single cycle	
B1	Slow rate of rise	1 kV 10/1000	100 A, 10/1000	300	
B2		1 kV to 4 kV 10/700	25 A to 100 A 5/300	300	
B3		≥ 1 kV 100 V/μs	10 A to 100 A 10/1 000	300	
C1	Fast rate of rise	0,5 kV to < 2 kV 1,2/50	0,25 kA to < 1 kA 8/20	300	
C2		2 kV to 10 kV 1,2/50	1 kA to 5 kA 8/20	10	
C3		≥ 1 kV 1 kV/μs	10 A to 100 A 10/1 000	300	
D1	High energy	≥ 1 kV	0,5 kA to 2,5 kA 10/350	2	
D2		≥ 1 kV	0,6 kA to 2,0 kA 10/250	5	
^a An open-circuit voltage different from 1 kV may be used. However, it must be sufficient to operate the SPD under test.					
^b X1 – X2 terminals shall be tested only if it is required.					
NOTE 1 For the verification of U_p , one of the above impulse waveform of category C is mandatory and A, B and D are optional. Unless otherwise specified, apply 5 positive and 5 negative pulses.					
NOTE 2 For impulse reset, select test from category B, C and D. Unless otherwise specified, apply 3 positive and 3 negative pulses.					
NOTE 3 For impulse durability measurement, one impulse waveform of category C is mandatory and A1, B and D are optional.					
NOTE 4 Values listed in Table 3 are minimum requirements; other surge current ratings are possible and can also be found in other standards e.g. ITU-T K series – Recommendations.					

Thử nghiệm mô phỏng trên các dây được bảo vệ

Thiết bị chống sét nhiều dây (nhiều cực) sử dụng với phần tử chống sét thông thường sẽ gồm đường kết nối tiếp địa để thoát toàn bộ năng lượng dòng xung sét. Hai ví dụ chỉ ra trong hình 16. Tất cả các cực bảo vệ của thiết bị chống sét được đặt xung với mức xung bằng tổng mức xung thử nghiệm chia đều cho số cực của thiết bị tương ứng với số dây được bảo vệ, đặt các mức điện áp và dòng làm việc mô phỏng trong thử nghiệm để kiểm chứng rằng các phần tử chống sét có khả năng làm việc tương ứng với các thông số được tuyên bố bởi nhà sản xuất. Sau thử nghiệm này kết thúc, các phần tử chống sét phải đảm bảo không suy giảm các tính năng bảo vệ. Thử nghiệm này cũng nhằm mục đích thử nghiệm các kết nối trong thiết bị chống sét đáp ứng yêu cầu theo tuyên bố của nhà sản xuất về khả năng dẫn dòng.



Star protection circuit



Diode steering bridge

Key

X1, X2, Xn, line terminals
Y1, Y2, Yn, protected line terminals
C common

1 individual protective element
2 common protective element

Figure 16 – Examples of multi-line SPDs with a common protective element

Các yêu cầu về phân phối dòng (sơ đồ đấu nối) trong hình minh hoạ 16 được diễn tả như sau

Các dây nối không ảnh hưởng đến dòng xung thử nghiệm, Tất cả các xung thử nghiệm có cường độ ở đầu ra của mạch đấu nối tương ứng với mức xung thử nghiệm áp dụng theo 4.4

Thời gian sườn trước và khoảng thời gian tồn tại của xung đối với xung áp (mạch hở) và xung dòng (ngắn mạch) được kiểm tra tại đầu ra của mạch đấu nối.

Dạng xung dòng ngắn mạch được tạo ra và giám sát nhờ việc sử dụng biến áp dòng tự ngẫu hoặc thiết bị giám sát dòng điện trở.

Mạch nối tốt nhất là dùng các điện trở

Phần dòng phân phối thử nghiệm trên mỗi cực trong mạch phân phối của thiết bị mẫu thử phải được thử nghiệm trước bằng cách thử riêng rẽ với một dây dẫn nối tắt. Kết quả của thử nghiệm này không đồng nghĩa với việc dòng phân phối với cường độ tương ứng khi đặt lên các cực của thiết bị chống sét.

Trong quá trình thử nghiệm mô phỏng phải đảm bảo rằng các cực dẫn nối đất phải dẫn toàn bộ năng lượng của xung qua nó mà không gây ra sự cố nào trên các phần tử chống sét của thiết bị chống sét.

6.2.1.4. Xung chuyển trạng thái

Thiết bị chống sét được đấu nối như hình vẽ số 2. Nguồn điện áp và nguồn dòng được lựa chọn theo bảng số 4 (nhưng không bị giới hạn), Nguồn điện sử dụng tương ứng với các thông số của thiết bị sử dụng trong thực tế. Đối với các ứng dụng mới nguồn xung dòng và xung áp tương ứng phải được thử nghiệm xác định mức xung chuyển trạng thái.

Dạng xung dòng và xung áp thử nghiệm được lựa chọn theo bảng 3 mục B, C và D. Điện áp đỉnh của xung áp (hở mạch) phải đủ lớn để phần tử giới hạn điện áp của thiết bị chống sét làm việc. Cực của xung áp phải cùng dấu với cực của nguồn điện áp mà

thiết bị sử dụng. Thời gian chuyển trạng thái của thiết bị chống sét được tính bằng khoảng thời gian từ khi bắt đầu phát xung đến khi thiết bị chống sét trở về trạng thái trở kháng cao ban đầu.

Trong khoảng thời gian không quá 1 phút phải phát 3 xung thử nghiệm, và thời gian chuyển trạng thái được tính với từng xung. Thử nghiệm được lặp lại với 3 xung ngược cực.

Table 4 – Source voltages and currents for impulse reset test

Open-circuit source voltage ^b V	Short-circuit source current mA
12	500
24	500
48	260
97	80
135	200 ^a
^a The SPD may be connected in parallel by a series combination of a 135-150 Ω resistor and a 0,08 μ F to 0,1 μ F capacitor.	
^b Tolerance (including ripple) + 10% -0%	

6.2.1.5. Tính ổn định với nguồn xoay chiều với chức năng giới hạn điện áp

Thiết bị chống sét thử nghiệm được kết nối theo hình vẽ số 3. Dòng ngắn mạch xoay chiều được lựa chọn từ bảng 5. Đặt nguồn dòng vào thiết bị thử nghiệm với số lần thử nghiệm được chỉ định theo ứng dụng và khoảng thời gian nghỉ giữa các thử nghiệm đủ dài để đảm bảo thiết bị chống sét trở về nhiệt độ môi trường thử nghiệm ban đầu. Điện áp xung hở mạch với cường độ đỉnh xung phải đủ lớn để đảm bảo các phần dẫn xung của thiết bị chống sét chịu tới hạn khả năng của thiết bị chống sét. Trước và sau thử nghiệm thiết bị chống sét với tính năng ổn định xung nguồn xoay chiều AC thiết bị phải đảm bảo đáp ứng yêu cầu theo 5.2.1.2; 5.2.1.3; 5.2.1.4(nếu áp dụng) và 5.2.2.2. Dòng xung thử nghiệm lựa chọn theo bảng 5 thử nghiệm với từng cực riêng rẽ của thiết bị chống sét.

Nếu có yêu cầu bắt buộc, xung dòng có thể đặt lên đồng thời các cực X1 và X2 của thiết bị theo hình vẽ 1c và 1e.

Đối với thiết bị chống sét được mô tả trong hình 1c và 1e từng cặp cổng (X1-C và X2-C) được thử nghiệm riêng rẽ.

Thông thường, các thiết bị chống sét có mạch nối tiếp địa chung cho toàn bộ các phần tử theo 4.3, trường hợp khác là từng cực bảo vệ được nối trực tiếp với cực tiếp đất.

Table 5 – Preferred values of currents for a.c. durability test

48 Hz-62 Hz Short-circuit currents on each tested terminal ^a A_{rms}	Duration s	Number of applications ^b	Test terminals
0,1	1	5	X1 – C X2 – C X1 – X2 ^c
0,25	1	5	
0,5	1	5	
0,5	30	1	
1	1	5	
1	1	60	
2	1	5	
2,5	1	5	
5	1	5	
10	1	5	
20	1	5	
^a Values listed in Table 5 are minimum requirements. .			
^b Different numbers of applications can be found in other standards e.g. ITU-T K series - Recommendations			
^c X1 – X2 terminals shall be tested only if required			

6.2.1.6. Sự ổn định xung với chức năng giới hạn điện áp

Thiết bị chống sét được thử nghiệm với xung được lựa chọn từ mục C bảng 3 và được đặt lên cực thích hợp của thiết bị lựa chọn theo bảng 3. Thử nghiệm xung về tính năng giới hạn điện áp xung theo 6.2.1.3 được thực hiện. Các thử nghiệm xung bổ sung được thực hiện theo lựa chọn mục A1, B, C và D cũng như theo tuyên bố trong tài liệu về tính năng thiết bị của nhà sản xuất, tuy nhiên các thử nghiệm này là tùy chọn và phải được thực hiện phù hợp với ứng dụng của thiết bị.

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được đấu nối theo sơ đồ hình 4. Đặt xung dòng thử nghiệm vào thiết bị với số lần tối thiểu được chỉ định theo bảng 3 với khoảng thời gian giữa các lần nghỉ phải đủ dài để đảm bảo nhiệt độ của thiết bị trở về nhiệt độ môi trường như trước khi thử nghiệm. Một nửa số lần thử nghiệm được thực hiện với xung có cực dương và một nửa với xung có cực trái dấu. Một lựa chọn khác là một nửa số thiết bị cần thử nghiệm với xung có cực dương và một nửa còn lại với xung có cực âm. Trước và sau quá trình thử nghiệm trên, thiết bị chống sét phải đáp ứng yêu cầu theo 5.2.1.2; 5.2.1.3 (mỗi xung một cực âm/dương) 5.2.1.4 (nếu áp dụng) và 5.2.2.2 (nếu áp dụng).

Nếu có yêu cầu, xung có thể đặt lên các cực X1-X2 của thiết bị chống sét theo hình 1c và 1e.

Thử nghiệm thiết bị chống sét kiểu theo hình 1c và 1e, mỗi cặp cực X1-C và X2-C có thể thực hiện riêng rẽ.

Đối với thiết bị chống sét có chịu dòng tải tham khảo theo 4.3.

6.2.1.7. Chế độ lỗi khi xung vượt ngưỡng.

Thiết bị chống sét sẽ được thử nghiệm với dòng xung quá khả năng làm việc của thiết bị cũng như nguồn AC tác động quá ngưỡng làm việc, để thử nghiệm với thiết bị chống sét có cấu tạo kiểu hình 1c, 1e và 1f, mỗi cặp cực X1-C và X2-C có thể thử nghiệm riêng rẽ. Đối với thiết bị có cấu tạo kiểu 1f thử nghiệm bằng cách chọn 1 trong 2 cổng là mẫu thử đại diện. Các thiết bị chống sét kiểu khác được thử nghiệm với xung thử nghiệm và nguồn AC thử nghiệm.

Sau khi thử nghiệm về trở kháng, điện áp giới hạn và trở kháng nối tiếp (nếu áp dụng) thiết bị sẽ được thử nghiệm chế độ vượt ngưỡng nhằm xác định khả năng chịu vượt ngưỡng theo 3.3, Thiết bị được coi là đáp ứng yêu cầu chịu vượt ngưỡng khi thử nghiệm với xung vượt ngưỡng mà không gây ra cháy nổ, hay rò điện hoặc phát ra khí độc.

Xung vượt ngưỡng:

Thiết bị chống sét được đấu nối theo sơ đồ hình 16, xung dòng thử nghiệm với dạng 8/20, với cường độ xung i_n , Chỉ định của nhà sản xuất được áp dụng cho thử nghiệm theo công thức:

$$i_{\text{test}} = i_n(1+0,5N)$$

Thử nghiệm sẽ được bắt đầu với dòng i_n và $N=0$, quá trình được lặp lại với N tăng thêm 1 sau mỗi lần thử nghiệm và giới hạn $N=6$. Nếu thiết bị không đạt được ngưỡng vượt xung sau thử nghiệm này thì chuyển sang thử nghiệm vượt ngưỡng với nguồn AC

Vượt ngưỡng nguồn AC

Thiết bị được đấu nối vào mạch thử nghiệm theo sơ đồ hình 3. Dòng AC vượt ngưỡng thử nghiệm được đặt theo chỉ dẫn của nhà sản xuất, dòng thử nghiệm được đặt lên thiết bị trong khoảng thời gian 15 phút kiểu điện áp hồ mạch (nguồn áp) tần số 50 hoặc 60Hz, với cường độ đủ lớn để đảm bảo phần tử dẫn điện của thiết bị thử nghiệm đạt đến ngưỡng. Kết thúc quá trình thử nghiệm phần lắp đặt thiết bị chống sét có thể nhận được một thiết bị hoàn toàn khác với trước thử nghiệm (thiết bị có thể bị phá huỷ biến dạng).

6.2.1.8. Thử nghiệm điểm mù

Để xác định điểm mù của thiết bị chống sét kiểu nhiều tầng bảo vệ, một thiết bị mẫu hoàn toàn mới được đưa vào thử nghiệm

a) Lựa chọn dạng xung thử nghiệm để xác định U_p . Trong quá trình thử nghiệm với xung này xác định điện áp giới hạn xung và điện theo thời gian của xung bằng máy hiện xung.

b) Giảm 10% mức điện áp dạng hồ mạch như thử nghiệm ở mục a) và tác động một xung cực dương lên thiết bị chống sét trong khi vẫn tiếp tục giám sát bằng máy hiện sóng. Mức điện áp giới hạn đo được trong thử nghiệm này khác với mức giới hạn điện áp trong thử nghiệm theo mục a) trong trường hợp không có sự khác biệt tiếp tục thử nghiệm với mức điện áp mạch hồ thấp hơn 10% nữa, tuy nhiên điện áp giới hạn ngưỡng này phải cao hơn điện áp U_C .

c) Đặt xung thử nghiệm cực dương lên thiết bị chống sét trong quá trình thử nghiệm với điện áp hồ mạch tương ứng với 20%, 30%, 45%, 60%, 75% và 90% của mức điện áp đã thực hiện thử nghiệm theo mục a) trong khi vẫn tiếp tục giám sát mức điện áp

giới hạn bằng máy hiện sóng.

d) Với các mức điện áp hở mạch đã dùng trong thử nghiệm theo mục c) xác định mức điện áp giới hạn mà thử nghiệm đó bằng với thử nghiệm theo mục a) thì dừng lại.

e) Giảm mức điện áp hở mạch 5% và thử nghiệm lại, tiếp tục quy trình thử nghiệm với bước thay đổi 5% cho đến khi đạt được yêu cầu như mục b).

f) Tại mức điện áp hở mạch xác định được ở trên, đặt 2 xung cực dương và 2 xung cực âm lên thiết bị thử nghiệm.

Sau quá trình thử nghiệm theo yêu cầu từ mục a) đến mục f) thiết bị phải đáp ứng yêu cầu theo 5.2.1.2.

6.2.2. Thử nghiệm giới hạn dòng

6.2.2.1. Dòng tải

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm đặt mắc theo sơ đồ hình 5, nguồn điện áp thử nghiệm đặt lên thiết bị chống sét phải đủ lớn để đảm bảo đạt tới mức dòng tải chịu được của thiết bị theo tuyên bố của nhà sản xuất. Tần số của nguồn điện áp có thể là 0Hz(DC) hoặc 50 hoặc 60Hz.

Trong quá trình thử nghiệm dòng tải của thiết bị chống sét, nếu thiết bị chống sét bao gồm phần tử chống sét kiểu giới hạn dòng thì phần tử này phải ở chế độ không làm việc, dòng tải thử nghiệm đặt lên thiết bị chống sét được điều chỉnh bởi điện trở R_S ; R_{S1} và R_{S2} . Phần tử giới hạn dòng phải được đặt trong thử nghiệm chịu dòng tải ít nhất với thời gian 1 giờ cho mỗi chu kỳ. Trong quá trình thử nghiệm trên, các phần có thể tiếp xúc bằng tay nhiệt độ không được vượt quá mức cho phép (xem thêm mục 4.5.1 IEC 60950).

6.2.2.2. Trở kháng nối tiếp

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được đấu theo sơ đồ hình 5. Điện áp đưa vào thiết bị thử nghiệm thấp hơn điện áp ngắt của thiết bị được chỉ định bởi nhà sản xuất. tần số của điện áp có thể là 0Hz(DC) hoặc 50Hz hoặc 60Hz.

Dòng thử nghiệm đặt lên thiết bị bằng với dòng thử nghiệm dòng tải với việc điều chỉnh nhờ điện trở R_S ; R_{S1} và R_{S2} . trở kháng được tính bằng công thức $(e-iR_S)/i$ trong đó e là điện áp nguồn thử nghiệm, i là dòng tải được xác định bằng đồng hồ đo dòng theo hình 5.

6.2.2.3. Thời gian đáp ứng dòng

Thiết bị chống sét được đấu vào mạch thử nghiệm theo hình 5. Điện áp nguồn đặt lên thiết bị thử nghiệm phải đặt ở mức thấp hơn điện áp ngắt của thiết bị theo tài liệu nhà sản xuất công bố. Tần số nguồn điện có thể là 0Hz(DC) hoặc 50Hz hoặc 60Hz tùy lựa chọn theo ứng dụng của thiết bị.

Thiết bị được đặt trong môi trường thử nghiệm với nhiệt độ theo quy định 4.2. Thời gian nghỉ giữa các lần thử nghiệm phải đủ lâu để đảm bảo thiết bị trở về nhiệt độ ban đầu như trước khi thử nghiệm trước khi thực hiện chu trình thử nghiệm mới. Một lựa chọn khác là thử nghiệm lần lượt các thiết bị để tránh thời gian chờ đợi làm nguội thiết bị. Điện trở R_S hay R_{S1} và R_{S2} được sử dụng để điều chỉnh mức dòng mong muốn cho thử nghiệm đáp ứng yêu cầu theo bảng 6. Thời gian đáp ứng của phần tử giới hạn dòng của thiết bị chống sét được ghi lại mỗi lần thử nghiệm. Thời gian đáp ứng của thiết bị được tính từ thời điểm phát dòng lên thiết bị cho đến khi dòng đặt lên thiết bị giảm còn 10% mức dòng tải. Nếu mức dòng thử nghiệm dự kiến vượt quá mức dòng

chịu được của phần tử giới hạn dòng, thì mức dòng thử nghiệm cao nhất sẽ bằng với mức chịu được lớn nhất của phần tử giới hạn dòng.

Table 6 – Test currents for response time

Test currents A
1,5 × rated current
2,1 × rated current
2,75 × rated current
4,0 × rated current
10,0 × rated current

6.2.2.4. Thời gian dòng phục hồi

Thiết bị chống sét được đấu trong mạch thử nghiệm theo hình 5. Điện áp nguồn đặt lên thiết bị thử nghiệm phải thấp hơn mức điện áp ngắt của thiết bị theo công bố của nhà sản xuất. Tần số nguồn điện có thể lựa chọn 0Hz(DC) hoặc 50Hz hoặc 60Hz. Với mỗi cấu hình thiết bị chống sét, mức dòng tải khởi đầu tương ứng với mức dòng tải chịu được, việc điều chỉnh dòng mong muốn được thực hiện bởi việc điều chỉnh điện trở R_S hoặc R_{S1} và R_{S2} . Thiết bị chống sét thử nghiệm được đặt làm việc ổn định với mức dòng tải tối đa. Sau khi thử nghiệm quá trình ổn định, điện trở R_S hoặc R_{S1} và R_{S2} được điều chỉnh giảm để tăng dòng tải đặt lên thiết bị thử nghiệm đến mức phần tử giới hạn dòng của thiết bị làm việc, thử nghiệm trạng thái này được giữ trong khoảng thời gian 15 phút sau khi dòng tải đặt lên thiết bị thử nghiệm giảm xuống còn 10% mức dòng tải tối đa.

Điện trở R_S hoặc R_{S1} và R_{S2} được đặt về mức khởi đầu, thời gian thiết bị chống sét phục hồi dòng tải về đến mức 90% mức dòng tải tối đa được ghi lại và khoảng thời gian này không được vượt quá 120 giây. Tùy thuộc vào ứng dụng, thử nghiệm có thể kết thúc ở mức dòng thấp hơn mức dòng tối đa đối với phần tử giới hạn dòng tự phục hồi. Đối với phần tử giới hạn dòng tự phục hồi, thời gian ngắt dòng sẽ ngắn hơn 120 giây. Sau khi dòng phục hồi về mức yêu cầu phần tử giới hạn dòng tự phục hồi phải ngâm trong điều kiện dòng tải tối đa với thời gian 5 phút để đảm bảo rằng thiết bị đã trở về trạng thái không ngắt dòng (trạng thái tĩnh).

6.2.2.5. Điện áp ngắt lớn nhất

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được đấu theo sơ đồ hình 5. Điện áp thử nghiệm được đặt ở mức lớn nhất tương ứng với mức điện áp ngắt theo công bố của nhà sản xuất, tần số nguồn điện thử nghiệm sử dụng có thể là 0Hz(DC) hoặc 50Hz hoặc 60Hz.

Điện trở R_S hoặc R_{S1} và R_{S2} được điều chỉnh để đảm bảo dòng đủ lớn để thiết bị chống sét với phần tử giới hạn dòng chuyển sang chế độ làm việc. Điều kiện thử nghiệm này được giữ trong khoảng thời gian 1 giờ. Sau khi thử nghiệm kết thúc chức năng giới hạn dòng của thiết bị chống sét phải đáp ứng yêu cầu theo 5.2.2.2; 5.2.2.3 và 5.2.2.4.

6.2.2.6. Thử nghiệm chế độ làm việc

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được nối theo sơ đồ 5. Điện áp thử nghiệm

được đặt tương ứng với mức điện áp ngắt theo công bố của nhà sản xuất với tần số nguồn điện tùy chọn theo ứng dụng 0Hz(DC) hoặc 50Hz hoặc 60Hz.

Tương ứng với mỗi thiết bị chống sét có cấu hình khác nhau, dòng tải thử nghiệm sẽ được điều chỉnh theo tham số được chỉ ra trong bảng 7 (việc điều chỉnh được thực hiện bởi điện trở R_S hoặc R_{S1} và R_{S2}) bằng việc thay thế thiết bị chống sét bằng dây dẫn ngắn mạch. Mức tham số dòng đưa vào thử nghiệm sẽ được đặt ở mức để chức năng giới hạn dòng của thiết bị chống sét chuyển sang chế độ làm việc. Sau khi thiết lập tham số, đưa thiết bị chống sét vào mạch thử nghiệm với các tham số kể trên cho đến khi dòng thử nghiệm giảm xuống còn 10% mức dòng tối đa.

Sau khi thiết bị chống sét đã chuyển sang chế độ làm việc, ngắt nguồn khoảng 2 phút hoặc đợi cho đến khi thiết bị chống sét chuyển về trạng thái bình thường (tĩnh-không làm việc). Sau mỗi chu kỳ thử nghiệm là chu kỳ nghỉ và được lặp lại thử nghiệm với số lần thực hiện theo yêu cầu của bảng 7.

Sau khi kết thúc chu kỳ thử nghiệm cuối cùng, Thiết bị chống sét phải đáp ứng yêu cầu theo 5.2.2.2; 5.2.2.3 và 5.2.2.4.

Table 7 – Preferred values of current for operating duty tests

Current A (d.c. or r.m.s.)	Applications
0,5	60
1	10
3	5
5	5
10	3

6.2.2.7. Tính ổn định nguồn AC đối với chức năng giới hạn dòng

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được đấu nối theo hình 6. Dòng ngắn mạch AC thử nghiệm được lựa chọn theo bảng 8. Đặt dòng thử nghiệm với số lần được chỉ định theo bảng tùy thuộc vào lựa chọn số lần thử nghiệm với khoảng thời gian nghỉ giữa các lần thử nghiệm đủ lớn để đảm bảo trước khi thử nghiệm tiếp theo được thực hiện nhiệt độ của thiết bị trở về nhiệt độ môi trường ban đầu. Điện áp xung AC đặt lên thiết bị thử nghiệm không được vượt quá mức điện áp giới hạn ngắt do nhà sản xuất công bố. trước và sau khi thực hiện các lần thử nghiệm thiết bị phải đạt yêu cầu theo 5.2.2.1; 5.2.2.2 và 5.2.2.3.

Dòng xung thử nghiệm được đặt lên cực phù hợp theo chỉ định của bảng 8. Dòng thử nghiệm được đặt đồng thời lên cả 2 cực X_1 và X_2 của thiết bị cũng như với thiết bị đối với thiết bị 3 hay 5 cực. Đối với thiết bị có 3 hay 5 cực, từng cặp cực X_1 -C và X_2 -C ở phía cực không bảo vệ có thể thực hiện thử nghiệm đồng thời với cùng cực xung hoặc

riêng rẽ.

Table 8 – Preferred values of a.c. test currents

48-62 Hz Short-circuit currents A_{rms}	Duration s	Number of applications	Test terminals
0,25	1	5	X1 – C X2 – C X1 – X2
0,5	1	5	
0,5	30	1	
1	1	5	
1	1	60	
2	1	5	
2,5	1	5	
5	1	5	

6.2.2.8. Tính ổn định xung với chức năng giới hạn dòng

Thiết bị đưa vào thử nghiệm được nối vào mạch theo hình 7. Điện áp dòng và xung thử nghiệm được lấy theo bảng 9. Đưa dòng xung thử nghiệm với số lần được chỉ định theo yêu cầu với khoảng thời gian giữa các lần phát xung đủ lớn để đảm bảo thiết bị trở về nhiệt độ môi trường ban đầu trước khi thực hiện thử nghiệm tiếp theo. Một nửa số xung thử nghiệm đưa vào có cực dương (điện áp dương) và một nửa còn lại là cực âm. Một cách thực hiện khác là đưa một nửa số thiết bị vào thử nghiệm với một dạng cực xung và một nửa còn lại với cực xung ngược lại. Trước khi thực hiện và sau khi hoàn thành thử nghiệm, thiết bị phải đáp ứng các yêu cầu theo 5.2.2.1; 5.2.2.2 và 5.2.2.3.

Table 9 – Preferred values of impulse current

Open-circuit voltage	Short-circuit current	Number of applications	Test terminals
1 kV	100 A, 10/1 000	30	X1 – C X2 – C X1 – X2
1,5 kV, 10/700	37,5 A, 5/300	10	
Maximum interrupting voltage	25 A, 10/1 000	30	
Maximum interrupting voltage	ITU-T Recommendation K17, Figure 1/K17	10	
4 kV, 1,2/50	2 kA, 8/20	10	

Thông số dòng xung được lựa chọn theo bảng 9 và đưa vào cực thử nghiệm thích hợp của thiết bị. Dòng xung thử nghiệm được đặt lên cực X_1 và X_2 của thiết bị kiểu 3 hoặc 5 cực được đưa vào thử nghiệm. Thử nghiệm thiết bị 3 hay 5 cổng bằng cách đưa vào xung thử nghiệm vào cổng X_1 và X_2 với các cực xung cùng dấu đồng thời hoặc riêng rẽ từng cực X_1 -C hoặc X_2 -C ở phía không được bảo vệ của thiết bị đưa vào thử nghiệm.

Đối với trường hợp thiết bị chống sét có yêu cầu, mạch thử nghiệm cần phải đưa vào một cầu chì giới hạn dòng trong thử nghiệm nhằm giảm năng lượng trong thử nghiệm mức năng lượng chịu được của thiết bị chống sét (I^2t). Bộ phận giới hạn dòng điện tử với hạn chế ở mức tối đa việc bảo vệ chịu tải của phần tử trở kháng cũng như điện áp (ví dụ: phần tử chống sét kiểu ống phóng xung dạng khí) nếu có yêu cầu nhất thiết phải đưa vào mạch thử nghiệm.

6.2.3. Thử nghiệm truyền thông

6.2.3.1. Điện dung

Điện dung của thiết bị chống sét giữa các cực được đo bởi tín hiệu máy phát xung với

tần số 1MHz và điện áp 1V r.m.s. Đo đồng thời từng cặp cực, các cặp cực còn lại không nằm trong thử nghiệm được nối với nhau đồng thời nối đất chung với máy phát xung. Xung thử nghiệm không được dùng dạng tam giác với lưu ý rằng một số kiểu thiết bị chống sét có cấu tạo với điện dung phụ thuộc vào điện áp một chiều tăng/giảm đều. Trong một số trường hợp điện áp một chiều giảm/tăng dần có thể thử nghiệm trên 1 dây truyền thông của thiết bị đưa vào thử nghiệm trong trường hợp thiết bị bảo vệ truyền thông đôi dây kiểu không cân bằng.

6.2.3.2. Suy hao xen vào

Suy hao xen vào được tính bằng đơn vị dB được đo bằng 1m cáp dài với trở kháng tương đương. Để xác định trở kháng vào của thiết bị được xác định theo mạch thử nghiệm hình 8 với đoạn dây ngắn mạch thay thế thiết bị. sau đó thiết bị chống sét thử nghiệm được đưa vào mạch thay thế đoạn dây ngắn mạch và một thiết bị đo suy hao hiển thị đơn vị dB được đưa vào để xác định kết quả. Suy hao xen vào là một vector giữa 2 kết quả đo. Bảng 10 liệt kê đặc tính trở kháng liên hệ giữa giải tần số và kiểu cáp. Mức thử nghiệm đề xuất ở -10dBm.

Đầu đo và đầu nối có suy hao không được vượt quá 3dB trong giải tần truyền thông. Suy hao xen vào được thử nghiệm vào kiểm tra ở băng tần mà thiết bị chống sét sẽ được ứng dụng bảo vệ thực tế.

Table 10 – Standard parameters for figure 8

Frequency range	Characteristic impedance Z_0 Ω	Cable types
300 Hz to 4 kHz	600	Twisted-pair
4 kHz to 250 MHz	100, 120 or 150	Twisted-pair
≤ 1 GHz	50 or 75	Coaxial
> 1 GHz	50	Coaxial

6.2.3.3. Suy hao phản hồi

Suy hao phản hồi được tính bằng đơn vị dB quy đổi theo 1m cáp chiều dài với trở kháng tương ứng. Mạch đo được thiết lập theo hình 9 với đoạn cáp ngắn mạch thay thế thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm. sau đó thiết bị chống sét được đưa vào mạch và phép đo theo đơn vị dB được thiết lập. Bảng 10 liệt kê các thông số trở kháng, giải tần và kiểu cáp. Mức thử nghiệm đề xuất ở -10dB.

Một tín hiệu được phát đến thiết bị chống sét, nhận về tín hiệu phản hồi được đo trên cực thử nghiệm của thiết bị chống sét, do trở kháng vào làm suy hao tín hiệu, Suy hao phản hồi được xác định và ghi lại với giải tần làm việc mà thiết bị sẽ được sử dụng.

6.2.3.4. Cân bằng đôi dây đối xứng/suy hao đối xứng

Cân bằng đôi dây được xác định theo công thức dưới đây và nó tương ứng với suy hao đối xứng được mô tả trong ITU-T O.9 (3.1999).

Thử nghiệm cân bằng cho thiết bị chống sét có 3 hay 4 hay 5 cực được thiết lập theo hình 10. Đối với thiết bị chống sét có 4 hay 5 cực thử nghiệm được thực hiện với cả 2 trạng thái đóng và mở của khoá S_1 . Cân bằng đôi dây đối xứng là tỷ lệ giữa điện áp thử nghiệm đặt lên thiết bị chống sét và điện áp đầu ra trên thiết bị chống sét được tính theo đơn vị dB như sau:

Longitudinal Balance (cân bằng đối xứng) dB = $20 \text{ Log}(V_s/V_m)$.

Trong đó V_s và V_m được xác định với cùng tần số.

Để đảm bảo độ chính xác với tần số cao, một máy biến áp cân bằng mô phỏng với điện trở tương đương có thể được sử dụng thay thế trong thử nghiệm theo hình 10. Cấu hình cầu thử nghiệm với điện trở ngang với trở kháng Z_1 và điện trở dọc với trở kháng Z_2 không đại diện cho toàn bộ các điều kiện trên thực tế. Thông số và giới hạn theo đặc tính truyền thông như tần số làm việc và điện áp đặc biệt cần chú ý đến trở kháng đầu vào và xác định tần số làm việc theo đề xuất ITU-T. Một ví dụ về kết quả và trở kháng theo giải tần khác nhau đến 190kHz theo bảng. Trừ trường hợp có chỉ định khác, tần số thử nghiệm sẽ được tăng dần ví dụ 200Hz, 500Hz, 1000Hz và 4000Hz đối với các ứng dụng truyền thông Analog, hoặc 5kHz, 60kHz, 160kHz và 190kHz đối với truyền thông số ISDN. Thuộc tính cân bằng đối xứng của các thiết bị đo phải ở mức lớn hơn 20dB so với giới hạn của thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm. Đối với thiết bị chống sét bị ảnh hưởng bởi điện áp DC giảm/tăng dần thì cần phải thử nghiệm xác định tính năng cân bằng đối xứng với từng cực của thiết bị chống sét bằng điện áp 1 chiều (DC) giảm/tăng dần. Yêu cầu về thiết bị đo được mô tả trong ITU-T mục O.9.

Table 11 – Impedance values for longitudinal balance test

f kHz	Service	Z_1^a Ω	Z_2^b Ω
≤ 4	Analogue	300	150
≤ 190	ISDN	55 or 67.5	20-40
Up to 30 MHz	ADSL2+; VDSL	67,5	20-40
^a The real difference between the test set-up and the actual longitudinal balance is somewhat independent of the terminal input impedance and therefore this analysis applies to virtually all reasonable input impedances. For details to specify Z_1 and Z_2 , see the relevant product standard.			
^b Z_2 should be equal to half of Z_1 .			

Trong khi suy hao đối xứng phụ thuộc vào điện trở nối tiếp của thiết bị chống sét. Tính cân bằng được xác định như điện trở lớn nhất hay tỷ lệ giữa điện trở nối tiếp.

6.2.3.5. Hệ số Bit lỗi - BER

Hệ số bit lỗi được xác định bằng tỷ lệ số bit lỗi trên tổng số bit truyền, thông số này thường được sử dụng để xác định tính năng truyền thông hoặc khả năng lưu trữ. Ví dụ với 2,5bit lỗi trên tổng số bit truyền 100.000bit tương ứng với tỷ lệ 2,5 trên 10^{-5} hay $2,5 \times 10^{-5}$. Một ví dụ với tốc độ truyền thông khác được minh họa trong bảng 12. Thử nghiệm BER xác định sự thay đổi truyền thông do lắp đặt thiết bị chống sét vào hệ thống. Thử nghiệm BER được mô tả trong bộ tiêu chuẩn ITU-T G (ví dụ: đối với truyền thông ISDN ITU-T G821, ADSL ITU-T G.992.3, VDSL ITU-T G.993.1 v.v.).

Table 12 – Test times for BER test

Pseudo-random bit pattern, (R)	Duration
$R < 64$ kbits/s	1 h
64 kbits/s $\leq R < 1\,554$ kbits/s	30 min
$R \geq 1\,554$ kbits/s	10 min

6.2.3.6. Nhiễu thoại xen vào đầu cuối (NEXT)

Thoại xen vào được đo trong đoạn cáp ngắn đầu cực của thiết bị trong thử nghiệm cân

bằng theo hình 12. Một tín hiệu cân bằng được đưa vào cực có nhiều của thiết bị chống sét tín hiệu cảm ứng trên đường dây nhiều được đo ở gần đầu cực thử nghiệm. Tín hiệu thử được đề xuất ở mức -10dB.

Suy hao toàn bộ đầu đo và balun không được vượt quá 3dB trong dải tần làm việc truyền thông. Nhiều thoại xen vào đầu cuối được đo và ghi lại với dải tần thử nghiệm tương ứng với dải tần làm việc của thiết bị.

6.3. Thử nghiệm cơ khí

6.3.1. Cổng và cực đầu nối

Các thiết bị cần phải được kiểm tra khả năng kết nối với cực thiết bị đáp ứng yêu cầu theo 5.3.1.

6.3.1.1. Phương pháp thử nghiệm chung

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm phải được lắp đặt theo đúng chỉ dẫn của nhà sản xuất và phải chịu được nhiệt độ (nóng/lạnh) môi trường vượt điều kiện bình thường.

Nếu không có chỉ định khác, Cực đầu dây của thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được nối với cáp có kích thước tối hạn cho phép (ví dụ: tiết diện cáp lớn nhất hoặc nhỏ nhất cho phép) theo yêu cầu sau:

- Bảng 13 đối với thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm ở cả cực đầu dây vào và cực bảo vệ.

- Theo chỉ dẫn khác đối với thiết bị thử nghiệm của nhà sản xuất

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được cố định trên bảng gỗ sơn đen với độ dày 20mm. Phương pháp cố định thiết bị thử nghiệm phải phù hợp với yêu cầu về lắp đặt cố định thiết bị theo yêu cầu và đề xuất của nhà sản xuất, trong quá trình thử nghiệm không được thực hiện các công việc bảo dưỡng hay tháo dỡ thiết bị mẫu thử.

6.3.1.2. Cực đầu dây bằng vít xiết

Kiểm tra kết cấu bằng nhãn công, đối với thiết bị chống sét có cực nối dây bằng vít xiết thực hiện thử nghiệm theo các bước sau:

- Vặn vít xiết với dây bằng vật liệu cách điện 10 lần

- Thực hiện tương tự 5 lần với trường hợp khác

Vít xiết hoặc đai ốc được thử nghiệm với dây bằng vật liệu cách điện phải được tháo ra hay lắp vào hoàn toàn. Thử nghiệm phải được thực hiện với tốc độ vít hoặc dụng cụ vặn đai ốc với lực tác động phù hợp theo yêu cầu đề xuất của nhà sản xuất. Dụng cụ xiết vít không được giật(lực) quá mạnh. Dây dẫn chỉ được tháo ra sau khi đã nói lỏng hoàn toàn vít xiết.

Trong quá trình thử nghiệm vít xiết không được tự nói lỏng và không gây ra hỏng ngầm xiết cũng như ren vít xiết hay dây nối cũng như vòng đệm và khe vít vì nó ảnh hưởng đến quá trình sử dụng lâu dài của thiết bị chống sét.

Ngoài ra phần vỏ cũng không được xuất hiện bất cứ hư hại nào.

Table 13 – Connectable cross-sectional areas of copper conductors for screw-type terminals or screwless-type terminals

Maximum rated current for SPDs A	Range of nominal cross-sectional areas to be clamped	
	ISO – mm ²	AWG – Terminal
Up to and including 1	0,1 to 1	26 to 18
Above 1 up to and including 13	1 to 2,5	18 to 14
Above 13 up to and including 16	1 to 4	18 to 12

6.3.1.3. Cự đầu dây không dùng vít

Kiểm tra hợp chuẩn theo các bước sau:

Cự đầu dây vừa vặn xiết chặt cho các loại dây có kích thước nhỏ nhất hoặc lớn nhất theo bảng 13 đối với thiết bị chống sét 2 cực hoặc theo tuyên bố của nhà sản xuất đối với thiết bị chống sét 1 cực.

Sau khi xiết chặt từng dây sẽ được kéo với lực theo đề xuất trong bảng 14. Lực kéo tác động lên dây không được tác động kiểu giật bất thành hình trong khoảng thời gian 1 phút theo chiều dọc của dây.

Trong quá trình thử nghiệm, dây dẫn không được suy chuyển so với ngàm của thiết bị cũng như không gây ra bất cứ hư hại gì.

Table 14 – Pulling force (screwless terminals)

Cross-sectional area mm ²	0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	4
Pull force N	30	30	35	40	50	60

6.3.1.4. Phần kết nối cách điện

6.3.1.4.1. Thử nghiệm kéo cáp 1 sợi gắn trên 1 cực của thiết bị chống sét

Kiểm tra hợp chuẩn theo các phương pháp thử nghiệm sau

Cự đầu dây phải phù hợp với các kích thước tiết diện cáp từ nhỏ nhất đến lớn nhất được chỉ ra theo yêu cầu của 6.3.1.1 với bất cứ loại cáp đặc hay rỗng kể cả loại không dùng đến. Trong bất cứ trường hợp nào vít xiết phải được vặn đến mức theo yêu cầu của nhà sản xuất.

Dây nối được xiết vào và tháo ra 5 lần, mỗi lần sử dụng một sợi cáp mới.

Sau mỗi lần cáp được xiết, dùng lực kéo cáp trong khoảng thời gian 1 phút với điều kiện lực kéo không được bất thành hình kiểu giật với lực kéo được lựa chọn theo đề xuất trong bảng 14.

Trong quá trình thử nghiệm, dây dẫn không được suy chuyển so với ngàm của thiết bị cũng như không gây ra bất cứ hư hại gì.

6.3.1.4.2. Thử nghiệm kéo cáp nhiều sợi gắn trên cực của thiết bị chống sét

Thử nghiệm kéo đối với cáp nhiều sợi được thực hiện giống như mục 6.3.1.4.1 chỉ có khác về lực kéo được dàn đều cho từng sợi được tính theo công thức:

$$F = F(x)\sqrt{n}$$

Trong đó:

F là lực kéo toàn bộ đưa vào thử nghiệm

F(x) là lực kéo cho 1 sợi cáp tương ứng với kích thước cáp theo bảng 14

n là số sợi cáp

6.3.2. Thử nghiệm độ chắc chắn cơ khí (khi lắp đặt)

Kiểm tra bằng nhân công độ chắc chắn cơ khí của thiết bị khi lắp đặt cũng như trong quá trình sử dụng đảm bảo yêu cầu.

6.3.3. Khả năng chịu tác động của vật rắn và chống nước

Thử nghiệm theo tiêu chuẩn IEC 60529 để kiểm tra khả năng chịu môi trường theo IP.

6.3.4. Bảo vệ chống tiếp xúc trực tiếp

Phần cách điện

Mẫu thử được lắp như điều kiện sử dụng bình thường và được đấu với dây có kích thước

nhỏ nhất và thử nghiệm, quá trình lặp lại thử nghiệm với dây có kích thước lớn nhất cho phép (theo bảng 13). Một mẫu ngón tay thử nghiệm (theo tiêu chuẩn IEC 60529) được đưa vào tiếp xúc với tất cả các vị trí có thể tiếp cận.

Đối với thiết bị có thể thay thế mà không cần dụng cụ (kiểu plug in gồm đế tiêu chuẩn và phần module bảo vệ riêng biệt có thể tháo ra bằng tay) ngón tay thử nghiệm được đưa vào tất cả các vị trí có thể tiếp xúc khi phần module chống sét được tháo ra và lắp vào đế tiêu chuẩn. Một thiết bị chỉ thị điện áp với ngưỡng nhỏ nhất 40V và lớn nhất 50V được sử dụng để hiện thị điện áp tiếp xúc của từng vị trí.

Phần kim loại

Phần kim loại sử dụng có thể tiếp xúc là được phép trong điều kiện sử dụng bình thường cho cực tiếp đất của thiết bị chống sét với điện trở nối đất nhỏ đảm bảo an toàn, ngoại trừ các phần vít dùng để xiết cáp cực bảo vệ, phần cố định đế hoặc phần vỏ hoặc vò của đế cắm.

Một dòng điện có cường độ cỡ 1,5 lần cường độ dòng tải tối đa (được phát từ nguồn điện AC khi không tải không vượt quá 12V) hoặc ở mức đến 25A hoặc lớn hơn chạy qua 2 cực tiếp đất và bất cứ phần bằng kim loại nào có thể tiếp xúc thành mạch kín.

Điện áp rơi giữa cực tiếp đất và phần kim loại có thể tiếp xúc được ghi lại và tính toán với dòng xác định ở trên để đảm bảo rằng điện trở điện trở không vượt quá 0,05Ω.

Chú ý: khi thử nghiệm phải đảm bảo rằng phần tiếp xúc giữa phần kim loại của thiết bị và đầu đo phải ổn định không làm ảnh hưởng đến kết quả đo.

6.3.5. Chống cháy

Thực hiện thử nghiệm bằng sợi dây nung nóng theo yêu cầu của mục 4-10 tiêu chuẩn IEC 60695-2-1/1 với các điều kiện sau đây:

- Đối với phần bên ngoài vỏ cách điện của thiết bị chống sét phải giữ nguyên được vị trí các phần đầu nối dây và phần mạch bảo vệ với sợi dây nung nóng ở nhiệt độ $850^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$
- Đối với các phần vỏ còn lại cách điện của thiết bị chống sét thực hiện thử nghiệm với sợi dây nung nóng ở nhiệt độ $650^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$

Với mục đích của thử nghiệm này, phần vỏ của thiết bị chống sét bao gồm cả phần bề mặt để cũng được đánh giá như các phần vỏ ngoài khác. Thử nghiệm này không áp dụng cho các phần được chế tạo bằng gốm, Nếu toàn bộ vỏ của thiết bị được chế tạo từ cùng một loại vật liệu, thử nghiệm chỉ cần thực hiện với một phần của thiết bị, với nhiệt độ của dây dẫn thử nghiệm nung nóng ở nhiệt độ thích hợp.

Phần dây dẫn thử nghiệm được nung nóng tiếp xúc với phần vỏ thử nghiệm của thiết bị phải đảm bảo rằng việc gia nhiệt bằng điện trên sợi dây thử nghiệm theo điều kiện yêu cầu không gây ra phóng tia lửa với phần vỏ của thiết bị hay phải đảm bảo rằng phần vỏ cách điện có thể phóng tia lửa gây ra bởi nhiệt độ cao của dây thử nghiệm theo điều kiện của thử nghiệm có thời gian cháy rất ngắn hoặc không bùng lên thành ngọn lửa hoặc cháy rụi hoặc bị cháy rụng hẳn xuống từ thiết bị thử nghiệm.

Thử nghiệm được thực hiện với 1 mẫu thử, nếu thấy nghi ngờ về sự đồng nhất có thể thử lại với 2 mẫu mới. Thử nghiệm chỉ dùng với 1 sợi dây thử nung nóng duy nhất. Vị trí của mẫu thử được cố định trong quá trình thử với kiểu không thuận lợi nhất đối với mục đích sử dụng (với bề mặt thử nằm theo chiều ngang).

Đầu của sợi dây nung nóng thử nghiệm được đưa vào tiếp xúc với bề mặt của thiết bị mà ở đó một phần từ bị nung nóng hay sợi dây nung nóng tiếp xúc với bề mặt thiết bị khi sử dụng

trong thực tế với điều kiện thử nghiệm theo mục đích sử dụng thực tế.

Thiết bị mẫu thử được coi là vượt qua thử nghiệm sợi dây nung nóng nếu

- Không có ngọn lửa xuất hiện hoặc ngọn lửa cháy kéo dài hoặc nếu

- Có ngọn lửa và tia lửa trên mẫu thử được tự dập trong khoảng thời gian 30s sau khi bỏ sợi dây nung nóng ra.

Nó phải không phát ra tia lửa làm cháy tờ giấy mềm hoặc nóng tới mức làm cháy tấm bảng bằng gỗ thông.

6.4. Thử nghiệm về môi trường

6.4.1. Khả năng chịu nhiệt độ và độ ẩm cao

Thiết bị chống sét được đưa vào môi trường thử nghiệm với nhiệt độ và độ ẩm cao với thời gian theo bảng 15, nhiệt độ môi trường cỡ 80°C và độ ẩm tương đối ở mức 90%.

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được mắc theo sơ đồ hình 13. thiết bị chống sét được cấp nguồn AC hoặc DC trong suốt quá trình thử nghiệm môi trường. Điện áp nguồn điện cấp đến mẫu thiết bị chống sét đặt ở mức điện áp làm việc liên tục lớn nhất theo 5.2.1.1.

Nguồn điện cấp đến phải có cường độ tương ứng như mức dòng tải chịu được như thử nghiệm. Sau khi kết thúc quá trình thử nghiệm môi trường thiết bị được làm nguội về nhiệt độ 23°C ±2°C

Table 15 – Preferred values of test-time duration for high temperature and humidity endurance

Test-time duration Days
10
21
30
56

6.4.2. Thử nghiệm xung với điều kiện môi trường thay đổi theo chu kỳ

Thiết bị thử nghiệm được đặt trong môi trường không đọng sương với nhiệt độ thay đổi theo chu kỳ thời gian tương ứng với khoảng thời gian đề xuất trong bảng 16. Trong quá trình thử nghiệm, một máy phát xung với các thông số theo yêu cầu của bảng 3 được sử dụng đặt điện áp mạch hở được lựa chọn theo mục C bảng 3 đặt lên thiết bị thử nghiệm. Khi chu kỳ A được lựa chọn thực hiện, 2 xung dòng thử nghiệm được phát đến thiết bị tương ứng với mỗi chu kỳ ngày trong khoảng chu kỳ kéo dài liên tục 5 ngày tiếp theo 2 ngày không thực hiện. Một lựa chọn khác khi lựa chọn sử dụng chu kỳ B 2 dòng xung được phát đến thiết bị trong ngày đầu tiên và ngày cuối cùng của chu kỳ thử nghiệm nhiệt độ.

Tương ứng với mỗi ngày phát xung, một dòng xung được phát đến thiết bị thử nghiệm tại thời điểm nhiệt độ đặt ở mức cao nhất T_1 được đề xuất theo bảng 16, và một xung tại thời điểm nhiệt độ đặt ở mức thấp nhất T_2 theo bảng 16. Xung được phát vào thời điểm 1 giờ sau khi bắt đầu chu kỳ nhiệt độ cao nhất hoặc thấp nhất. Dòng xung thử nghiệm tương ứng với mỗi ngày là dạng xung dòng cực nhưng có thể đảo cực với ngày thử nghiệm xung tiếp theo. Phương pháp thử nghiệm này được lặp lại cho đến khi kết thúc chu kỳ thử nghiệm với môi trường thay đổi theo chu kỳ.

Thiết bị chống sét đưa vào thử nghiệm được đấu nối theo sơ đồ hình 13 và được cấp bởi nguồn máy phát với nguồn AC hoặc DC phù hợp trong suốt chu kỳ thử nghiệm. Điện áp âm hoặc dương của nguồn máy phát đến thiết bị không được vượt quá mức điện áp danh định

làm việc theo yêu cầu của 5.2.1.1, trong quá trình thử nghiệm xung không được đặt nguồn điện áp DC lên thiết bị thử nghiệm.

Table 16 – Preferred values of temperature and duration for environmental cycling tests

Cycle	High extreme temperature (T_1) °C	Low extreme temperature (T_2) °C	Duration cycles
Cycle A – Figure 14	32 ± 2	4 ± 2	30
Cycle B – Figure 15 (based on IEC 60068-2-30; 6.3.3, variant 2)	$40 \text{ or } 55 \pm 2$	25 ± 3	5

Điện áp giới hạn của phần tử giới hạn xung áp được đo trong quá trình phát xung thử nghiệm, điện trở cách điện được kiểm tra 1h sau khi phát xung thử nghiệm. Nếu thiết bị được xác định là nhạy cảm với điện áp phân cực dương hoặc âm của nguồn DC, thì cần phải kiểm tra điện trở cách điện với nguồn phân cực dương và âm DC.

1h sau khi hoàn tất các thử nghiệm theo chu kỳ, thiết bị phải đáp ứng được các yêu cầu theo 5.2.1.1 và 5.2.1.3.

6.4.3. Thử nghiệm xung nguồn AC với điều kiện môi trường thay đổi theo chu kỳ

Thiết bị thử nghiệm được đặt trong môi trường không động sương với nhiệt độ thay đổi theo chu kỳ thời gian tương ứng với khoảng thời gian theo đề xuất bảng 16. Trong quá trình thử nghiệm, một máy phát xung đặt điện áp AC hồ mạch lên thiết bị đồng thời với một dòng ngắn mạch được lựa chọn theo bảng 5.

Khi lựa chọn thử nghiệm theo chu kỳ A, 2 xung dòng được phát đến thiết bị thử nghiệm tương ứng với chu kỳ ngày trong vòng chu kỳ 5 ngày tiếp theo 2 ngày không thử nghiệm, một lựa chọn khác là thực hiện theo chu kỳ B, 2 xung được phát vào ngày đầu tiên và ngày cuối cùng của toàn bộ chu kỳ thử nghiệm nhiệt độ, với mỗi ngày thử xung, một xung dòng được phát khi thiết bị ở trong chu kỳ nhiệt độ cao nhất T_1 và 1 ở trong chu kỳ nhiệt độ thấp nhất T_2 theo đề xuất của bảng 16. Xung nguồn AC được phát vào thời điểm 1h sau khi thiết bị bắt đầu chu kỳ nhiệt độ cao nhất hoặc thấp nhất. Quy trình thử nghiệm này được lặp lại cho đến khi kết thúc quá trình thử nghiệm môi trường thay đổi nhiệt độ.

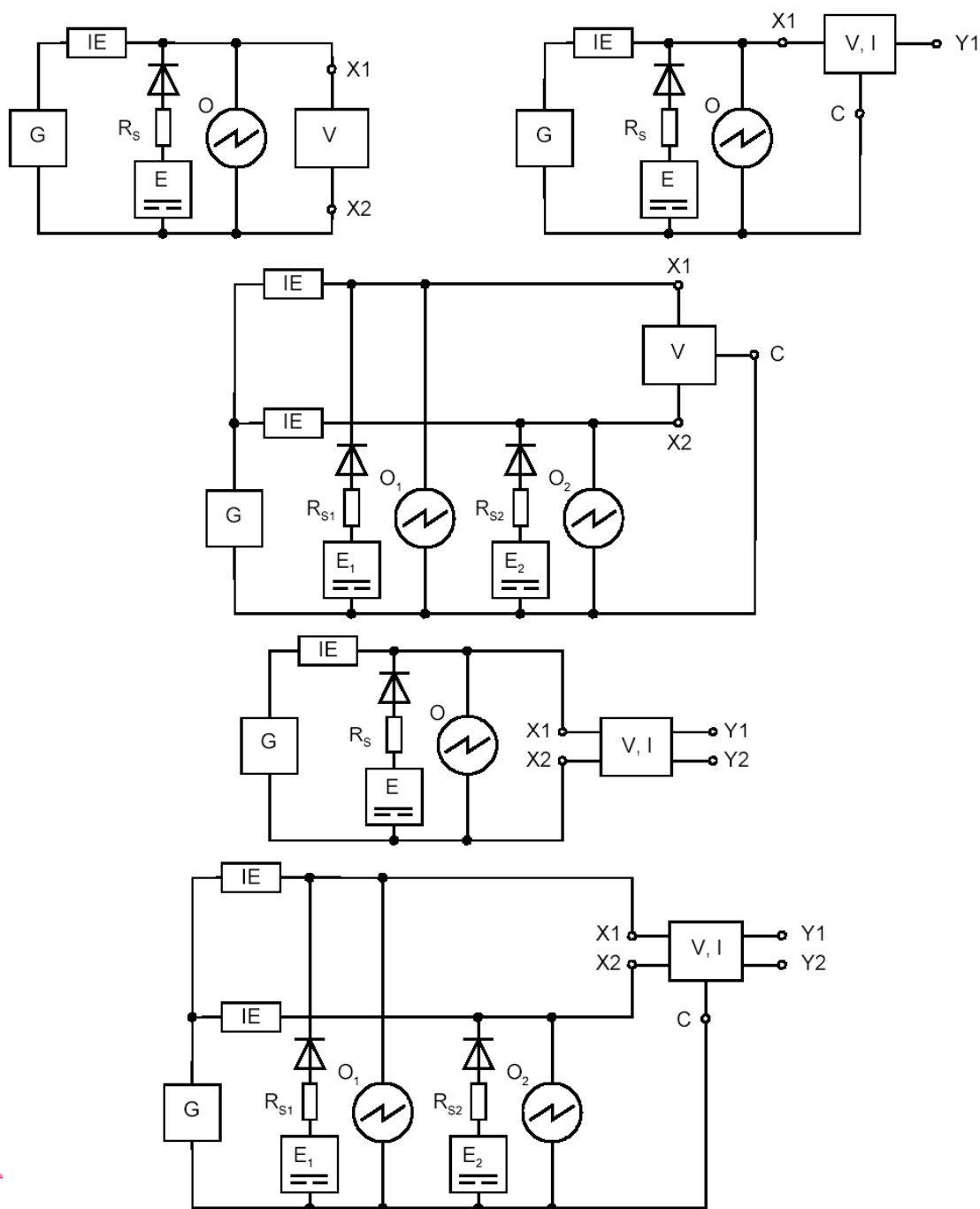
Thiết bị đưa vào thử nghiệm được đấu nối theo sơ đồ hình 13 và được cấp nguồn điện DC trong toàn bộ quá trình thử nghiệm chu kỳ nhiệt độ thay đổi. Nguồn điện DC cấp đến thiết bị có thể phân cực dương hoặc âm nhưng không được vượt quá mức điện áp làm việc cho phép theo 5.2.1.1, khi thử nghiệm với xung nguồn AC nguồn cấp DC không được cấp đến thiết bị.

Mỗi lần phát xung thử nghiệm AC cần đo và xác định mức điện áp giới hạn tương ứng. 1h sau khi kết thúc thử nghiệm xung dòng AC, xác định điện trở cách điện của thiết bị thử nghiệm, nếu thiết bị mẫu thử được xác định là nhạy cảm với sự phân cực của nguồn điện DC, cần phải thử nghiệm cách điện trong khi cấp nguồn phân cực dương hoặc âm DC đến thiết bị.

Trong vòng 1h sau khi kết thúc toàn bộ chu kỳ thử nghiệm cần xác định chức năng giới hạn điện áp và phải đáp ứng yêu cầu giới hạn điện áp xung dòng cũng như điện trở cách điện của mẫu thử.

6.5. Các thử nghiệm có điều kiện chấp thuận

Các thử nghiệm này được thực hiện dựa trên sự đồng thuận giữa người dùng và nhà sản xuất.



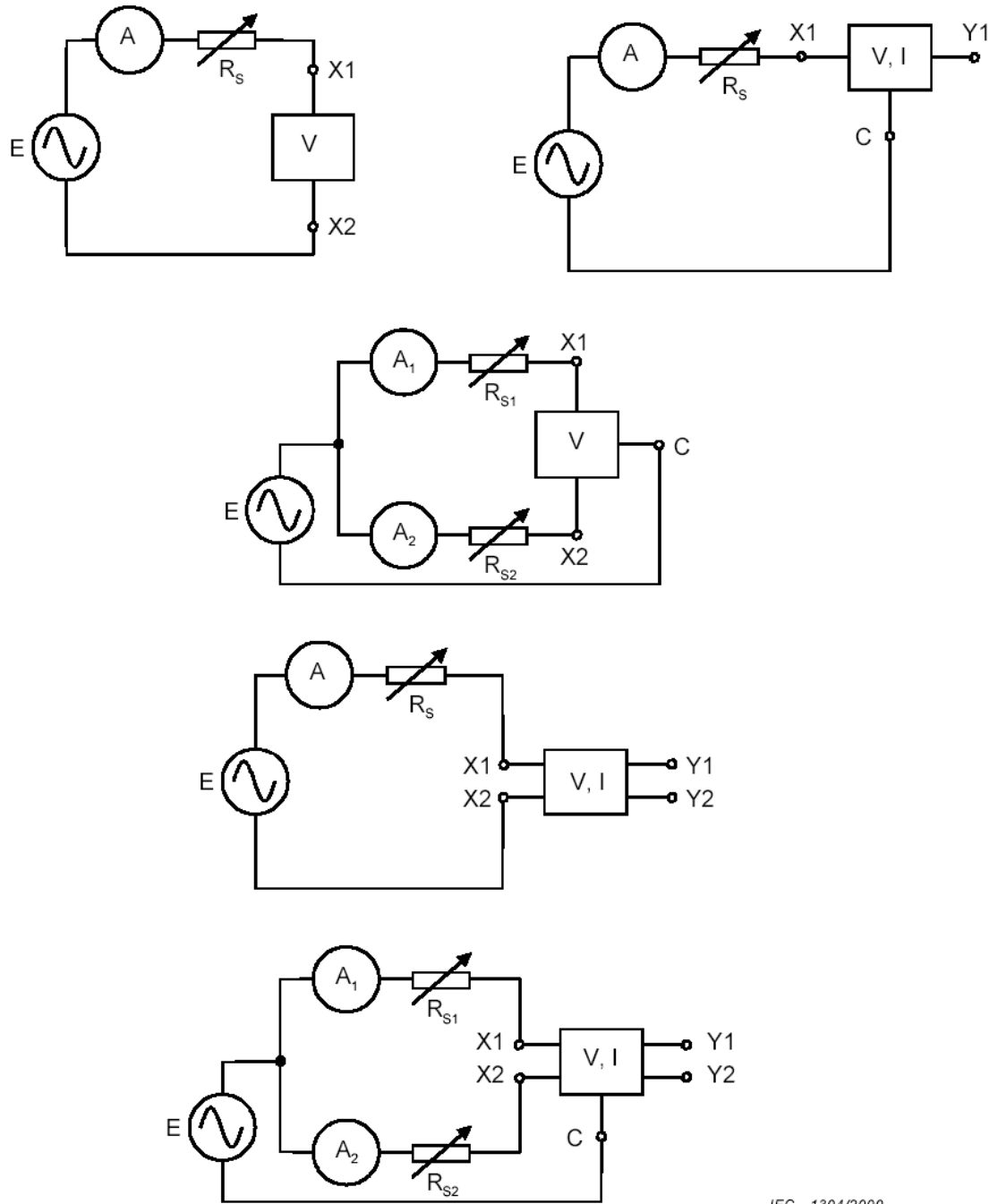
IEC 1303/2000



Key

O, O ₁ , O ₂	oscilloscopes	V	voltage-limiting component
E, E ₁ , E ₂	d.c. voltage sources	V, I	voltage-limiting components or combination of voltage-limiting and current-limiting components
G	impulse generator	X1, X2	line terminals
IE	isolation element	Y1, Y2	protected line terminals
R _s , R _{s1} , R _{s2}	non-inductive source resistors	C	common terminal

Figure 2 – Test circuits for impulse reset time



IEC 1304/2000

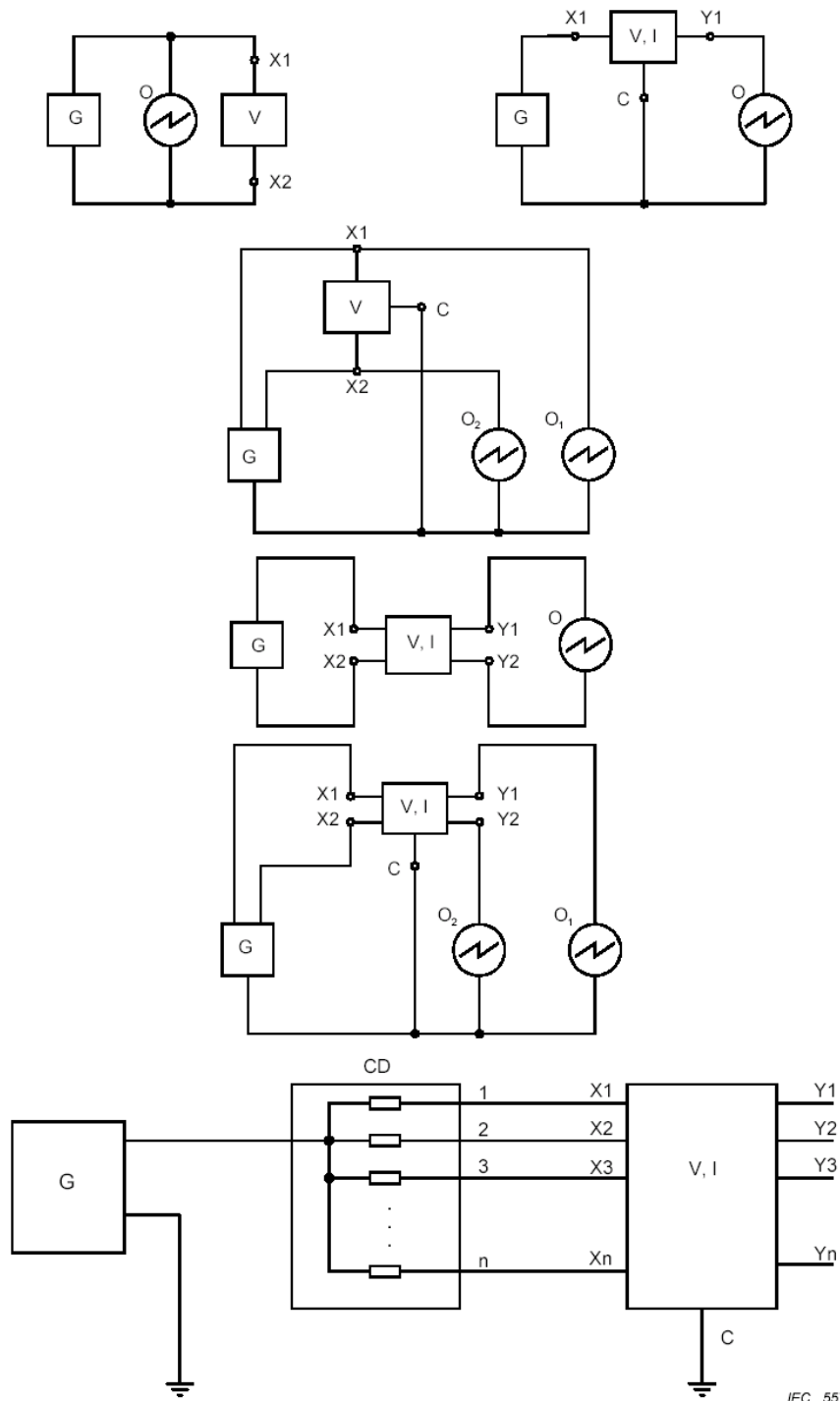


Key

A, A₁, A₂ ammeters
E a.c. voltage source
R_s, R_{s1}, R_{s2} non-inductive source resistors

V voltage-limiting component
V, I voltage-limiting components or combination of
 voltage-limiting and current-limiting components
X1, X2 line terminals
Y1, Y2 protected line terminals
C common terminal

Figure 3 – Test circuits for a.c. durability and overstressed fault mode

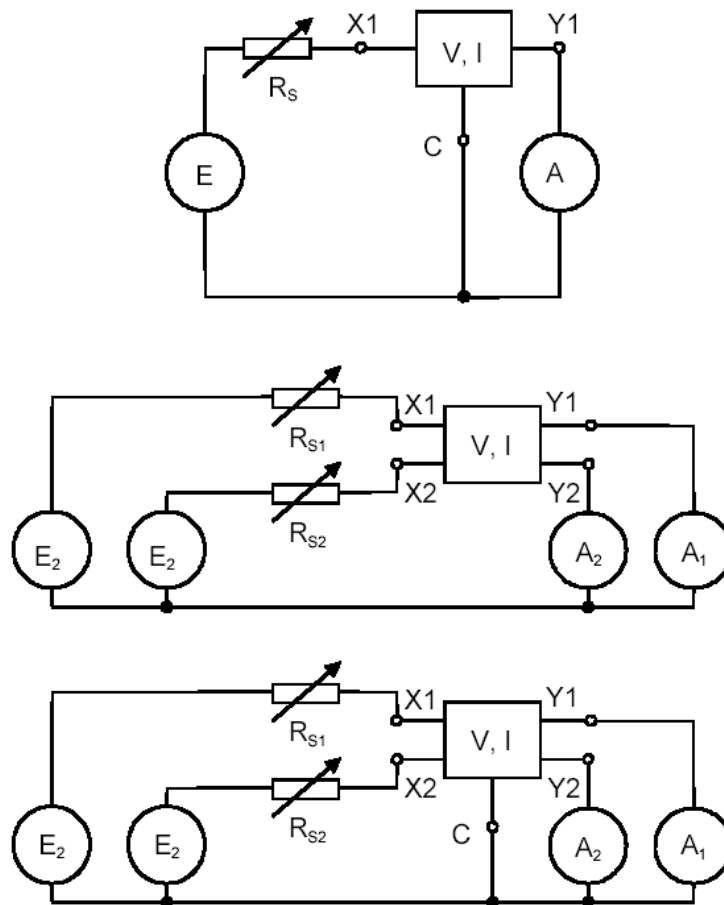


IEC 557/08

Key

O, O ₁ , O ₂	oscilloscopes, used to monitor U_p during impulse durability testing	V	voltage-limiting component
G	impulse generator	V, I	voltage-limiting components or combination of voltage-limiting and current-limiting components
CD	current distributor	X1, X2	line terminals
C	common terminal	Y1, Y2	protected line terminals

Figure 4 – Test circuits for impulse durability and overstressed fault mode



IEC 1306/2000

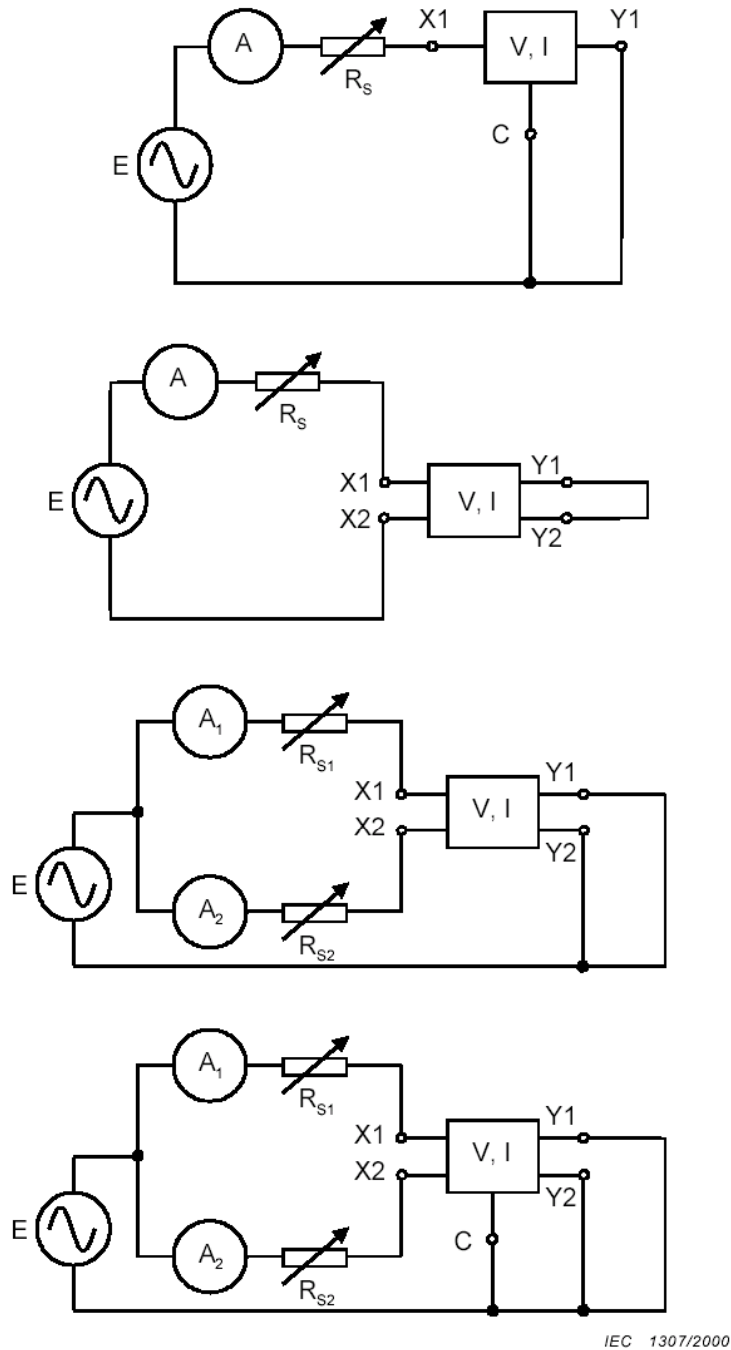
Key

A, A₁, A₂ ammeters
E, E₁, E₂ d.c. or a.c. voltage sources
R_s, R_{s1}, R_{s2} non-inductive source resistors

V voltage-limiting component
V, I voltage-limiting components or combination of
 voltage-limiting and current-limiting components
X1, X2 line terminals
Y1, Y2 protected line terminals
C common terminal

Figure 5 – Test circuits for rated current, series resistance, response time, current reset time, maximum interrupting voltage and operating duty test

IEC

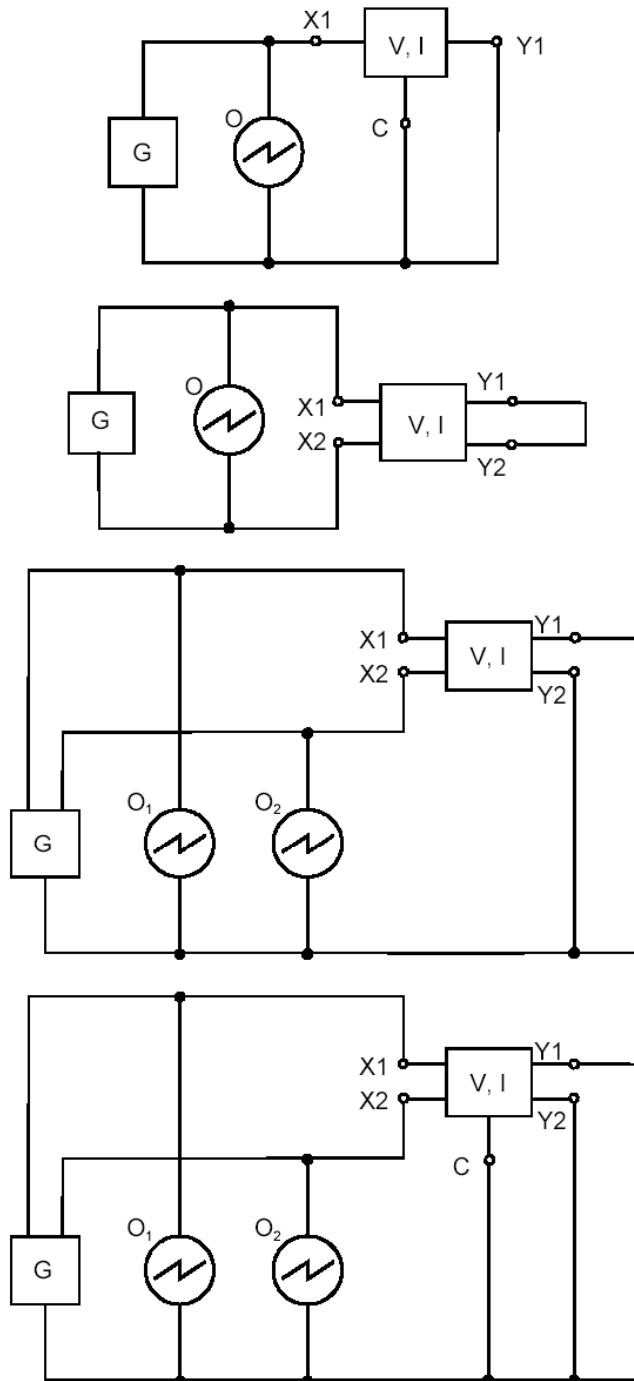


Key

A, A₁, A₂ ammeters
 E a.c. voltage source
 R_s, R_{s1}, R_{s2} non-inductive source resistors

V voltage-limiting component
 V, I voltage-limiting components or combination of
 voltage-limiting and current-limiting components
 X1, X2 line terminals
 Y1, Y2 protected line terminals
 C common terminal

Figure 6 – Test circuits for a.c. durability



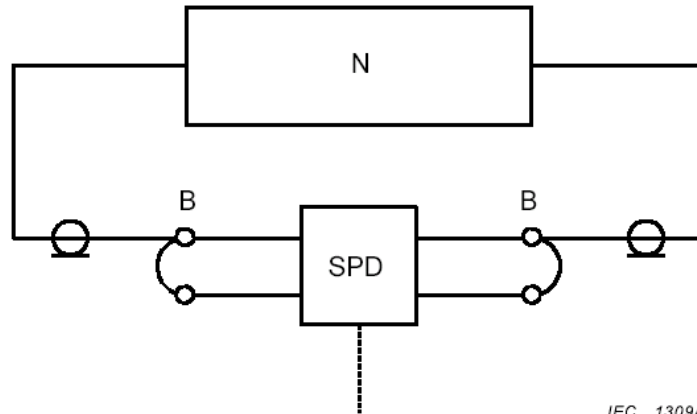
IEC 1308/2000

Key

O, O₁, O₂ oscilloscopes
G impulse generator

V voltage-limiting component
V, I voltage-limiting components or combination of voltage-limiting and current-limiting components
X1, X2 line terminals
Y1, Y2 protected line terminals
C common terminal

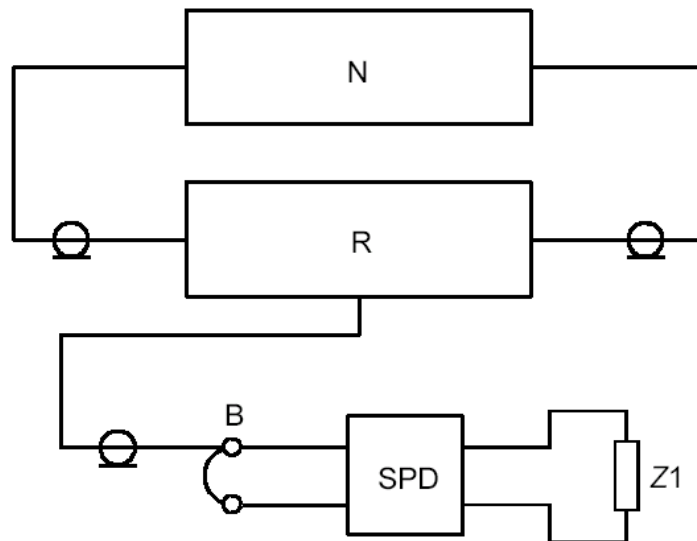
Figure 7 – Test circuits for impulse durability



IEC 1309/2000

N network analyser
B balun

Figure 8 – Test circuits for insertion loss

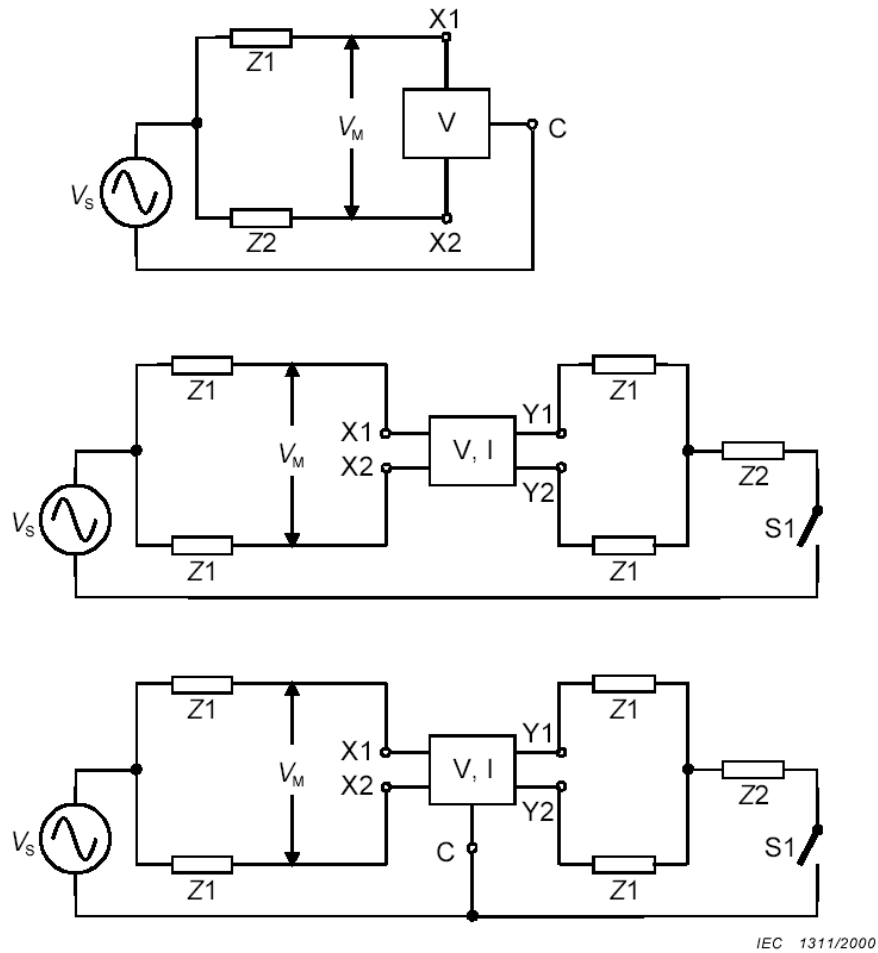


IEC 1310/2000

Key

N network analyser
R reflecting bridge
B balun
Z1 terminating impedance 100 Ω or 120 Ω or 150 Ω

Figure 9 – Test circuit for return loss



Key

V_s disturbing common mode (longitudinal) voltage

V_m resulting differential mode (metallic) voltage

Z_1, Z_2 terminating impedance

V voltage-limiting component

V, I voltage-limiting components or combination of voltage-limiting and current-limiting components

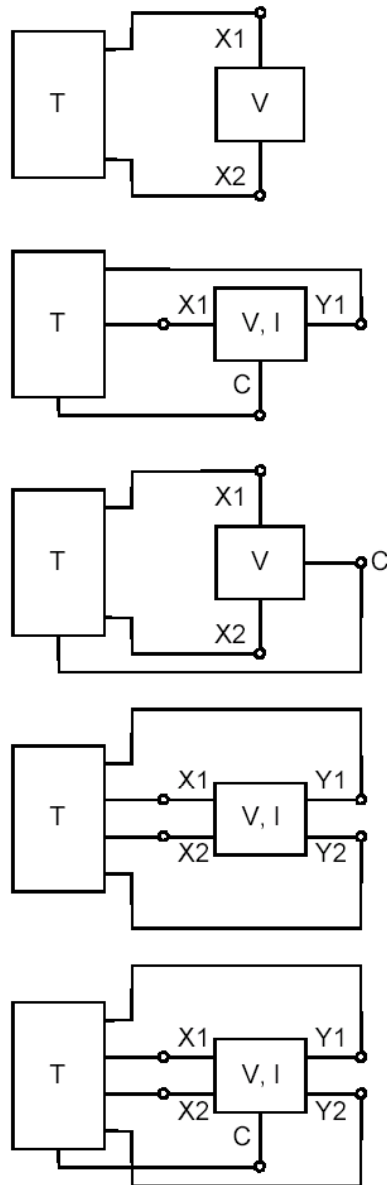
X_1, X_2 line terminals

Y_1, Y_2 protected line terminals

C common terminal

Figure 10 – Test circuits for longitudinal balance

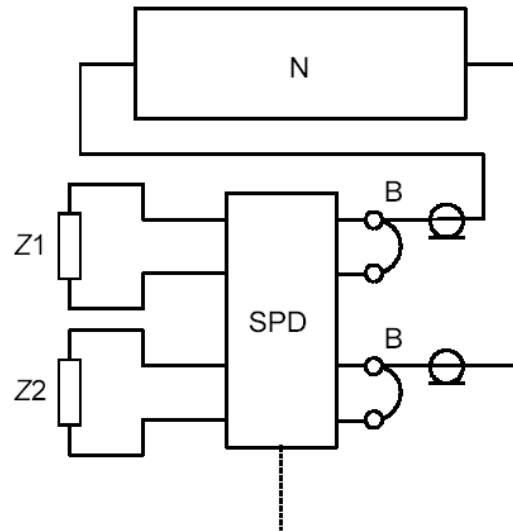
IEC



IEC 1312/2000

Key	
	T BER tester
	V voltage-limiting component
	V, I voltage-limiting components or combination of voltage-limiting and current-limiting components
	X1, X2 line terminals
	Y1, Y2 protected line terminals
	C common terminal

Figure 11 – Test circuit for bit error ratio test



IEC 1313/2000

Key

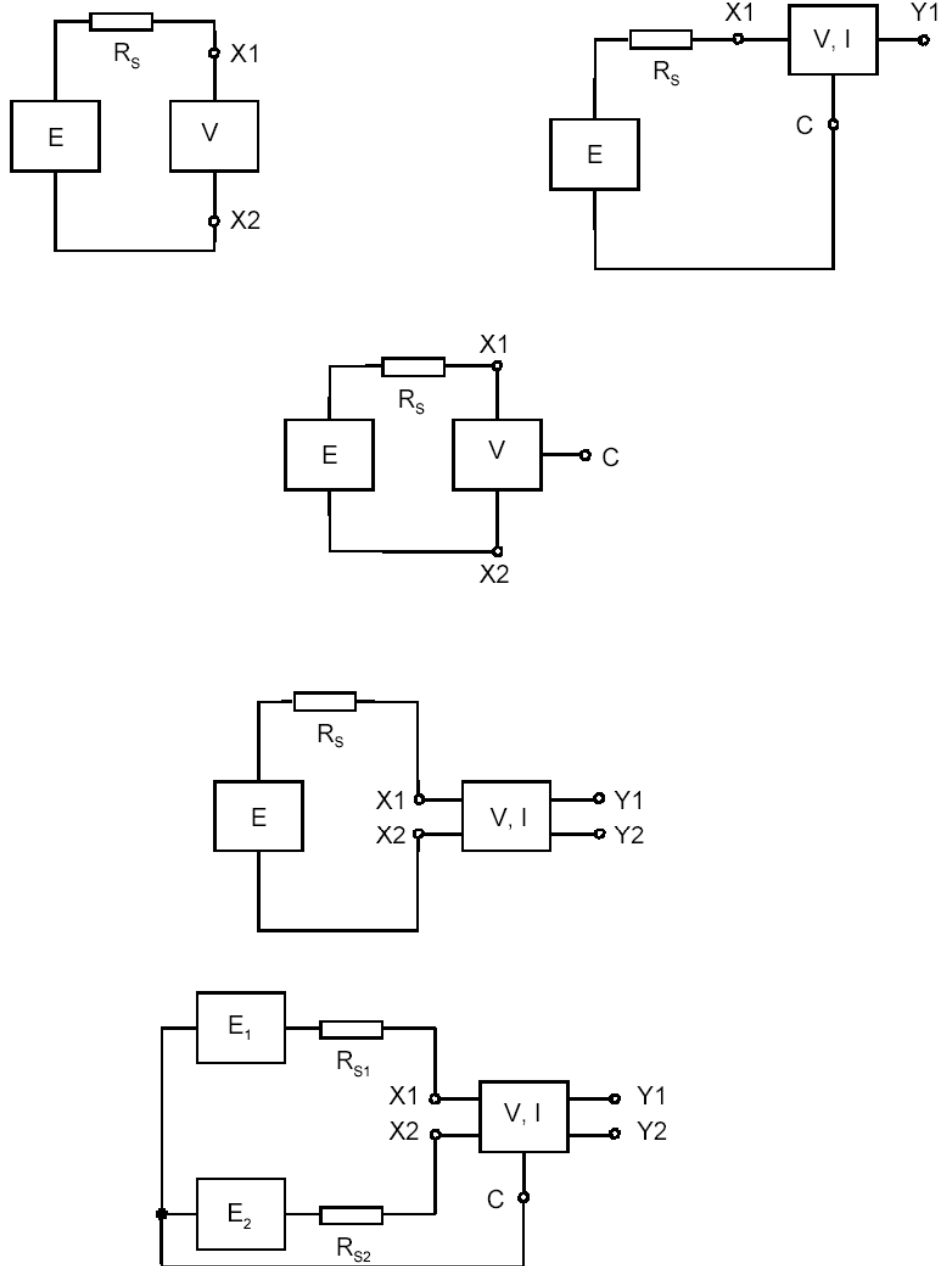
N network analyser

B balun

Z1, Z2 terminating impedances

Figure 12 – Test circuit for near-end crosstalk

IEC 61643-21,



IEC 1314/2000

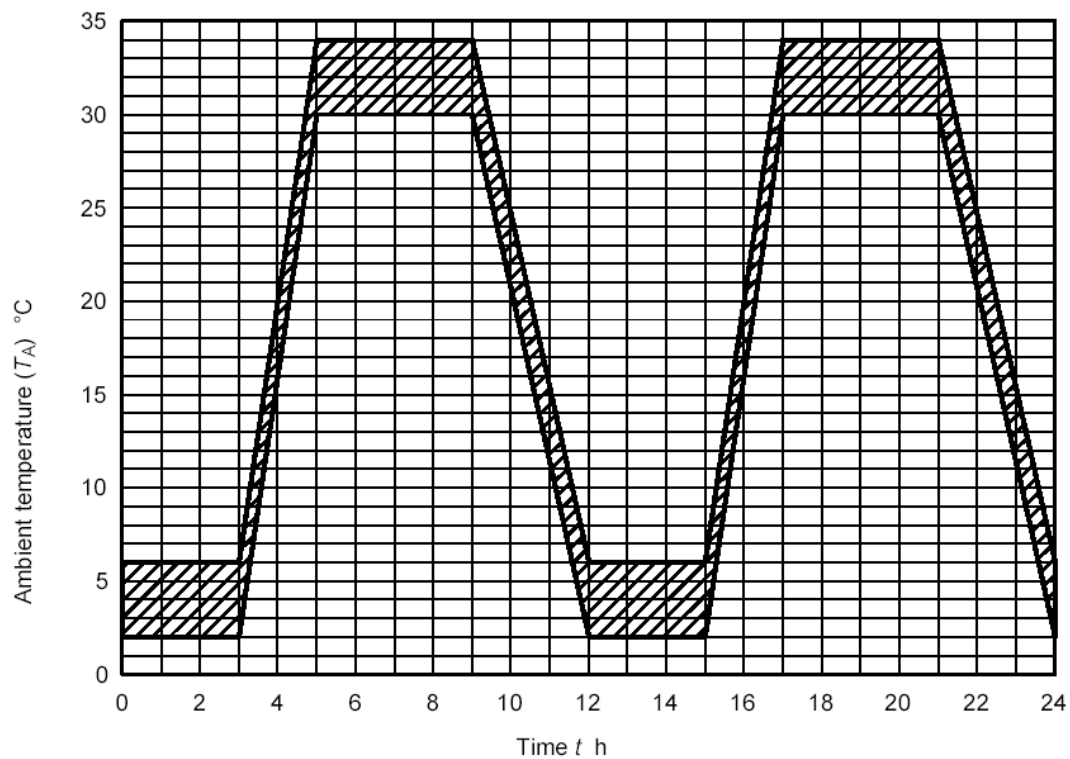


Key

E, E_1, E_2 d.c. or a.c. voltage sources
 R_s, R_{s1}, R_{s2} non-inductive source resistors

V voltage-limiting component
 V, I voltage-limiting components or combination of voltage-limiting and current-limiting components
 $X1, X2$ line terminals
 $Y1, Y2$ protected line terminals
 C common terminal

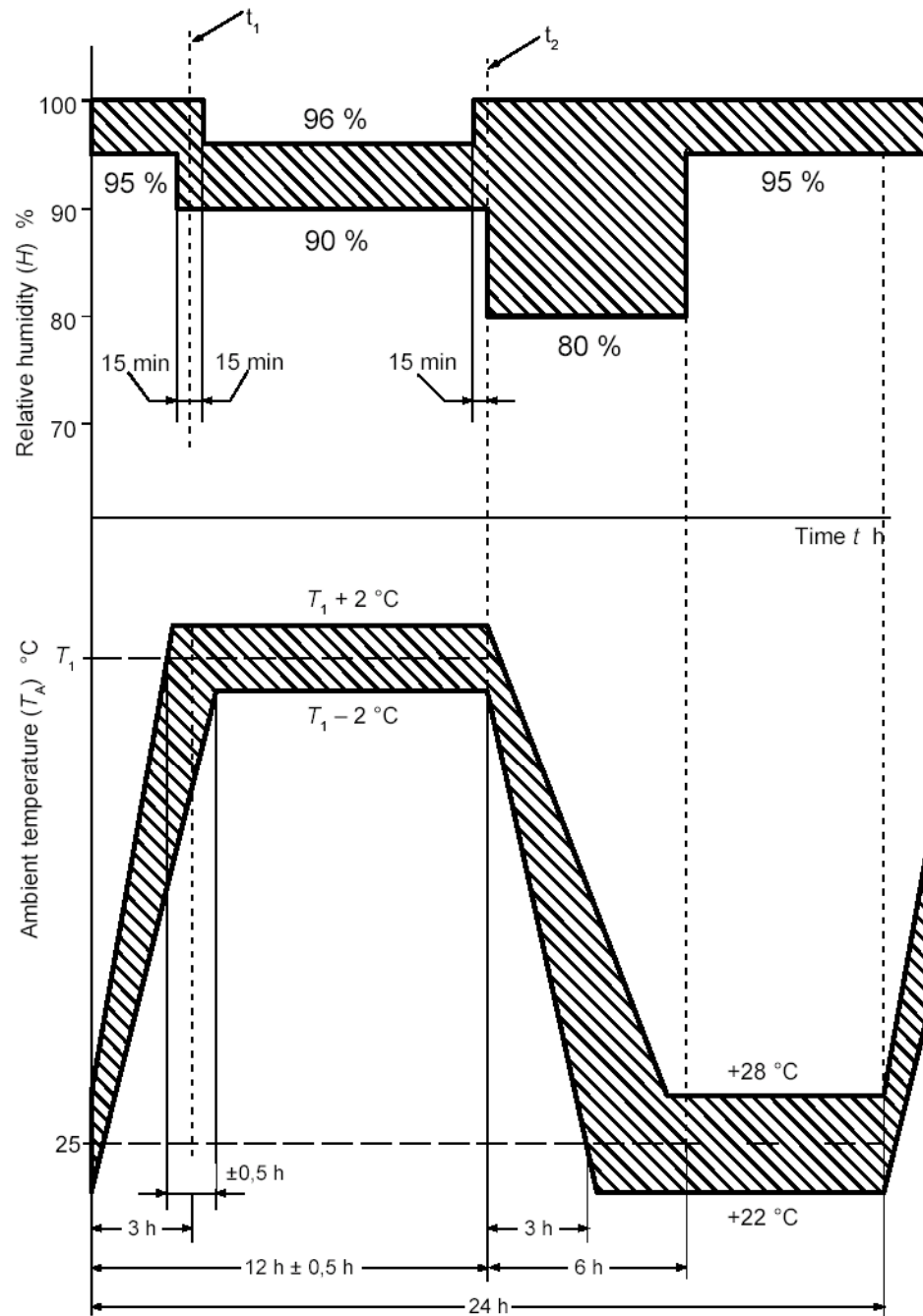
Figure 13 – Test circuits for high temperature/humidity endurance and environmental cycling



IEC 1315/2000

Figure 14 – Environmental cycling schedule A with RH ≥ 90 %

IEC 61643-21,



IEC 1316/2000



Key

- T_1 upper temperature, +40 °C or +55 °C
- t_1 end of the temperature rise
- t_2 start of the temperature fall

Figure 15 – Environmental cycling B