Xuất bản lần 1

TCVN TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

PHỐI HỢP CÁCH ĐIỆN DÙNG CHO THIẾT BỊ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN HẠ ÁP
PHẦN 4: XEM XÉT ỨNG SUẤT ĐIỆN ÁP TẦN SỐ CAO

Insulation coordination for equipment within low-voltage systems -
Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress

PHỐI HỢP CÁCH ĐIỆN DÙNG CHO THIẾT BỊ
TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN HẠ ÁP
PHẦN 4: XEM XÉT ỨNG SUẤT ĐIỆN ÁP TẦN SỐ CAO

HÀ NỘI - 2015

3.1

Trường xấp xỉ đồng nhất (approximately homogeneous field)

Đối với tần số lớn hơn 30 kHz, trường được coi là xấp xỉ đồng nhất khi bán kính đường cong của các phần dẫn điện lớn hơn hoặc bằng 20 % khe hở không khí.

3.2

Trường không đồng nhất (inhomogeneous field)

Đối với tần số lớn hơn 30 kHz, trường được coi là không đồng nhất khi bán kính đường cong của các phần dẫn điện nhỏ hơn 20 % khe hở không khí.

3.3

$\hat{u}_{peak}$

Giá trị đỉnh của mọi kiểu điện áp đỉnh chu kỳ đi qua cách điện.

3.4

f_{crit}

Tần số tới hạn khi xảy ra sụt giảm điện áp đánh thủng của khe hở không khí.

3.5

f_{min}

Tần số khi xảy ra sụt giảm lớn nhất điện áp đánh thủng của khe hở không khí.

[redacted]

không khí. Dữ liệu xác định kích thước có hiệu lực ở độ cao

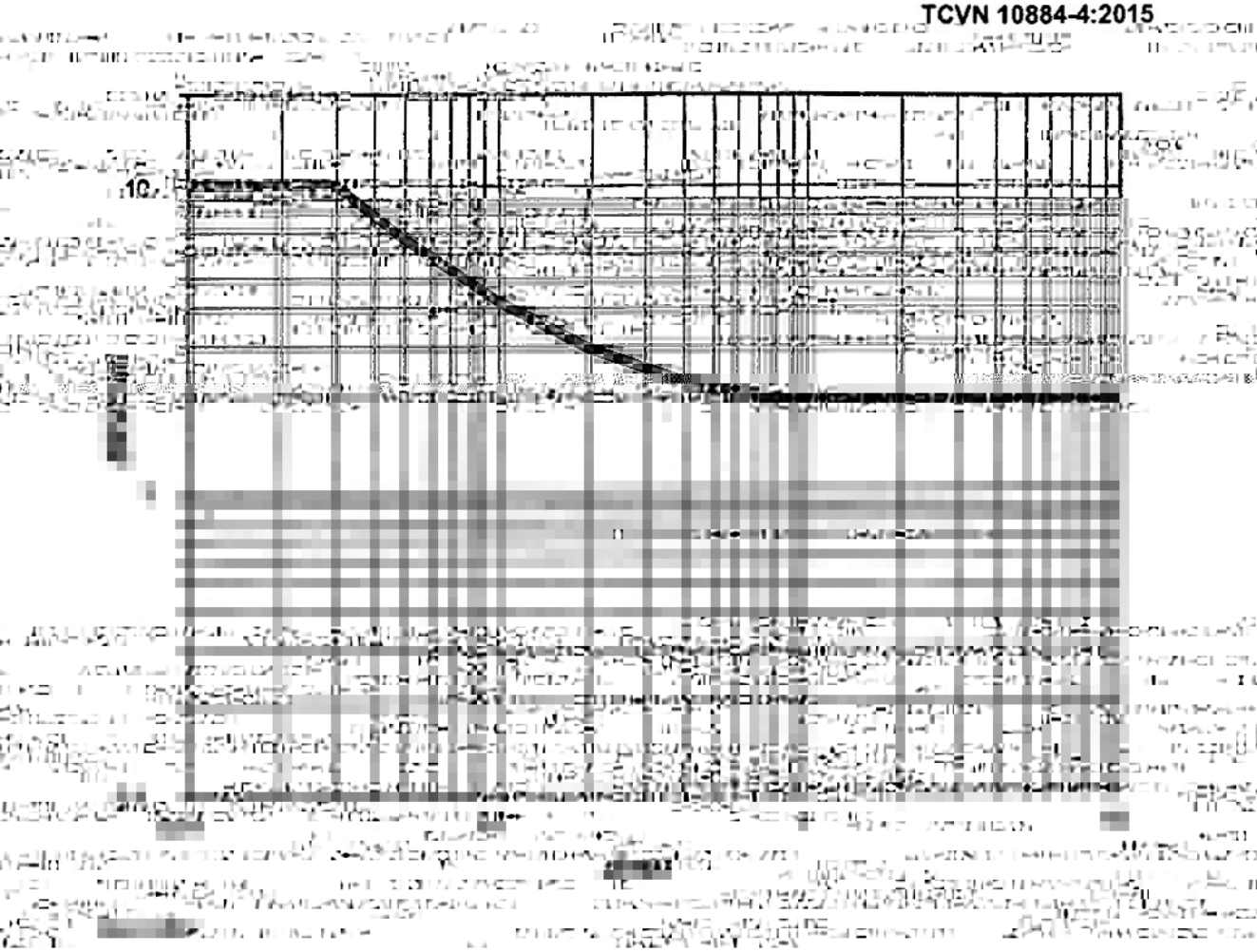
độ cao lớn hơn, áp dụng hệ số hiệu chỉnh độ cao trong

Điều này áp dụng đối với các khe hở trong

tối đa 2 000 m so với mực nước biển. Ở

Bảng A.2 của Phần 1.

Hình 2 – Xác định kích thước chiều dài đường rò để tránh phóng điện cục bộ (chiều dài đường rò ≥ 1 mm) hoặc tránh phóng điện cạnh thủng (chiều dài đường rò < 1 mm)

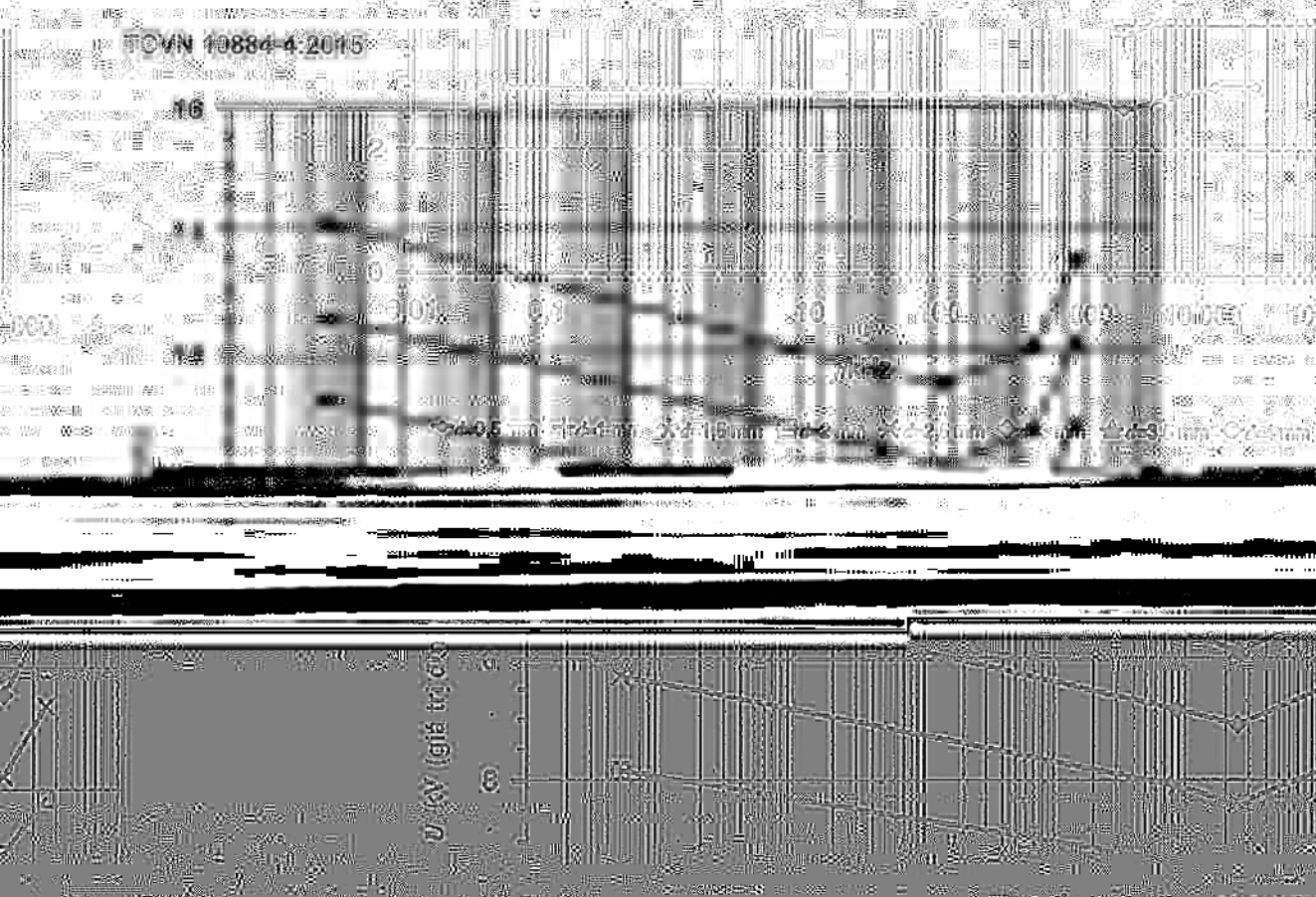

10

A.2 [illegible]

A.2.1 [illegible]

[illegible]

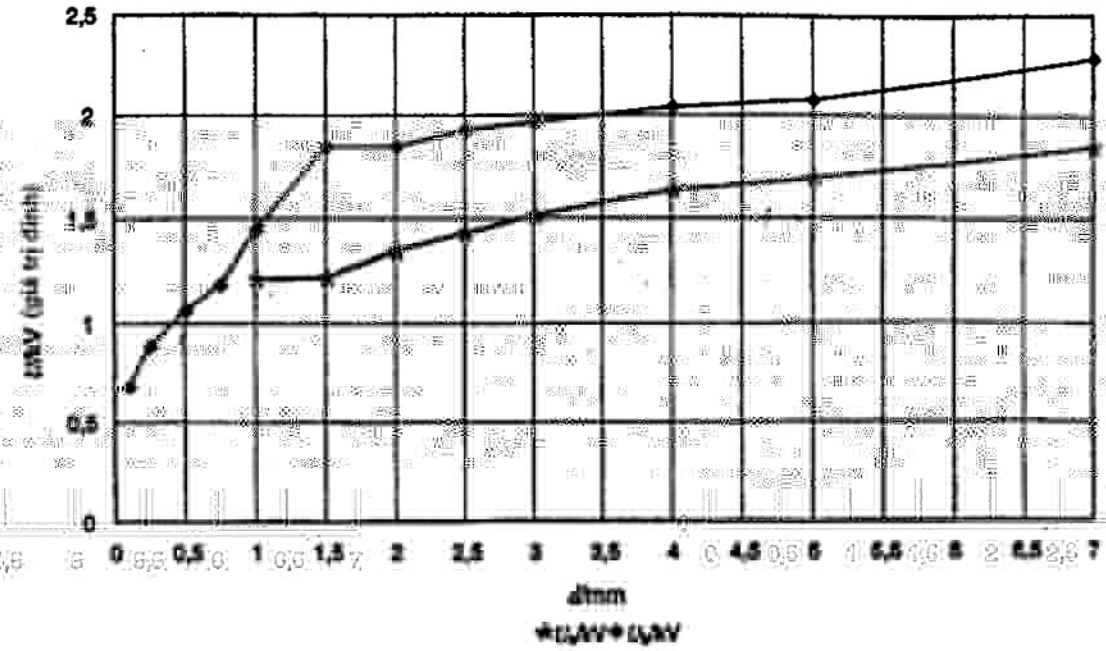
[illegible]



[2] là đối với không khí ở 1 bar phụ thuộc vào giá trị khe hở không khí;

14
12
0,01
0,1
1
10
100
1 000
10 000
kHz

Như có thể thấy từ đường cong bổ sung theo Công thức (A.3) trên Hình A.2, có một số sai lệch giữa dữ liệu thí nghiệm khả dụng và tần số tới hạn được cho bởi Công thức (A.3). Khi dữ liệu thí nghiệm



CHÚ DẪN:

d khe hở không khí

U_s điện áp đặt tắt phóng điện đánh thủng

U_b điện áp đánh thủng

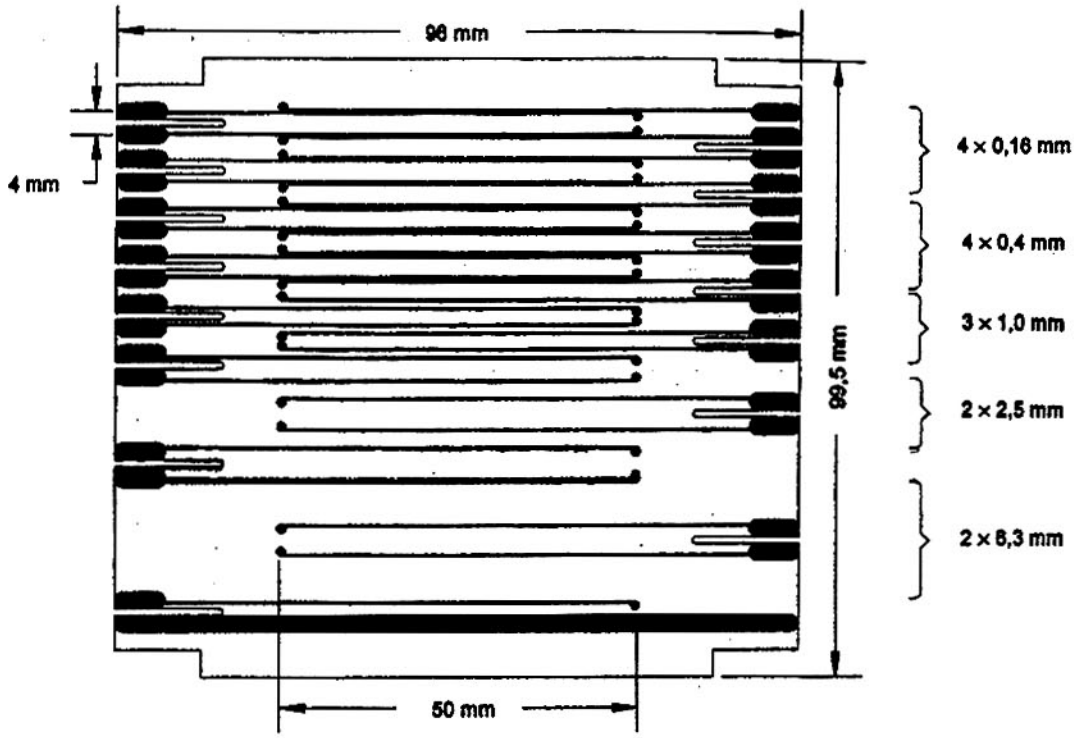
CHÚ DẪN:

d khe hở không khí

U_s điện áp đặt tắt phóng điện đánh thủng

U_b điện áp đánh thủng

Hình A.5 – Điện áp đặt tắt phóng điện cục bộ và điện áp đánh thủng trong không khí ở áp suất khí quyển đối với *f* = 1 MHz, điện cực điểm – mặt phẳng với khe hở [15]



Hình B.1 – Mẫu thử nghiệm để đo điện áp phóng điện cục bộ và điện áp chịu thử của chiều dài đường rò đến 6,3 mm

Bảng B.1 – Vật liệu trong các nghiên cứu

Phân loại vật liệu	Mô tả vật liệu
B	Thủy tinh – epoxy dát mỏng FR4
C	Nhựa polyeste (nhựa phản ứng nóng), loại 802
D	Nhựa phenolic, loại 31.5
E	Màng polymide dát mỏng đến thủy tinh – epoxy dát mỏng FR4
G	Polyester dát mỏng GPO III
H	Nhựa melamine, loại 150

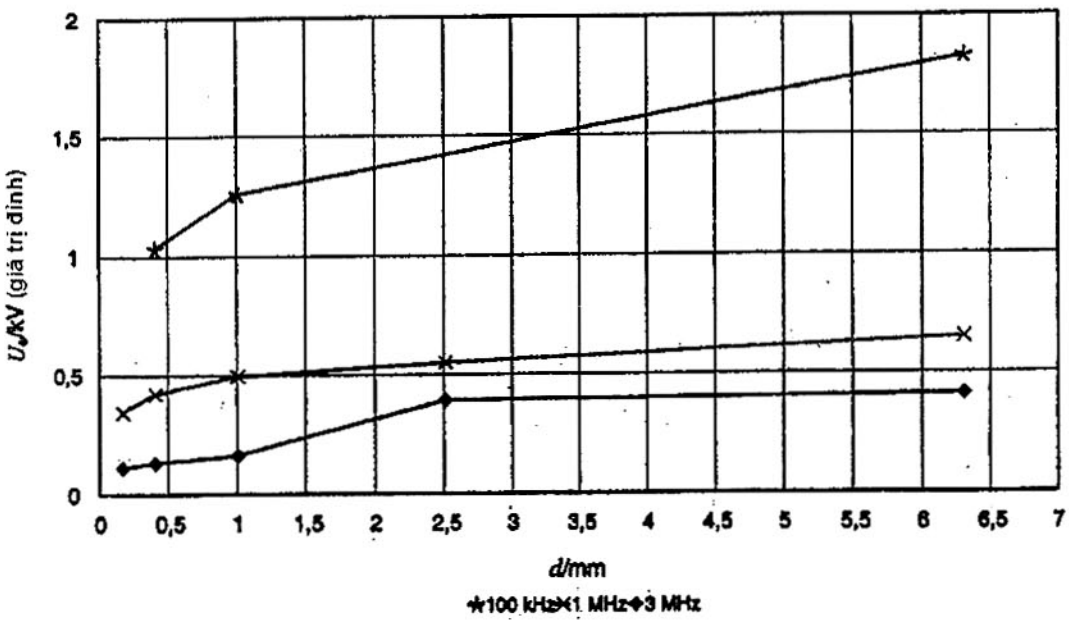
Để đo điện áp phóng điện cục bộ và điện áp đánh thủng, chọn tốc độ tăng của điện áp thử nghiệm xấp xỉ 300 V/s. Vì vậy, nó được đảm bảo rằng không có sự hỏng hóc đáng kể nào của mẫu thử nghiệm xảy ra trong quá trình thử nghiệm. Nếu tốc độ tăng thấp hơn nhiều (khoảng 10 V/s) đối với tần số cao của điện áp thử nghiệm, hỏng vật liệu nền có thể xảy ra trong quá trình thử nghiệm. Điều này có thể dẫn đến điện áp đánh thủng đo được bị giảm khoảng 10 %.

B.3 Dữ liệu thí nghiệm

Các kết quả thử nghiệm được thể hiện trên Hình B.2 và B.3 [6]; chi tiết được mô tả trong [5]. So sánh với tần số 100 kHz điện áp khởi phát phóng điện cục bộ ở 1 MHz chỉ còn khoảng 66 %. Ở tần số 3 MHz, các giá trị này còn bị giảm xuống thêm khoảng 30 %. Vì thế cần cung cấp tiêu chí xác định kích thước cụ thể dựa trên tần số của điện áp.

Điện áp đánh thủng ít phụ thuộc vào tần số của điện áp. Tuy nhiên, ảnh hưởng bão hòa, mà có thể nhìn thấy được đối với khe hở không khí, là mạnh đến mức, điện áp đánh thủng gần như không tăng khi thay đổi các khoảng cách trong phạm vi vài milimét.

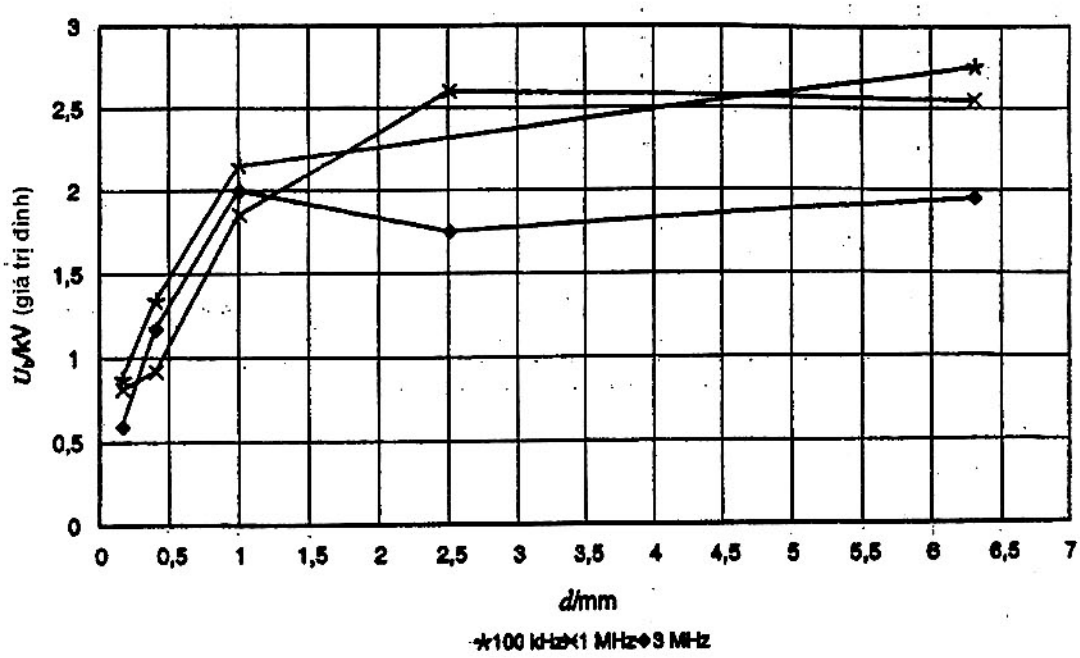
Trong quá trình đo điện áp đánh thủng trên hầu hết các mẫu thử nghiệm, các điện cực và/hoặc vật liệu nền bị hỏng. Nguồn gây ra hỏng này, mà có thể khiến vật liệu cách điện dẫn điện, dường như có liên quan đến hai cơ chế hỏng. Một là sự nóng chảy của vật liệu điện cực do năng lượng phóng điện cao trong quá trình phóng điện đánh thủng. Hiện tượng khác gây ra bởi phóng điện cục bộ trước khi xảy ra phóng điện đánh thủng và dẫn đến hỏng vật liệu nền.



CHÚ DẪN:

d chiều dài đường rò

Hình B.2 – Kết quả thử nghiệm điện áp dập tắt phóng điện cục bộ U_e của chiều dài đường rò đến 6,3 mm [6]



CHÚ DẪN:

d chiều dài đường rò

Hình B.3 – Kết quả thử nghiệm điện áp đánh thủng U_b của chiều dài đường rò đến 6,3 mm [6]

Phụ lục C

(tham khảo)

Đặc tính cách điện của cách điện rắn ở điện áp tần số cao

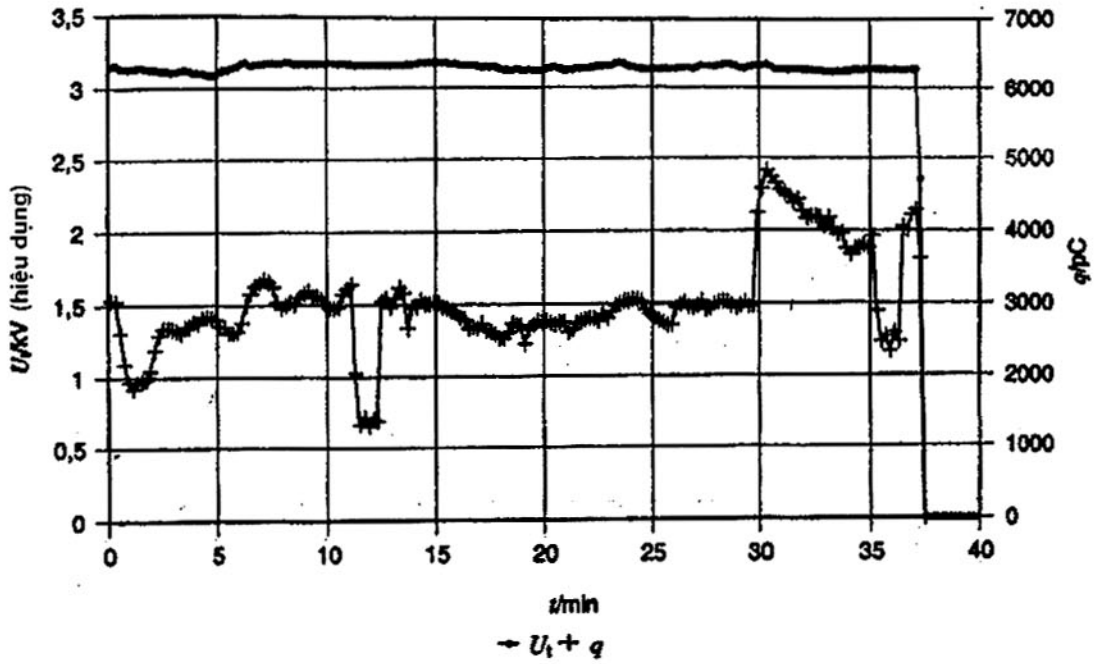
C.1 Cơ chế hỏng của cách điện rắn

So với khe hở không khí, cách điện rắn có thể cung cấp một cường độ điện trường đánh thủng mà có độ lớn lớn hơn ít nhất một cấp. Tuy nhiên có một sự phụ thuộc lớn của cường độ điện trường đánh thủng vào các tham số như chiều dày cách điện, nhiệt độ của vật liệu cách điện và khoảng thời gian của ứng suất điện [10]. Ảnh hưởng đặc trưng của vật liệu liên quan tới thành phần và quá trình cũng phải được xem xét. Nhìn chung có thể nói rằng, đối với chiều dày cách điện tương đối nhỏ (< 0,1 mm) và đối với ứng suất thời gian ngắn, có thể đạt được cường độ điện trường đánh thủng rất cao vào khoảng 100 kV/mm ở tần số công nghiệp.

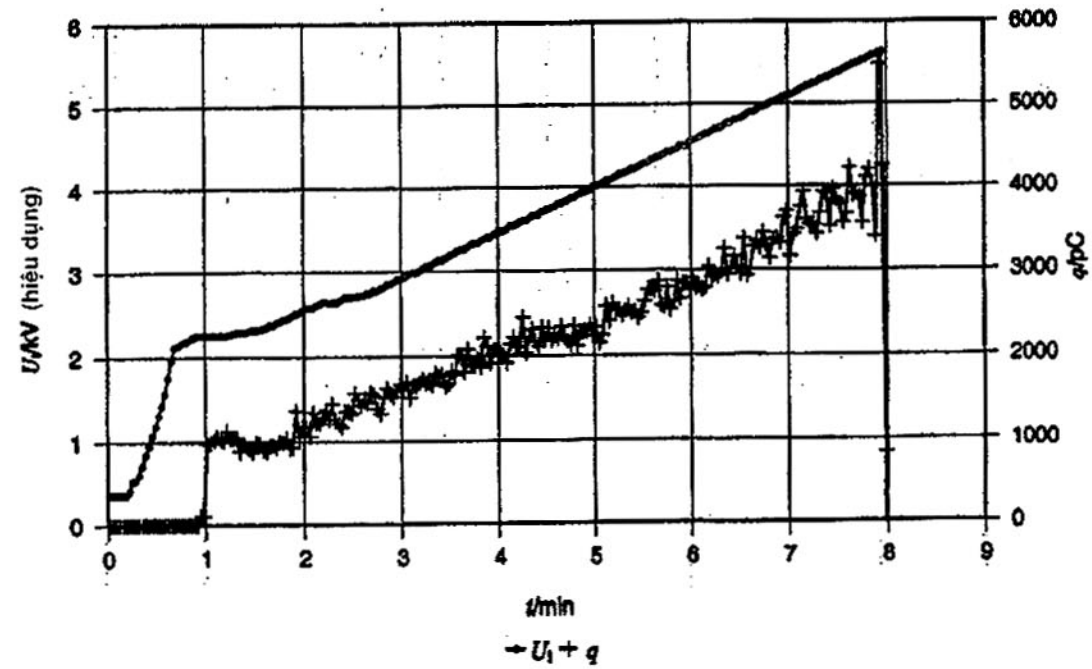
Tuy nhiên, trong sử dụng thực tế, cường độ điện trường đánh thủng cao của cách điện rắn không thể đưa vào sử dụng. Gây ra bởi các lỗ hổng trong bản thân vật liệu hoặc bởi khe hở khí bên trong hệ thống cách điện nhiều lớp, phóng điện cục bộ sẽ xảy ra thấp hơn nhiều điện áp đánh thủng. Vì vậy, khí bên trong lỗ hổng trở nên dẫn điện trong một khoảng thời gian ngắn; tuy nhiên cách điện được duy trì bởi phần còn lại của cách điện rắn. Vì trong quá trình phóng điện cục bộ xảy ra phóng điện đánh thủng không khí (hoặc khí tương tự), áp dụng cường độ điện trường đánh thủng tương đối thấp. Một sự trầm trọng hơn là kết quả từ thực tế rằng ứng suất điện áp xoay chiều do phân bố điện áp dung kháng và, theo hằng số điện môi tương đối cao của cách điện rắn, phần lớn điện áp đi qua lỗ hổng chứa đầy khí. Do đó, khí cách điện có cường độ điện trường đánh thủng thấp hơn thậm chí còn chịu ứng suất nhiều hơn.

Vì vậy trong hệ thống cách điện thực, có thể xảy ra phóng điện cục bộ thấp hơn nhiều điện áp đánh thủng. Trong thời gian dài, điều này dẫn đến phá hủy gần như toàn bộ vật liệu cách điện rắn [11]. Như được thể hiện trong ví dụ sau đây, khoảng thời gian cho đến khi cách điện bị hỏng trong các điều kiện không thuận lợi ngắn đến mức thậm chí cách điện rắn có thể hỏng trong quá trình thử nghiệm điện áp cao tần số công nghiệp.

Ví dụ, xem xét một bảng mạch in được phủ màng cách điện [12], ứng suất được đặt giữa dây dẫn và mối hàn bên cạnh ở khoảng cách danh nghĩa 0,4 mm. Khi đặt điện áp cao, tồn tại phóng điện cục bộ mạnh bên dưới màng cách điện (lớp mạ) mà cuối cùng dẫn đến sự phá hủy mẫu thử. Điều này được thể hiện trên Hình C.1 đối với một điện áp thử nghiệm tần số công nghiệp không đổi U_t là 3,15 kV (hiệu dụng). Điện áp thử nghiệm này đã lớn hơn 45 % so với điện áp khởi phát phóng điện cục bộ 2,2 kV (hiệu dụng). Do vật liệu cách điện chất lượng cao, mẫu thử nghiệm có thể chịu được ứng suất trong xấp xỉ 37 min mặc dù cường độ phóng điện cục bộ q nằm trong dải nC.



Hình C.1 – Khả năng chịu phóng điện cục bộ của lớp mạ;
điện áp thử nghiệm không đổi U_t (f = 50 Hz) [12]



Hình C.2 – Khả năng chịu phóng điện cục bộ của lớp mạ;
điện áp thử nghiệm tăng tuyến tính U_t (f = 50 Hz) [12]

Trên Hình C.2, mẫu thử nghiệm chịu ứng suất bởi điện áp thử nghiệm tần số công nghiệp tăng xấp xỉ tuyến tính U_t, với tốc độ tăng ban đầu xấp xỉ 4 kV mỗi min. Khởi phát phóng điện cục bộ ở 2,2 kV (hiệu dụng) có thể thấy một cách rõ ràng. Điển hình cho những mẫu thử này là sự xuất hiện ngay lập tức cường độ phóng điện cục bộ rất lớn. Cường độ phóng điện cục bộ và tốc độ xung phóng điện cục bộ xấp xỉ tỷ lệ thuận với giá trị của điện áp thử nghiệm. Mẫu thử có thể chịu được ứng suất cao hơn nhiều này chỉ trong khoảng 7 min. Ví dụ này cho thấy rõ ràng rằng, thậm chí đối với điện áp tần số công nghiệp, phóng điện cục bộ có thể có tiềm năng phá hủy cao trong một khoảng thời gian tương đối ngắn.

Ngoài ra trong ứng dụng thực tế, cần phải xem xét riêng, tất cả các ứng suất và ảnh hưởng gây tổn hại của chúng mà xảy ra trong suốt tuổi thọ của thiết bị được tích lũy lại. Ứng suất điện, nhiệt và cả cơ học được xếp chồng theo nguyên tắc đã biết trước đây. Việc mô phỏng những ảnh hưởng dài hạn thông qua các thử nghiệm thời gian ngắn thích hợp là một nhiệm vụ khó khăn. Chỉ có thể đạt được điều này thông qua sự kết hợp của các thử nghiệm điện và ổn định thích hợp của mẫu thử nghiệm. Đối với các phương pháp ổn định thích hợp, xem 4.1.2.1 của Phần 1.

Các ứng suất này ảnh hưởng đến sự xuất hiện của phóng điện cục bộ [14] và ảnh hưởng tổn hại của chúng kết hợp với tăng nhiệt điện môi gây ra một sự giảm mạnh của cường độ điện trường đánh thủng [15]. Điều này đảm bảo rằng, như đã được chứng minh bằng thử nghiệm gia tốc thời gian [16], ảnh hưởng tổn hại do phóng điện đánh thủng tăng lên theo tần số của điện áp.

Gia tốc thời gian chính xác nhất có thể được thực hiện cho ứng suất nhiệt thuần túy (luật Arrhenius [17]). Tuy nhiên thậm chí điều này chỉ có thể được mô phỏng nếu nó gây ra lão hóa hóa học (oxy hóa). Tuy nhiên nếu cơ chế hỏng thay đổi (ví dụ mềm/chảy trong quá trình tăng nhiệt mạnh) trong khi ứng suất được gia tốc, phương pháp gia tốc thời gian không còn được chấp nhận nữa. Trong trường hợp ứng suất nhiệt, điều này có thể dễ dàng đoán trước và tránh được. Tuy nhiên, khi đặt ứng suất điện tăng để đạt được gia tốc thời gian, sự thay đổi cơ chế hỏng thường hay xảy ra [18].

Hai cơ chế hỏng cách điện rắn thường có liên quan. Một cơ chế hỏng là kết quả của tổn thất điện môi ở ứng suất điện cao. Sự tăng nhiệt có thể xảy ra, có thể dẫn đến sự không ổn định nhiệt và đánh thủng về nhiệt. Điều này thường xảy ra trong vài phút và có thể dễ dàng kiểm tra. Ngoài ra, cách điện rắn có thể có khe hở khí hoặc khoảng không, cả hai đều được tạo ra bởi các lớp khác nhau của cách điện, mặt tiếp xúc giữa các phần cách điện và phần dẫn điện, hoặc bởi chế tạo không hoàn hảo vật liệu cách điện. Trong những khe hở nhỏ như vậy, phóng điện cục bộ thường gây hỏng cách điện rắn thậm chí nếu ứng suất điện môi đủ nhỏ để không gây ra đánh thủng về nhiệt.

$$P_v = 2\pi f U^2 C \tan\delta \qquad \text{(C.1)}$$

trong đó

P_v là công suất tiêu hao;

f là tần số của điện áp;

U là giá trị hiệu dụng của điện áp đi qua cách điện rắn;

C là điện dung của tổ hợp cách điện;

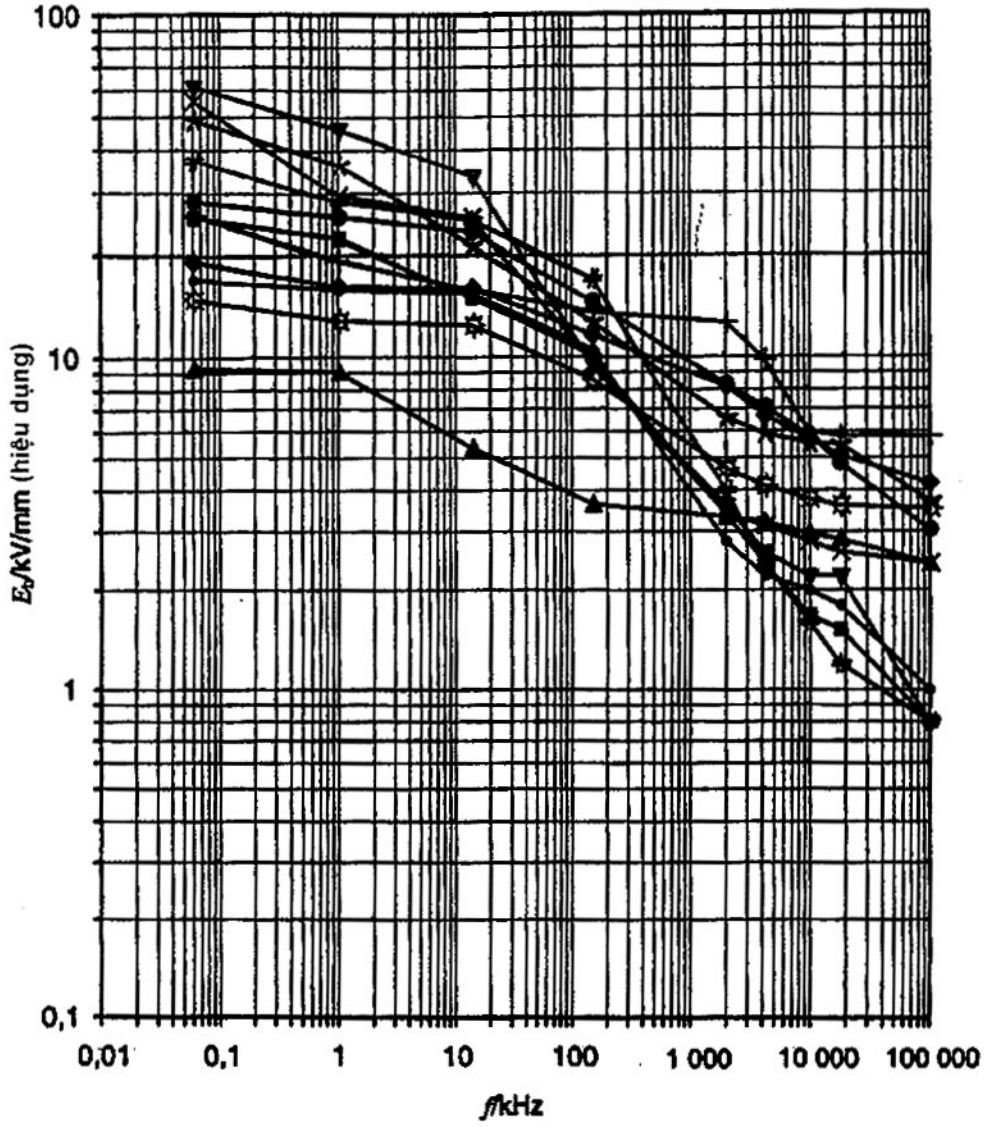
$\tan\delta$ là hệ số tổn thất điện môi của vật liệu cách điện.

Do sự phụ thuộc của hệ số tổn thất $\tan\delta$ vào tần số, ảnh hưởng của tần số lên tổn thất điện môi có thể thấp hơn hoặc cao hơn kỳ vọng từ sự phụ thuộc tuyến tính biểu kiến. Điều này có thể dẫn đến khả năng đánh thủng về nhiệt cao và làm giảm khả năng chịu thử của điện môi trong thời gian ngắn.

Dường như không thể mô phỏng ảnh hưởng của ứng suất tần số cao lên cách điện rắn. Vì vậy sự xuất hiện của ứng suất ở mức cao như vậy nói chung sẽ đòi hỏi thử nghiệm cách điện rắn với điện áp tần số cao. Các kết quả thí nghiệm sau đây phải đưa ra một số thông tin về các giá trị của cường độ điện trường mà thể hiện ứng suất cao ở một tần số đặc biệt vì thế sẽ đòi hỏi thử nghiệm với điện áp tần số cao.

C.2 Kết quả thí nghiệm

Đặc tính đánh thủng tần số cao được nghiên cứu trên các vật liệu cách điện khác nhau [15]. Các kết quả quan trong nhất được thể hiện trên Hình C.3. Đối với tần số 1 MHz, cường độ trường đánh thủng thời gian ngắn E_b chỉ là 10 % của giá trị tần số công nghiệp. Cường độ trường đánh thủng dường như không đạt đến giới hạn dưới ngay cả khi ở các tần số cao cỡ 100 MHz.



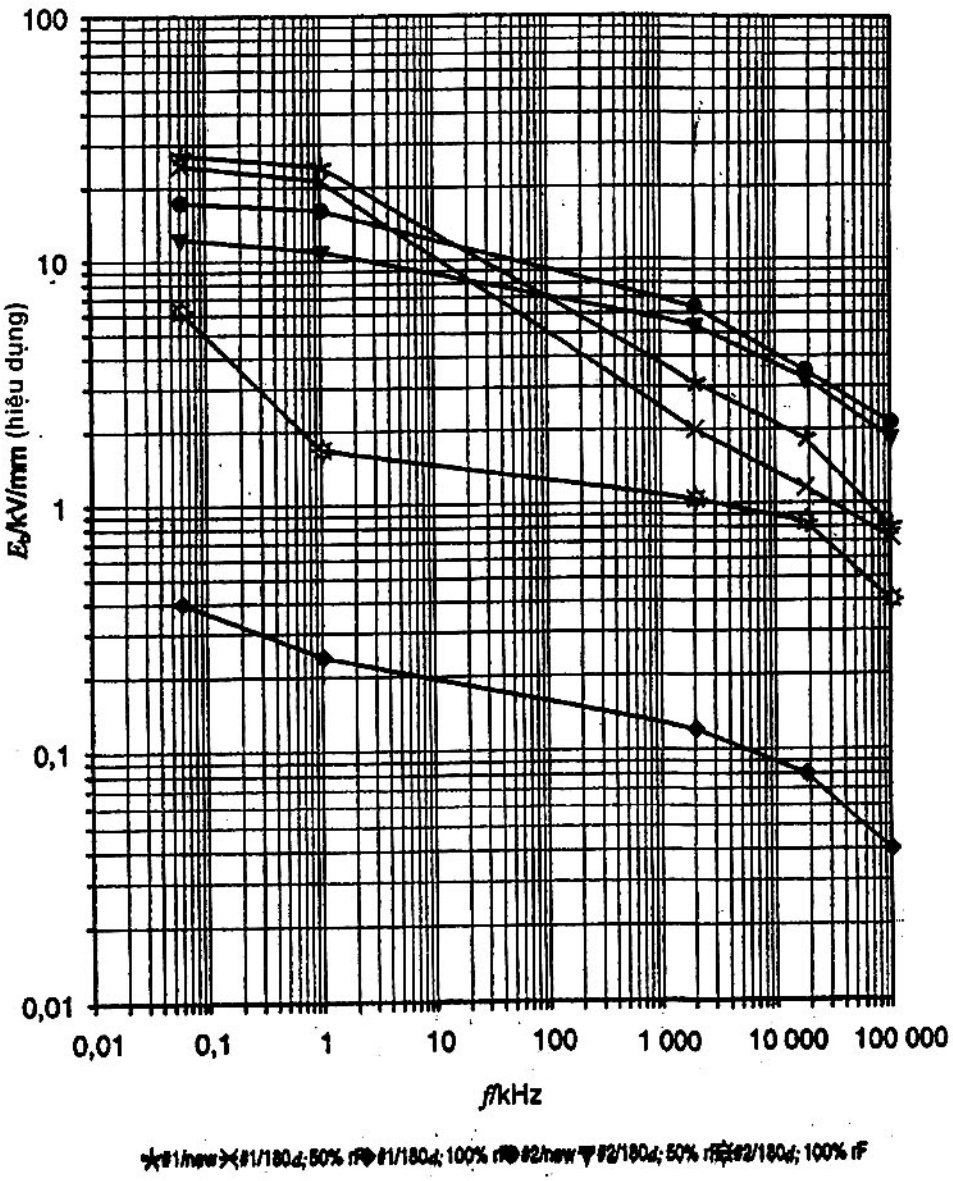
Hình C.3 – Phóng điện đánh thủng ở tần số cao, cách điện rắn; d = 0,75 mm [15]

Độ bền điện môi của cách điện rắn nói chung, và đặc biệt ở điện áp tần số cao, bị giảm thêm bởi ảnh hưởng của độ ẩm và nhiệt độ.

Ảnh hưởng của bảo quản thời gian dài trong điều kiện ẩm cao đối với cường độ trường phóng điện đánh thủng của cách điện rắn ở điện áp tần số cao được thể hiện trên Hình C.4 [19]. Sự sụt giảm cường độ trường phóng điện đánh thủng của phenolic có chứa mica là cực kỳ cao. Điều này đã là một vấn đề đáng kể ở tần số công nghiệp, nhưng còn trầm trọng hơn với tần số cao hơn. Biểu hiện yếu

kém của phenolic chứa mica là bởi khả năng hút nước tương đối cao của nó, mà được biết vào khoảng 1 % khối lượng trong các điều kiện như vậy.

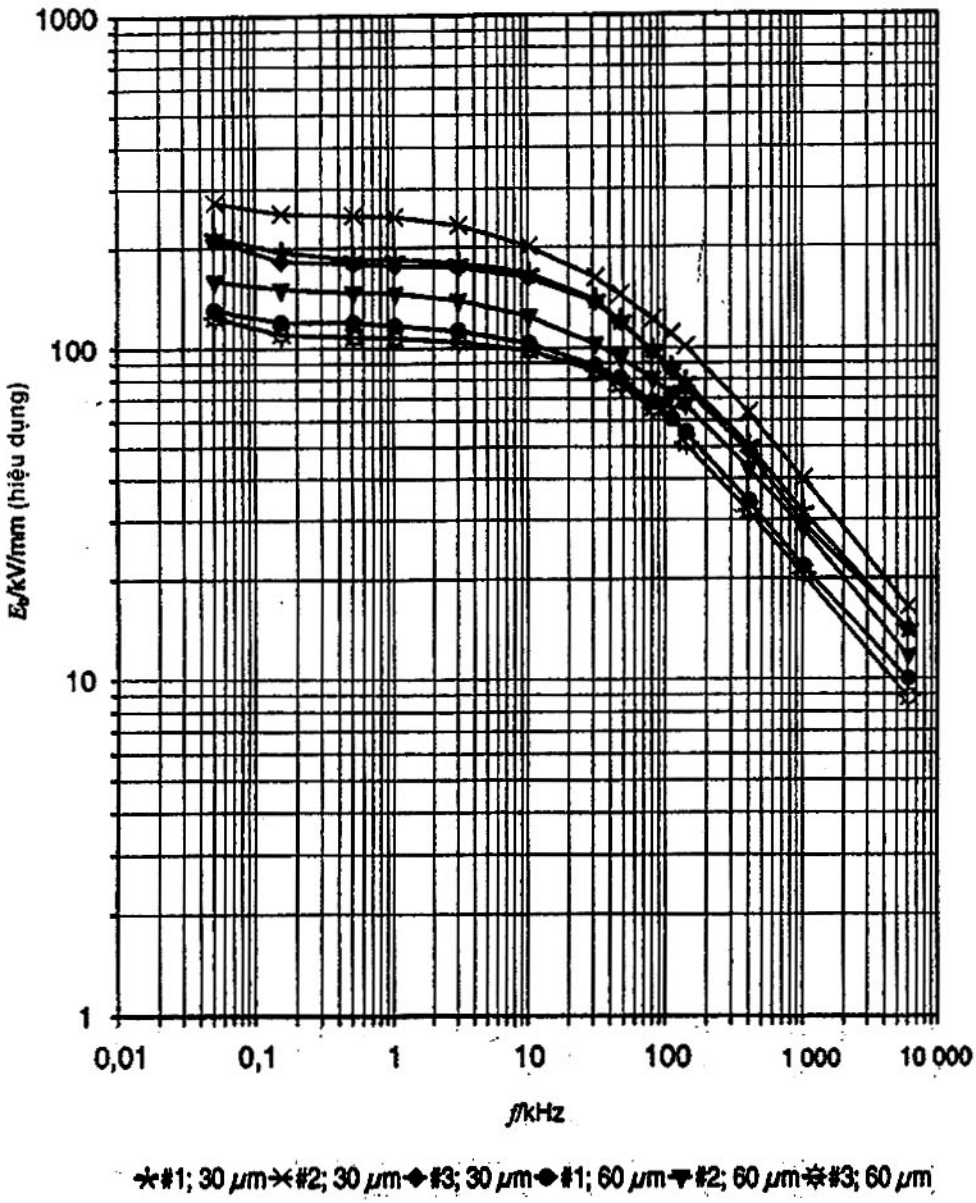
Trong cùng điều kiện, độ hút nước của silicon-thủy tinh dát mỏng chỉ vào khoảng 0,3 % khối lượng.



Hình C.4 – Phóng điện đánh thủng ở tần số cao, cách điện rắn, ảnh hưởng của độ ẩm; ổn định ở 50 °C; #1: phenolic chứa mica, d = 0,75 mm; #2: silicon-thủy tinh dát mỏng, d = 1,5 mm [19]

Cường độ trường phóng điện đánh thủng của cách điện rắn là một hàm theo chiều dày vật liệu, và một lớp màng rất mỏng có thể có một cường độ trường phóng điện đánh thủng mà độ lớn có thể cao hơn

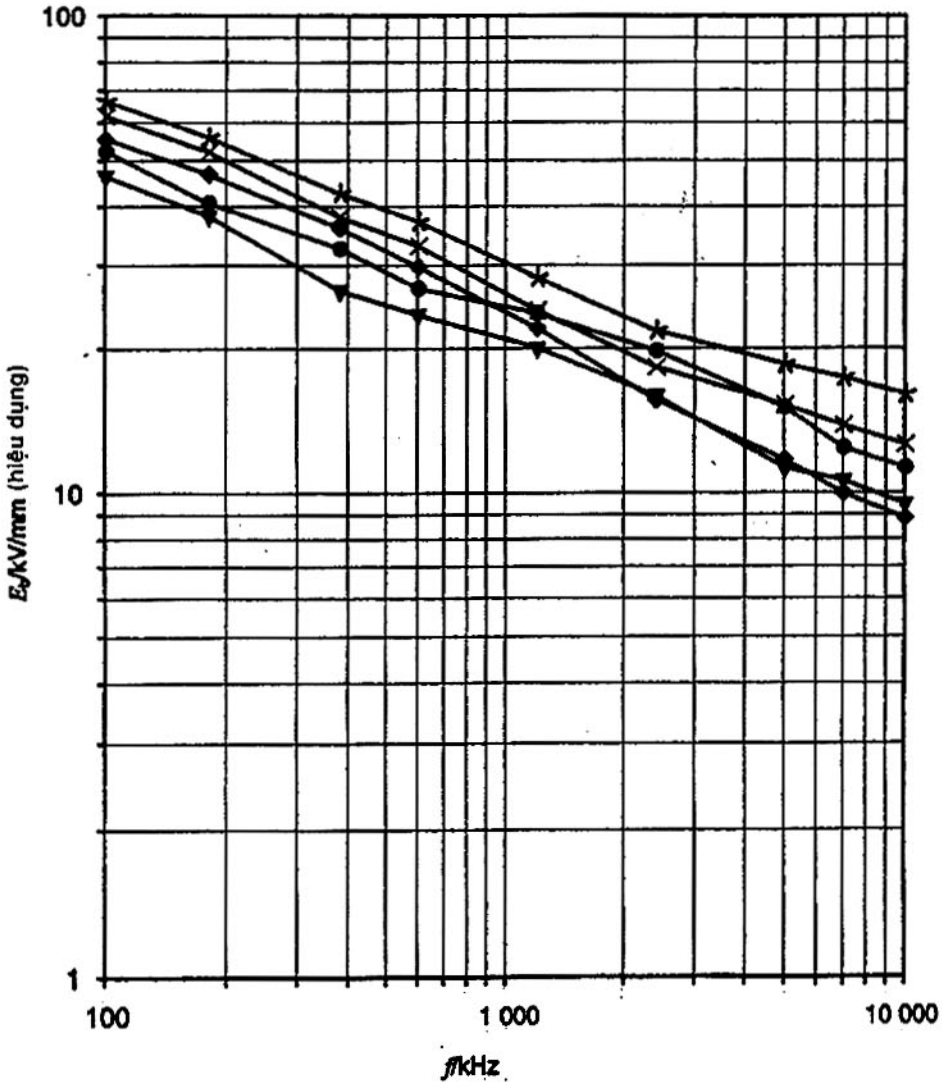
một cấp so với giá trị của mẫu thử nghiệm có chiều dày 0,75 mm. Điều này được chứng minh trên Hình C.5 [20]. Tuy nhiên với tần số tăng, cũng có một sự giảm mạnh các giá trị. Ở 1 MHz, các giá trị phóng điện đánh thủng chỉ xấp xỉ 10 % các giá trị ở 50 Hz. Sự sụt giảm này tương đương với sự sụt giảm của mẫu thử có chiều dày xấp xỉ 1 mm. Vì vậy, bất kỳ việc xác định kích thước nào theo chiều dày của cách điện rắn phải được tính đến sự phụ thuộc này của cường độ trường phóng điện đánh thủng theo chiều dày của cách điện.



Hình C.5 – Phóng điện đánh thủng ở tần số cao, lớp màng cách điện; #1: xenlulo-acetobutyrate; #2: polycacbonate; #3: xenlulo-triaxetat [20]

Ảnh hưởng của nhiệt độ lên điện áp đánh thủng có thể nhìn thấy trên Hình C.6 [20]. Vì vậy nhiệt độ là yếu tố ảnh hưởng quan trọng, mà phải tính đến để xác định kích thước và thử nghiệm.

Các kết quả chi tiết liên quan đến đặc tính phóng điện cục bộ ở điện áp tần số cao là khả dụng đối với các tần số đến vài kHz [16] và [21]. Trong dải này, thời gian đến khi hỏng gây ra bởi phóng điện cục bộ tỷ lệ nghịch với tần số. Mối quan hệ này được sử dụng cho thử nghiệm gia tốc. Vì thế, đặc biệt ở các tần số cao hơn của điện áp, không kỳ vọng tuổi thọ hợp lý của cách điện rắn khi xảy ra phóng điện cục bộ.



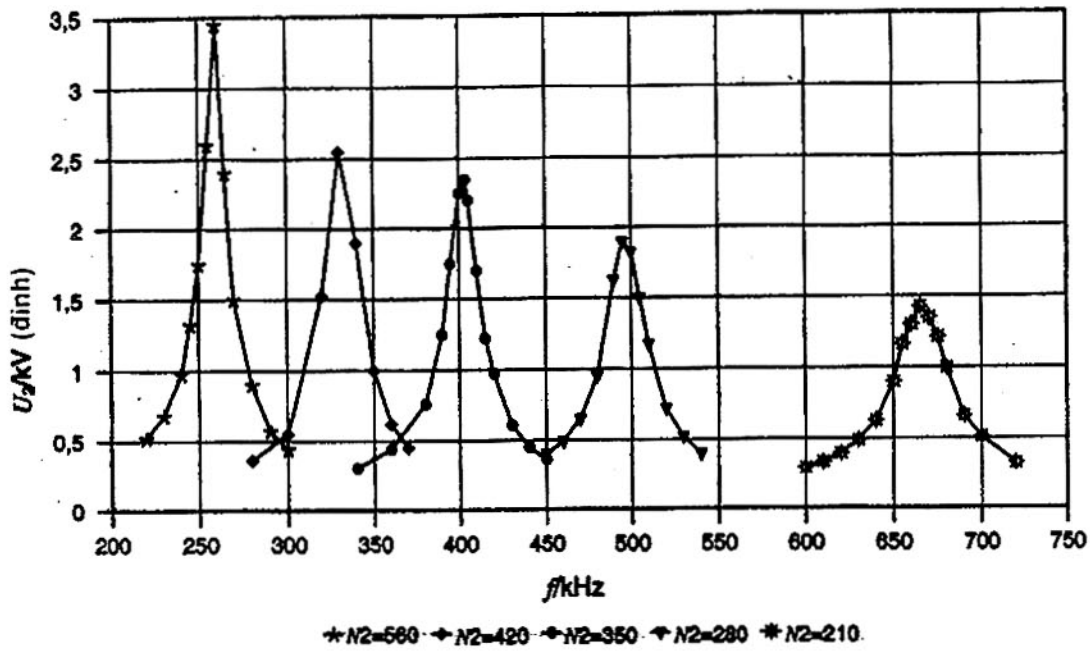
Hình C.6 – Phóng điện đánh thủng ở tần số cao, lớp màng cách điện; #1: Polystyrene, d = 80 µm; #2: Polyethylene, d = 50 µm [20]

Phụ lục D
(quy định)

Thử nghiệm cách điện ở điện áp tần số cao

D.1 Nguồn điện áp thử nghiệm

Đối với loại thử nghiệm điện áp cao bất kỳ ở tần số cao hơn nhiều so với tần số công nghiệp, sự thích hợp của nguồn điện áp thử nghiệm thích hợp với tần số điều chỉnh được là một câu hỏi cơ bản.



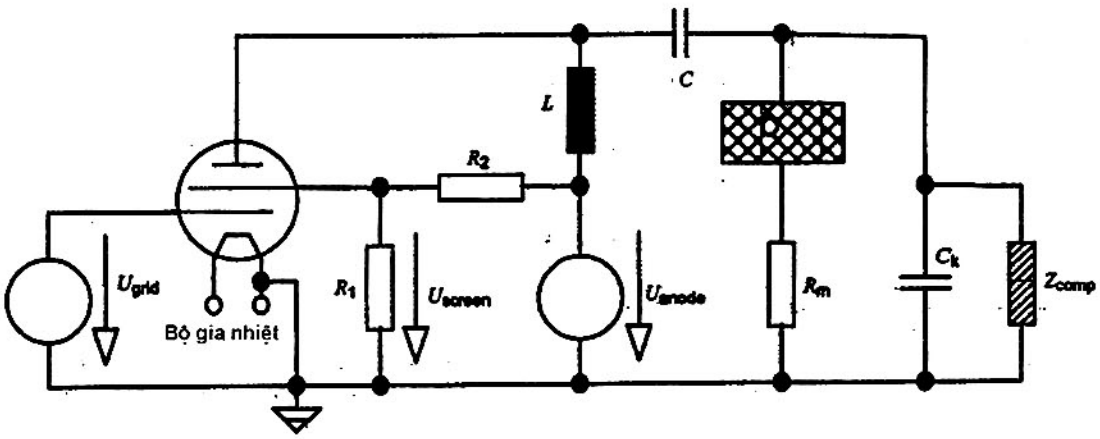
Hình D.1 – Máy biến áp cộng hưởng tần số cao; ảnh hưởng của số vòng dây của cuộn thứ cấp N_2 lên điện áp đầu ra U_2; N_1 = 20; N_2 = 210/280/350/420/560 [22]

Máy biến áp cộng hưởng tần số cao có thể được sử dụng kết hợp với máy phát điện điện áp thấp tần số cao [22]. Vấn đề với kỹ thuật này được chứng minh bằng ví dụ thể hiện trên Hình D.1. Để nhận được tần sô cộng hưởng cao, số vòng của cuộn dây thứ cấp của máy biến áp phải giảm xuống như thể hiện trên Hình D.1. Vì vậy, điện áp đầu ra khả dụng cũng sẽ giảm.

Để bao gồm toàn bộ dải tần số, đòi hỏi vài máy biến áp cộng hưởng. Ngoài ra, vấn đề của nguồn điện áp thử nghiệm như vậy là phản ứng mạnh giữa trở kháng của mẫu thử nghiệm và tần số và độ lớn của điện áp thử nghiệm.

Một cách khác, có thể sử dụng máy tạo dao động công suất cao tần số cao (máy phát) làm nguồn điện áp thử nghiệm. Điều này cung cấp các tần số cao hơn kết hợp với nhiều đầu ra công suất [5], [6] và

[20]. Một ví dụ được thể hiện trên Hình D.2. Điện áp đầu ra của nguồn này xấp xỉ 4 kV giá trị đỉnh với tần số lớn nhất là 5 MHz (xem Bảng 5).



Hình D.2 – Mạch dao động công suất cao tần số cao [5] và [6]

Khả năng của nguồn điện áp thử nghiệm để cung cấp tải điện dung lớn là một trong những vấn đề quan trọng nhất trong việc lựa chọn nguồn điện áp thử nghiệm. Vì điện dung ghép phóng điện cục bộ cần lớn hơn điện dung của mẫu thử nghiệm, tụ ghép nối sẽ thường xác định tải điện dung.

Bảng 5 thể hiện một số dữ liệu điển hình đối với nguồn điện áp thử nghiệm công suất lớn được sử dụng trong [5] và [6]. Điện áp đầu ra được phát ra bởi một đèn bốn cực chân không mà được cấp điện bởi nguồn điện áp cao công suất lớn (4 kV, 400 mA). Mạch cộng hưởng nối tiếp, mà được hình thành bởi điện cảm anot biến thiên và điện dung tải tổng được cộng hưởng với tần số sử dụng. Cả điện áp thử nghiệm lớn nhất và điện dung tải lớn nhất (chủ yếu là điện dung ghép phóng điện cục bộ) được cho trong Bảng D.1. Méo hài tổng của nguồn điện áp thử nghiệm này nhỏ hơn 2 % do cộng hưởng.

Bảng D.1 – Dữ liệu của nguồn điện áp thử nghiệm [5] và [6]

Tần số	Điện dung ghép	Điện áp thử nghiệm lớn nhất	Dòng điện thử nghiệm yêu cầu
100 kHz	1 100 pF	2,7 kV	1,9 A
200 kHz	1 100 pF	4,0 kV	5,5 A
500 kHz	450 pF	3,4 kV	4,8 A
1 MHz	520 pF	2,7 kV	8,8 A
3 MHz	320 pF	1,0 kV	6,0 A

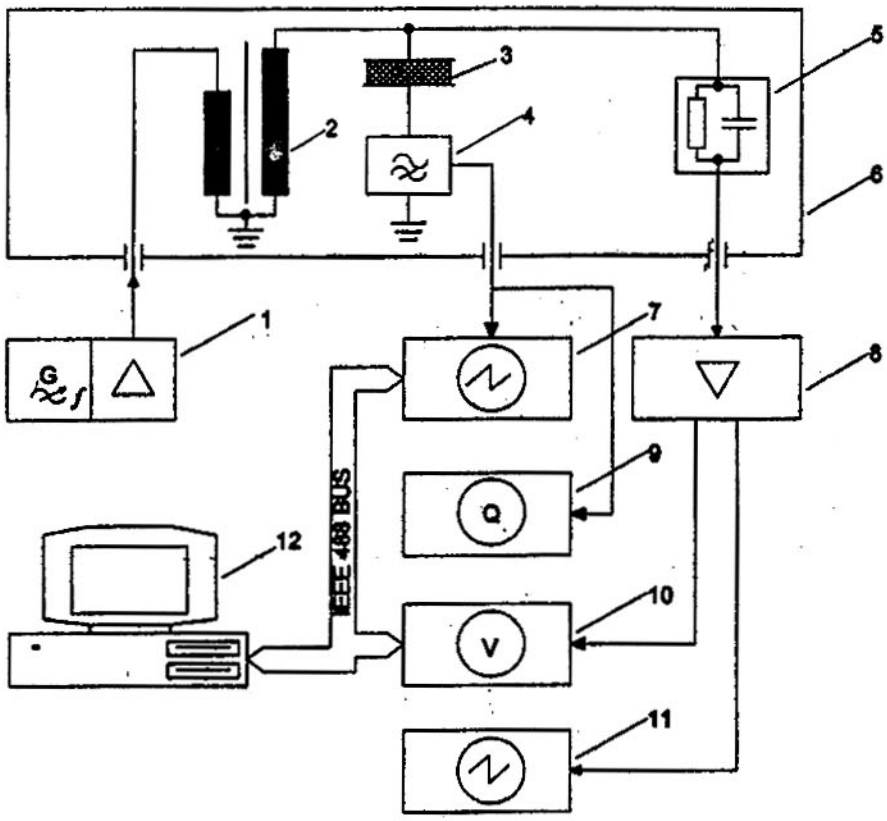
D.2 Thử nghiệm phóng điện cục bộ tần số cao

D.2.1 Thiết bị thử nghiệm

Bắt gặp một số vấn đề bổ sung, nếu yêu cầu các thử nghiệm phóng điện cục bộ ở điện áp tần số cao [5] và [6], vì không có thiết bị đo phóng điện cục bộ tiêu chuẩn nào được sử dụng. Tuy nhiên, nói chung một máy hiện sóng có nhớ kỹ thuật số kết hợp với các phương pháp triệt điện áp thử nghiệm tần số cao sẽ là thích hợp.

Nhiều phép đo phóng điện cục bộ với điện áp thử nghiệm tần số cao được thực hiện với mạch điện thử nghiệm thể hiện trên Hình D.3 [24]. Sự phát hiện phóng điện cục bộ được thực hiện bởi sự tích phân số bằng một máy hiện sóng có nhớ kỹ thuật số với tỷ lệ lấy mẫu cao.

Mạch điện trên Hình D.3 dựa trên máy biến áp cộng hưởng tần số cao (2) mà được cấp điện bởi bộ khuếch đại tần số cao (1) [22]. Một sự lựa chọn khác có thể là sử dụng máy tạo dao động tần số cao được hoạt động cộng hưởng, như thể hiện trên Hình D.2. Điều này cho phép sinh ra các tần số cao hơn đáng kể [5] và [6] trong khi vẫn giữ được độ méo hài thấp, được mong muốn để dễ dàng loại bỏ điện áp thử nghiệm trong phép đo phóng điện cục bộ.



CHÚ DẪN:

1 bộ khuếch đại và máy phát tần số cao

2 máy biến áp cộng hưởng tần số cao

3 mẫu thử nghiệm

4 bộ lọc chặn dải

5 đầu dò điện áp cao

6 buồng chống nhiễu

7 máy hiện sóng có nhớ kỹ thuật số tốc độ cao

8 bộ khuếch đại khử ghép

9 thiết bị đo phóng điện cục bộ (băng tần hẹp, chỉ dùng để giám sát)

10 vôn mét kỹ thuật số

11 máy hiện sóng kỹ thuật tương tự

12 máy tính điều khiển

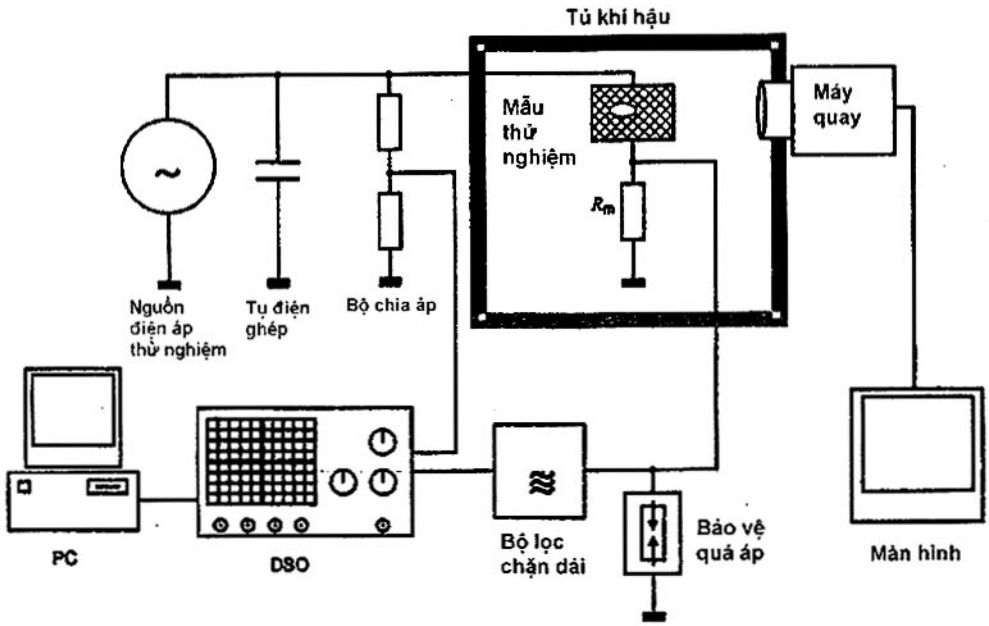
Hình D.3 – Mạch điện thử nghiệm phóng điện cục bộ cho thử nghiệm điện áp tần số cao [22]

D.2.2 Mạch điện thử nghiệm

D.2.2.1 Lưu ý chung

Phép đo phóng điện cục bộ được thực hiện thông qua việc phát hiện dòng phóng điện cục bộ. Với mục đích này, một trở kháng đo R_m được mắc nối tiếp với mẫu thử nghiệm. Điện áp rơi trên trở kháng này được đặt vào bộ lọc chặn dải bậc 3 đến một kênh của máy hiện sóng có nhớ kỹ thuật số với độ rộng băng tần cao (ít nhất 100 MHz) để cùng với mạch điện thử nghiệm bao gồm các phần tử tập trung, có thể đạt được độ rộng băng tần tổng 60 MHz. Một bộ lọc chặn dải loại bỏ sụt áp gây ra bởi dòng điện điện dung cấp cho mẫu thử nghiệm. Bằng kỹ thuật này, có thể đạt được độ nhạy phóng điện cục bộ 5 pC.

Điện áp thử nghiệm tần số cao được đo bằng vôn mét tần số cao và được giám sát trên kênh thứ hai của máy hiện sóng có nhớ kỹ thuật số. Vì mẫu thử nghiệm không nhìn thấy được trong nhiều trường hợp (tủ khí hậu), cần sử dụng máy quay để phát hiện bất kỳ sự phóng điện bên ngoài hoặc phóng điện bề mặt nào. Mạch điện thử nghiệm được điều khiển bằng một máy tính thông qua IEEE 488-Bus. Bố trí sơ đồ mạch của mạch điện thử nghiệm được thể hiện trên Hình D.4 [5] và [6].



Hình D.4 – Sơ đồ mạch điện thử nghiệm [5] và [6]

Đối với mẫu thử nghiệm trong suốt, máy quay còn cho phép phát hiện bằng mắt về phóng điện cục bộ. Tuy nhiên nói chung, điều này không thể thay thế cho các phép đo điện, vì độ nhạy của kỹ thuật này thậm chí ở điện áp tần số cao là thấp hơn nhiều. Việc sử dụng một ống nhân quang (PMT) để phát hiện bức xạ ánh sáng từ một mẫu thử nghiệm trong suốt có thể dẫn đến độ nhạy phát hiện phóng điện cục bộ xuất sắc, nhưng không thể hiệu chuẩn độ lớn phóng điện cục bộ. Tuy nhiên, việc sử dụng một

ống nhân quang để khởi động máy hiện sóng có thể dẫn đến việc tăng mạnh khả năng phát hiện phóng điện cục bộ vì máy hiện sóng có thể thường được khởi động theo cách này thấp hơn tạp điện.

D.2.2.2 Độ rộng băng tần yêu cầu của mạch điện thử nghiệm

Trong đánh giá sau đây, mạch điện thử nghiệm có đặc tính truyền lọc thông thấp bậc 1 (đặc tính PT_1) dẫn đến tần số cắt dưới bằng không và tần số cắt trên (3 dB) f_c bằng với độ rộng băng tần.

Những lưu ý liên quan đến ảnh hưởng của các điểm cộng hưởng có thể có của tần số cắt dưới của mạch điện thử nghiệm được mô tả trong D.2.2.3.

D.2.2.2.1 Độ rộng băng tần nhỏ nhất đối với độ phân giải xung phóng điện cục bộ

Đối với điện áp thử nghiệm tần số cao, tần số lặp xung cao của các xung phóng điện cục bộ phải được kỳ vọng. Bởi vậy, độ phân giải xung phóng điện cục bộ phải đủ để tránh các xung chồng lấn. Vì lí do này, chỉ có thể sử dụng thiết bị đo "băng tần rộng" [23]. Vì vậy, việc phát hiện phóng điện cục bộ thường được thực hiện bằng cách sử dụng một máy hiện sóng băng tần rộng.

Rất khó để chỉ rõ một giá trị nào đó đối với băng tần yêu cầu của mạch điện thử nghiệm. Ví dụ với tần số điện áp thử nghiệm 100 kHz, các tần số xung phóng điện cục bộ đến 1 MHz phải được quan sát thấy trong các khe hở điểm - mặt phẳng. Đối với dây xoắn kép [25], trong đó phóng điện cục bộ có thể xảy ra đồng thời ở nhiều điểm, nên phải quan sát thấy tần số xung phóng điện cục bộ vượt quá 10 MHz.

Độ rộng băng tần nhỏ nhất của mạch đo phóng điện cục bộ phải bằng hoặc lớn hơn tần số xung phóng điện cục bộ để tránh các xung chồng lấn. Đây là yêu cầu tối thiểu mà không tạo ra một sự tái lập dạng sóng của xung phóng điện cục bộ.

Mô hình thích hợp nhất cho nguồn xung phóng điện cục bộ dường như là nguồn dòng. Mặt khác trong tiêu chuẩn thử nghiệm phóng điện cục bộ [23], nguồn áp được sử dụng để hiệu chuẩn mạch điện thử nghiệm. Có thể thấy rằng đặc tính truyền của mạch điện thử nghiệm phóng điện cục bộ phụ thuộc vào dạng nguồn xung phóng điện cục bộ được sử dụng để hiệu chuẩn.

Trên Hình D.7a, nguồn áp phóng điện cục bộ được sử dụng, mà không cho phép tái lập đúng tín hiệu phóng điện cục bộ. Nếu trong cùng một mạch điện thử nghiệm, sử dụng nguồn dòng xung phóng điện cục bộ (Hình D.7b), thì đặc tính truyền là thích hợp. Chi tiết hơn về đặc tính truyền của mạch điện thử nghiệm có thể có trong [5].

Trong điều dưới đây, chỉ có nguồn dòng xung phóng điện cục bộ được xem xét để cung cấp đặc tính truyền thích hợp. Tất nhiên điều này không giải quyết được xung đột khi hiệu chuẩn mạch điện thử nghiệm xung phóng điện cục bộ bằng cách sử dụng nguồn áp xung tiêu chuẩn [23].

D.2.2.3.3 Phân tích mạch điện thử nghiệm phóng điện cục bộ

Đặc tính truyền của mạch điện thử nghiệm có thể được phân tích bằng cách sử dụng mạch tương đương thể hiện trên Hình D.6. Điều này có thể được thực hiện bằng cách phân tích mạng hoặc mô phỏng mạch điện sử dụng phần mềm thích hợp [28].

D.2.2.3.3.1 Phân tích mạng

Thực hiện phân tích nguồn dòng xung phóng điện cục bộ sử dụng mạch tương đương điện dung của mẫu thử nghiệm (Hình D.8). So với các điện cảm khác, L_k có thể được bỏ qua trong tính toán tần số

$$d = \frac{R_m}{\sqrt{L/C}} \tag{D.5}$$

Đối với đáp ứng không tuần hoàn, hệ số tổn hao phải bằng:

$$d \geq 2 \tag{D.6}$$

Vì vậy, điện cảm phải được giới hạn ở:

$$L \leq \frac{R_m^2 C}{4} \tag{D.7}$$

Trong trường hợp này, tần số cắt trên f_c có thể tính xấp xỉ bằng cách giả định một mạch *RC* đơn giản:

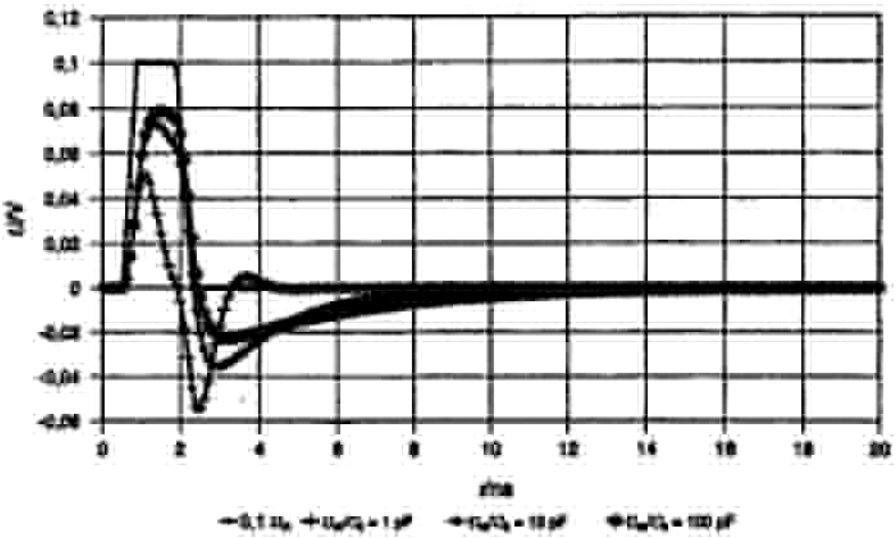
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_m C} \tag{D.8}$$

Tần số cắt dưới bằng không.

D.2.2.3.3.2 Mô phỏng mạch điện

Có thể thực hiện phân tích mạch điện thử nghiệm chi tiết hơn bằng biện pháp mô phỏng mạch điện sử dụng mã thích hợp (PSPICE) [28]. Kỹ thuật này đã được sử dụng để đạt được các kết quả mô tả trong D.2.2.2.1. Hiện tại kỹ thuật này được áp dụng để đánh giá ảnh hưởng của cỡ tụ ghép nối lên đặc tính truyền của mạch điện thử nghiệm.

D.2.2.3.4 Ảnh hưởng của tụ ghép nối lên đặc tính truyền



Hình D.8 – Tín hiệu đầu vào U_m và tín hiệu đo U_m phụ thuộc vào điện dung của tụ ghép nối C_k

(điều [illegible])

51 (1954), pp. 136-143.

[16] A. Wichmann, P. Grunewald: *"Lifetime evaluation of high-voltage insulation by acceleration with the frequency of the test voltage"*, ETZ-A Vol. 95 (1974), pp. 318-322.

[17] F. Daniels, R.A. Alberty: *Physical Chemistry*, Wiley, New York, 1961.

[18] H.S. Endicott, B.D. Hatch, R.G. Sohmer: *"Application of the Eyring model to capacitor ageing data"*, IEEE Transactions on Component Parts, Vol. 12 (1965), pp. 34-41.

[19] J.J. Chapman, L.J. Frisco, J.S. Smith: *"Dielectric failure of volume and surface types"*, AIEE Trans., Vol. 74, pp. 349-354, 1955.

[20] H. Suhr: *"Evaluation of the influencing factors on the breakdown voltage of thin insulating films"*, Dissertation, Technische Universitat Berlin, 1961.

[21] Y. Ikeda, T. Tanaka: *"Frequency acceleration characteristics in internal discharge endurance tests by a glass-covered electrode system"*, IEEE Trans. Electric. Insulation, Vol. 17, pp. 64-69, 1982.

[22] F. Scheuerer: *"Investigation of the insulation characteristics of solid insulation at high periodic voltage stress"*, Dissertation, TH Darmstadt, 1993.

[23] IEC 60270:2000, *Partial Discharge Measurements*.

[24] R. Hund, W. Pfeiffer, H. Reinhard and F. Scheuerer: *"Partial discharge testing of components for low-voltage equipment at high frequencies"*, Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1990, pp. 261-266.

[25] IEC 60851:1994, *Methods of test for winding wires*.

[26] P.H.F. Morshuis: *"Partial Discharge Mechanisms, Mechanisms Leading to Breakdown, Analyzed by Fast Electrical and Optical Measurements"*, Dissertation, Delft University of Technology, 1993.

[27] T. Brosche: *"Extended partial discharge measuring techniques by inclusion of new impulse parameters"*, Dissertation, TU Darmstadt, 1998.

[28] W. Pfeiffer: *"Sumulation of measuring circuits – calculation of practical examples with PSPICE"*, Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, 1994.

[29] W. Pfeiffer, R. Plessow: *"The influence of the coupling capacitance and the frequency of the voltage stress with respect to a partial discharge"*, Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1997, pp. 558-561.

[30] W. Pfeiffer: *"Dielectric testing of solid insulation with respect to insulation coordination of low-voltage equipment"*, IEEE Electrical Insulation Magazine, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.17 (2001), P. 34-47.

[31] M. Paede, W. Pfeffer: *"About the influence of the frequency on the partial discharge characteristics of enamelled wires"*, Electrical Insulation Conference 1999, pp. 485-488.