

ẢNH HƯỞNG CỦA LỚP PHỦ CAO SU SILICONE ĐẾN ĐẶC TÍNH CÁCH ĐIỆN CỦA SỨ ĐỖ

THE EFFECT OF SILICONE RUBBER COATING ON INSULATION PROPERTIES OF THE PIN INSULATOR

Nguyễn Văn Dũng*, Lê Vĩnh Trường

Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: nvdung@ctu.edu.vn

(Nhận bài / Received: 20/02/2025; Sửa bài / Revised: 03/4/2025; Chấp nhận đăng / Accepted: 08/4/2025)

DOI: 10.31130/ud-jst.2025.082

Tóm tắt - Nghiên cứu này đánh giá hiệu quả của lớp phủ cao su silicone trong việc ngăn chặn sự phóng điện xảy ra trên bề mặt sứ cách điện. Thử nghiệm được thực hiện với sứ cách điện 24 kV dưới tác động của điện áp xoay chiều. Đối với bề mặt sứ khô, quan sát thấy rằng, điện áp đánh thủng bề mặt tăng nhẹ khi có lớp phủ cao su silicone (4,4%). Khi bề mặt sứ được phun 3 mL nước muối, điện áp phóng điện bề mặt của nó giảm đáng kể (23,2% khi có lớp silicone và 66,9% khi không có lớp silicone). Tuy nhiên, điện áp phóng điện vẫn cao hơn khi có lớp phủ silicone (22,0 kV so với 8,3 kV). Ngoài ra, kết quả đo cũng cho thấy, lớp phủ cao su silicone làm tăng điện trở bề mặt nhưng giảm dòng điện rò một ít. Hơn nữa, hai thông số này ít bị ảnh hưởng bởi sự hiện diện của nước muối trong trường hợp có lớp phủ cao su silicone. Cuối cùng, cơ chế gây phóng điện trên bề mặt lớp cao su silicone được đề xuất.

Từ khóa - Sứ cách điện; phóng điện bề mặt; cao su silicone; điện trở cách điện; sự ô nhiễm

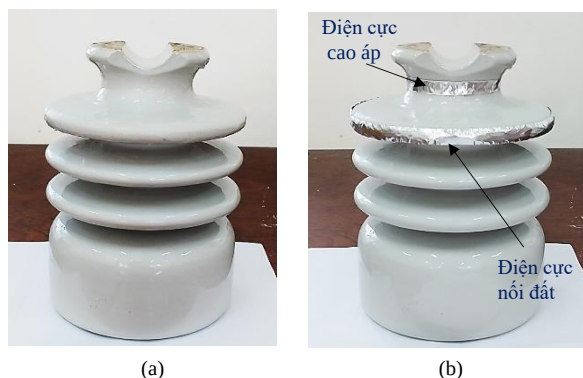
1. Đặt vấn đề

Sứ cách điện được sử dụng để cách điện giữa các dây truyền tải trung thế và bộ xả đỡ hoặc đất, vì vậy các sứ cách điện này được lắp ngoài trời. Cấu trúc điển hình của sứ cách điện được thể hiện trong Hình 1. Biết rằng khi bề mặt sứ cách điện khô và sạch, sự phóng điện bề mặt chỉ xảy ra ở giá trị điện áp rất lớn so với điện áp định mức của đường dây truyền tải điện. Tuy nhiên, do lắp đặt ngoài trời, sứ cách điện dễ bị ướt và ô nhiễm, dẫn đến sự phóng điện bề mặt sẽ xảy ra ở điện áp định mức. Để tăng điện áp phóng điện bề mặt trong điều kiện ẩm và ô nhiễm, một lớp phủ từ cao su silicone lưu hóa ở nhiệt độ phòng (RTV SiR) đã được nghiên cứu và nó có thể làm tăng đáng kể điện áp phóng điện bề mặt và tăng điện trở cách điện nhưng giảm dòng rò bề mặt [1-4]. Thông thường, RTV SiR dùng để phủ sứ cách điện bao gồm loại một thành phần và hai thành phần [4]. SiR một thành phần phù hợp cho các ứng dụng có quy mô lớn trong khi SiR hai thành phần được sử dụng cho các ứng dụng có quy mô nhỏ hoặc dịch vụ bảo trì và sửa chữa. Ngoài ra, tốc độ đóng rắn, độ cứng và đặc tính điện của SiR hai thành phần có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi tỷ lệ giữa chất đóng rắn và cao su silicone cũng như bổ sung thêm các chất phụ gia. Do đó, nghiên cứu này khảo sát các đặc tính cách điện của RTV SiR hai thành phần thông qua việc đo lường điện áp phóng điện bề

Abstract - This study evaluates the effectiveness of the silicone rubber layer in preventing the breakdown on the surface of the pin insulator. The tests are performed with a 24 kV insulator under AC voltage. For dry insulator surface, the surface breakdown voltage slightly increases with the silicone rubber coating (4.4%). When the insulator surface is sprayed with 3 mL of salt water, its surface breakdown voltage significantly decreases (23.2% for silicone rubber and 66.9% for without silicone rubber). However, the breakdown voltage is still higher for insulator surface covered with silicone rubber (22.0 kV versus 8.3 kV). In addition, the silicone rubber layer is observed to increase the surface resistance but decrease the leakage current a little. Moreover, these parameters are less affected by the presence of salt water in the case of silicone rubber coating. Finally, the mechanism for breakdown on the surface of silicone rubber is suggested.

Key words - Porcelain insulator; surface breakdown; silicone rubber; resistance; pollution

mặt, dòng điện rò bề mặt và điện trở bề mặt khi được phủ lên sứ cách điện 24 kV. Hơn nữa, nghiên cứu cũng được thực hiện trong cả điều kiện bề mặt sứ khô và ướt. Ngoài ra, cơ chế đánh thủng cũng đã được thảo luận.



Hình 1. Cấu trúc sứ đỡ 24 kV (a) và hệ thống điện cực (b)

2. Vật liệu và phương pháp

2.1. Mẫu thí nghiệm và hệ thống điện cực

Thí nghiệm sử dụng sứ cách điện trung thế do công ty Minh Long sản xuất (Hình 1a) với các thông số kỹ thuật được thể hiện trong Bảng 1. Sứ cách điện được phủ lớp SiR và không phủ lớp SiR. Hai băng nhôm có độ dày 0,1 mm

¹ Can Tho University, Vietnam (Nguyen Van Dung, Le Vinh Truong)

được quấn quanh sứ cách điện (Hình 1b). Một băng nhôm ở cổ sứ để làm điện cực cao áp trong khi băng nhôm còn lại được đặt ở tán sứ để làm điện cực nối đất. Khoảng cách khe hở giữa các điện cực được chọn là 50 mm. Khoảng cách này tương đương với bề rộng của tán cách điện.

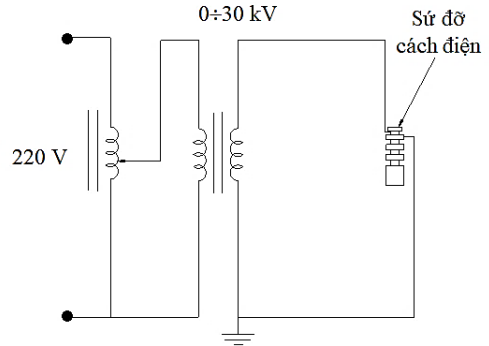
Bảng 1. Thông số kỹ thuật của sứ đỡ trung thế

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Chiều cao	mm	225
2	Đường kính tán	mm	168
3	Điện áp định mức	kV	24
4	Chiều dài đường rò	mm	429
5	Điện áp chịu đựng khô	kV	85
6	Điện áp chịu đựng ướt	kV	65
7	Điện áp chịu đựng sét	kV	125
8	Điện áp phóng điện sét	kV	160

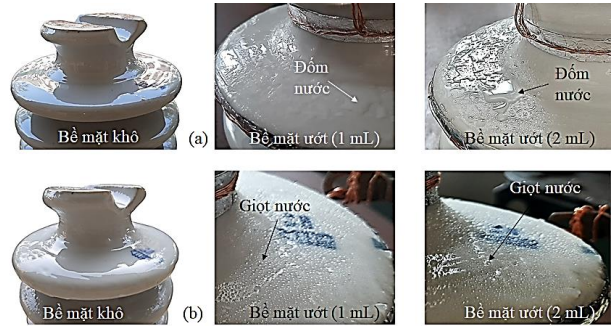
2.2. Bố trí thí nghiệm và trình tự thí nghiệm

Hình 2 trình bày bố trí thí nghiệm để xác định điện áp phóng điện. Cả hai điện cực trên sứ cách điện đều được kết nối đến máy biến áp thử nghiệm AC với điện áp đầu ra của máy có thể được điều chỉnh từ 0 đến 30 kV. Điện áp được tăng từ từ với tốc độ khoảng 1 kV/s cho đến khi xảy ra phóng điện. Thí nghiệm đánh thủng được thực hiện theo ASTM-D149. Ở mỗi thí nghiệm, thử nghiệm phóng điện được lặp lại sáu lần để tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn. Sau mỗi lần phóng điện, mẫu được vệ sinh bằng ethanol (70%), rửa lại bằng nước cất và sấy khô. Để đánh giá tác động của lớp phủ cao su silicone lên điện áp phóng điện bề mặt, RTV-898 SiR hai thành phần đã được sử dụng. Theo nhà sản xuất, tỷ lệ trộn của cao su silicone và chất đóng rắn là 100:2 (theo khối lượng). Sau khi trộn, cao su silicone được phủ lên bề mặt của sứ cách điện bằng cách sơn thủ công với cọ quét để tạo thành một lớp phủ có độ dày khoảng 1,0 mm. Sau đó, mẫu được đặt trong tủ kín ở nhiệt độ phòng trong vòng 24 giờ để đóng rắn hoàn toàn. Sau khi đóng rắn, mẫu được sử dụng để thực hiện thử nghiệm phóng điện. Trước khi phủ silicone, bề mặt sứ được lau sạch bụi, rửa bằng ethanol (90%), rửa lại bằng nước cất và cuối cùng là sấy khô. Để xác định ảnh hưởng của bề mặt ướt đến điện áp đánh thủng, dung dịch nước muối có độ dẫn điện khoảng 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tương đương độ dẫn điện trung bình của nước mưa ở nước ta [5]) được pha từ 0,018 g NaCl với 1000 mL nước cất để giả lập sự ảnh hưởng của các giọt nước mưa xuất hiện trên bề mặt sứ cách điện đến điện áp phóng điện bề mặt được sử dụng. Nước cất là loại tinh khiết đạt chuẩn HPLC của công ty Fisher (Mỹ) và NaCl đạt mức tinh khiết theo chuẩn AR của công ty Xilong (Trung Quốc). Độ dẫn điện của dung dịch nước muối được xác định bằng bút đo HANNA HI98303. Trước tiên, nước muối được phun lên bề mặt sứ cách điện với các thể tích lần lượt là 1,0 mL, 2,0 mL và 3,0 mL (Hình 3). Điều này tương đương với hàm lượng muối trên bề mặt cách điện là $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ mg}/\text{cm}^2$, $2,2 \cdot 10^{-4} \text{ mg}/\text{cm}^2$ và $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ mg}/\text{cm}^2$. So với tiêu chuẩn IEC TS 60815-1:2008, bề mặt sứ cách điện có hàm lượng muối như trên được xếp vào nhóm ô nhiễm nhẹ. Sau khi phun, quan sát thấy sự xuất hiện của các đốm hoặc vệt nước trên bề mặt sứ không có lớp phủ SiR. Ngược lại, các giọt nước có dạng giống hình cầu trong trường hợp sứ có lớp phủ SiR. Sau đó, thí nghiệm phóng điện như mô tả ở trên

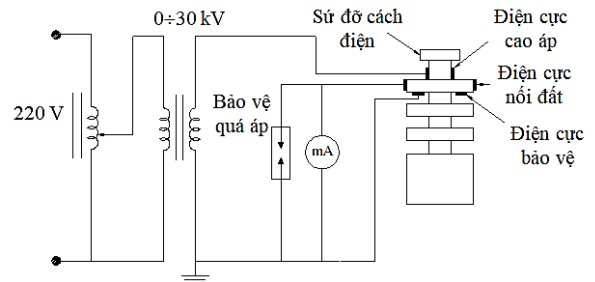
được lặp lại. Cả hai mẫu sứ cách điện có và không có lớp phủ SiR đều được sử dụng cho thí nghiệm này. Nếu thể tích nước muối tiếp tục tăng, bộ thử nghiệm phóng điện không thể hoạt động bình thường do dòng rò bề mặt tăng quá cao trong trường hợp không có lớp phủ SiR. Hình 4 trình bày thiết lập để đo dòng rò bề mặt. Điện áp đặt lên sứ cách điện được tăng từ 0 kV đến 13 kV theo bước 1 kV và dòng điện rò bề mặt được đo bằng miliampe kế AC (SEW-506 EL). Để đo điện trở bề mặt của sứ cách điện, bố trí được thể hiện như Hình 5 phù hợp với TCVN 7918:2008. Thiết lập này bao gồm hệ thống ba điện cực được đặt trên sứ cách điện và máy đo điện trở cách điện (Kyoritsu 3122B).



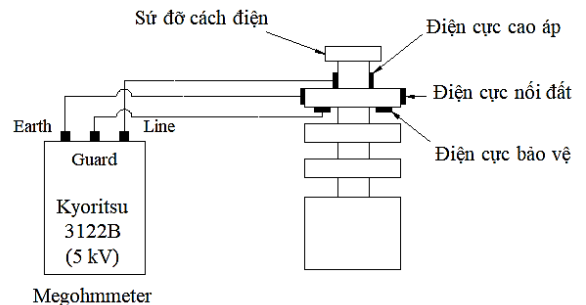
Hình 2. Bố trí thí nghiệm phóng điện bề mặt



Hình 3. Bề mặt sứ không phủ silicone (a) và phủ silicone (b)



Hình 4. Bố trí thí nghiệm đo dòng rò bề mặt

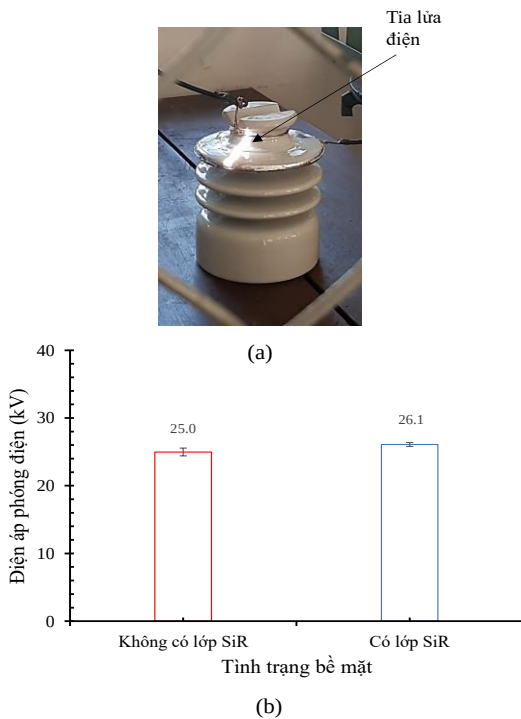


Hình 5. Bố trí thí nghiệm đo điện trở mặt

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Điện áp phóng điện bề mặt

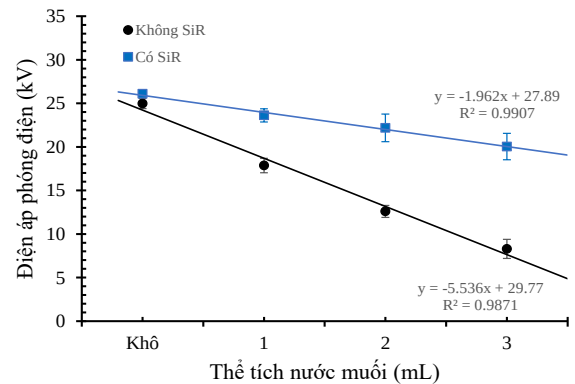
Khi điện áp đặt lên hệ thống điện cực được tăng đến giá trị đủ lớn sẽ dẫn đến phóng điện và quan sát được tia lửa điện xuất hiện trên bề mặt lớp cách điện (Hình 6a). Kết quả thí nghiệm cho thấy, điện áp đánh thủng phụ thuộc mạnh vào tình trạng bề mặt sứ cách điện (Hình 6b). Với sự xuất hiện của lớp phủ SiR đã tăng điện áp đánh thủng bề mặt khoảng 4,4% (từ 25,0 kV lên 26,1 kV). Kết quả này phù hợp với kết quả được báo cáo trong các nghiên cứu trước đây [4, 6]. Ngoài ra, độ lệch chuẩn (STD) chỉ là 0,29 kV đối với trường hợp có lớp SiR, nhưng tăng gấp đôi đối với trường hợp không có lớp SiR (STD = 0,58 kV). Các kết quả này cho thấy, hiệu quả và độ ổn định của lớp SiR về phương diện điện áp phóng điện bề mặt.



Hình 6. Hồ quang trên bề mặt sứ cách điện (a) và điện áp phóng điện bề mặt (b)

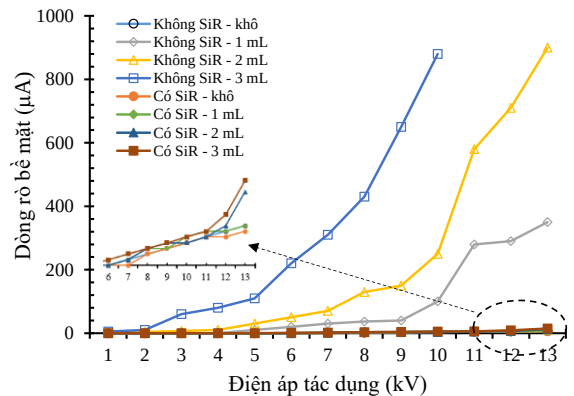
Như thể hiện ở Hình 3a, sau khi phun nước muối, các giọt nước có xu hướng liên kết lại để tạo thành các đốm hoặc vệt nước lớn xuất hiện trên bề mặt sứ không có lớp SiR trong khi chỉ tồn tại các giọt nước có kích thước nhỏ hơn và phân bố tương đối đồng đều hơn trên bề mặt có lớp SiR (Hình 3b). Sự tồn tại của nước muối trên bề mặt sứ đã ảnh hưởng đáng kể đến điện áp phóng điện bề mặt (Hình 7). Điện áp phóng điện giảm tuyến tính theo sự gia tăng thể tích nước muối trên bề mặt sứ. Đối với trường hợp không có lớp SiR, điện áp phóng điện giảm khoảng 66,9% (từ 25,0 kV xuống 8,3 kV) khi thể tích nước muối tăng 3,0 mL. Tuy nhiên, điện áp phóng điện chỉ giảm khoảng 23,2% đối với trường hợp có lớp SiR (từ 26,1 kV xuống 20,0 kV). Các tác giả khác cũng quan sát thấy kết quả tương tự [4]. Lý do là lớp SiR có tính chất kỵ nước [1, 7] nên lực liên kết giữa các phân tử của lớp SiR sẽ nhỏ hơn lực liên kết giữa các phân tử nước. Kết quả là khi tiếp xúc với lớp SiR thì các giọt nước có xu hướng co cụm lại, có dạng hình cầu và tồn tại

dưới dạng các giọt nước rời rạc thay vì dính vào lớp men của sứ cách điện để hình thành các đốm hoặc vệt nước trên bề mặt (Hình 3). Qua đó, đã cản trở sự phát triển của hiện tượng phóng điện bề mặt. Điều này ngược lại với xu hướng hình thành màng nước mỏng liên tục hay đốm hoặc vệt nước trên bề mặt bị ẩm của sứ không có phủ lớp SiR. Khi xuất hiện, các đốm hoặc vệt nước sẽ giảm chiều dài đường rò giữa các điện cực, dẫn đến tăng điện trường tại các điện cực cao áp và điện cực nối đất [8]. Chính vì vậy, sẽ thúc đẩy quá trình phóng điện và làm giảm điện áp phóng điện trên bề mặt bị ẩm của sứ không có phủ SiR. Do đó, điện áp phóng điện của bề mặt có lớp SiR ít bị ảnh hưởng bởi nước muối hơn so với bề mặt tráng men của sứ cách điện. Điều này chỉ ra rằng lớp SiR có khả năng duy trì điện áp phóng điện bề mặt dưới sự tồn tại của các giọt nước dẫn điện.



Hình 7. Ảnh hưởng của nước muối đến điện áp phóng điện

3.2. Dòng điện rò bề mặt



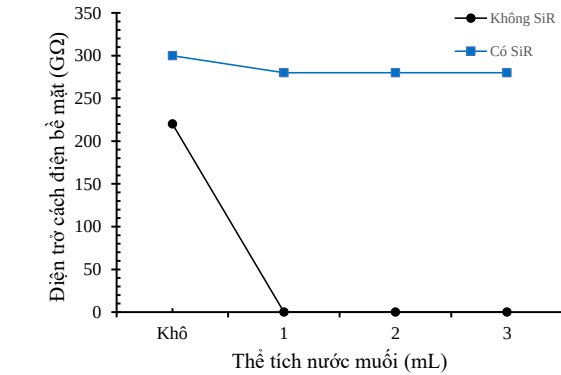
Hình 8. Ảnh hưởng của lớp SiR đến dòng rò bề mặt

Hình 8 cho thấy, sự thay đổi của dòng rò bề mặt theo điện áp tác dụng. Đối với bề mặt khô, dòng rò có giá trị khác biệt không đáng kể giữa có và không có lớp phủ SiR. Tại 13 kV, dòng điện đạt khoảng 6 μA và 7 μA tương ứng với trường hợp có và không có lớp SiR. Sau khi phun nước muối, dòng rò tăng đáng kể đối với trường hợp không có lớp SiR và giá trị dòng rò tăng theo thể tích nước muối tồn tại trên bề mặt sứ cách điện. Tại 13 kV, ghi nhận các giá trị 350 μA và 900 μA khi thể tích nước muối lần lượt là 1 mL và 2 mL. Tuy nhiên, điều này không xảy ra khi có lớp SiR. Tại 13 kV, dòng điện chỉ đạt 7 μA, 13 μA và 15 μA tương ứng với lượng nước muối lần lượt là 1 mL, 2 mL và 3 mL. Các kết quả tương tự cũng đã được báo cáo bởi các tác giả khác [1, 9]. Kết quả này khẳng định hiệu quả của lớp SiR

trong việc ngăn chặn dòng rò bề mặt trong điều kiện bề mặt sứ cách điện bị ô nhiễm ẩm dẫn điện.

3.3. Điện trở cách điện bề mặt

Kết quả đo điện trở cách điện bề mặt được thể hiện trong Hình 9. Ta thấy lớp SiR cải thiện đáng kể điện trở cách điện bề mặt của sứ cách điện trong cả điều kiện khô và ướt. Ở bề mặt khô, SiR làm tăng điện trở bề mặt khoảng 36,4% (300 GΩ so với 220 GΩ). Ở bề mặt ướt, điện trở giảm khoảng 99,98% (từ 220 GΩ xuống 0,05 GΩ) khi không có lớp SiR và khi thể tích nước muối vượt quá 1 mL. Tuy nhiên, khi có lớp SiR, điện trở chỉ giảm khoảng 6,67% (300 GΩ so với 280 GΩ) với 1 mL nước muối trên bề mặt sứ cách điện và dường như điện trở không giảm thêm trong phạm vi 1÷3 mL nước muối. Các kết quả này xác nhận hiệu suất cách điện của lớp SiR trong cả điều kiện khô và ướt, và có thể được sử dụng để giải thích về kết quả là điện áp phóng điện bề mặt của lớp SiR cao hơn so với lớp men của sứ cách điện như trình bày ở Hình 7.



Hình 9. Tương quan giữa điện trở mặt và thể tích nước muối

4. Bàn luận

Như đã biết sự phóng điện xảy ra trên bề mặt của sứ cách điện khô và sạch bắt đầu bằng phóng điện vàng quang tại các cạnh của điện cực [10]. Sau đó, phóng điện vàng quang sẽ phát triển thành phóng điện dòng điện tích và cuối cùng là phóng điện tiên đạo để hình thành tia lửa điện trên toàn bộ khoảng cách khe hở điện cực khi điện áp tăng cao [11]. Tuy nhiên, trong trường hợp bề mặt sứ cách điện bị bao phủ bởi một lớp ô nhiễm dẫn điện, cơ chế gây phóng điện bề mặt được giải thích bằng lý thuyết “đải khô” [10]. Trong nghiên cứu này, sự phóng điện trên bề mặt khô của lớp SiR được giải thích tương tự như trường hợp bề mặt sứ cách điện khô và sạch. Để tìm hiểu về cơ chế gây phóng điện trên bề mặt lớp SiR khi có sự xuất hiện của các giọt nước muối, sự phân bố điện trường trong khe hở điện cực được mô phỏng với phần mềm Maxwell. Để đơn giản, mô hình đối xứng trục 2D của sứ cách điện không có tán được sử dụng như Hình 10. Mối quan hệ giữa cường độ điện trường E và điện thế V được cho ở công thức (1). Trong trường hợp không có tồn tại điện tích trong lớp cách điện, điện thế V được xác định theo công thức (2). Phương pháp phân tử hữu hạn được áp dụng để giải bài toán sự phân bố điện thế V cũng như E với các điều kiện biên đã biết trước. Trong trường hợp này, sự phân bố điện trường được xác định với điện thế bằng 0 tại vô cùng và điều kiện biên được trình bày ở công thức (3) và (4). Các thông số mô phỏng được cho ở Bảng 2.

$$E = -\nabla V$$
 (1)

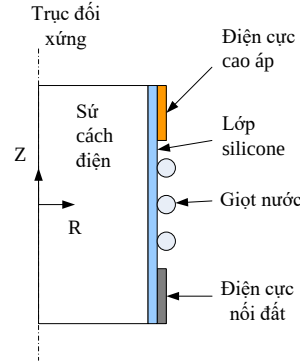
$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right) = 0$$
 (2)

$$V = V_{\text{tác dụng}} \text{ tại điện cực cao áp}$$
 (3)

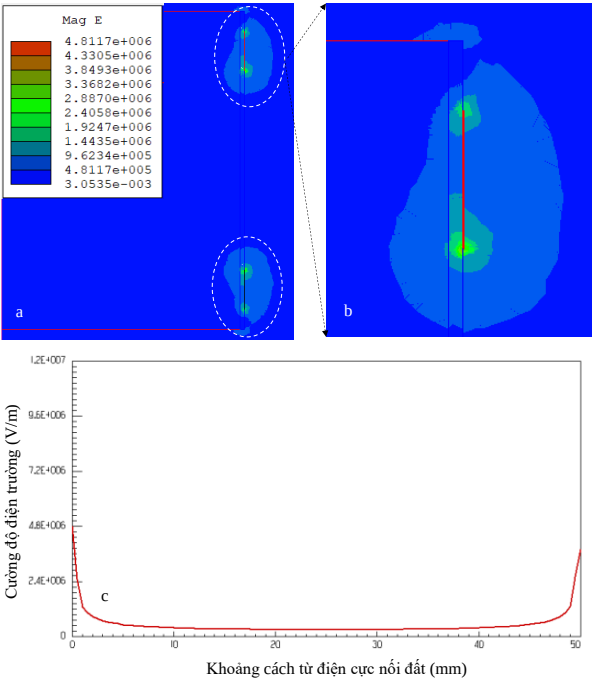
$$V = 0 \text{ tại điện cực nối đất}$$
 (4)

Bảng 2. Các thông số mô phỏng

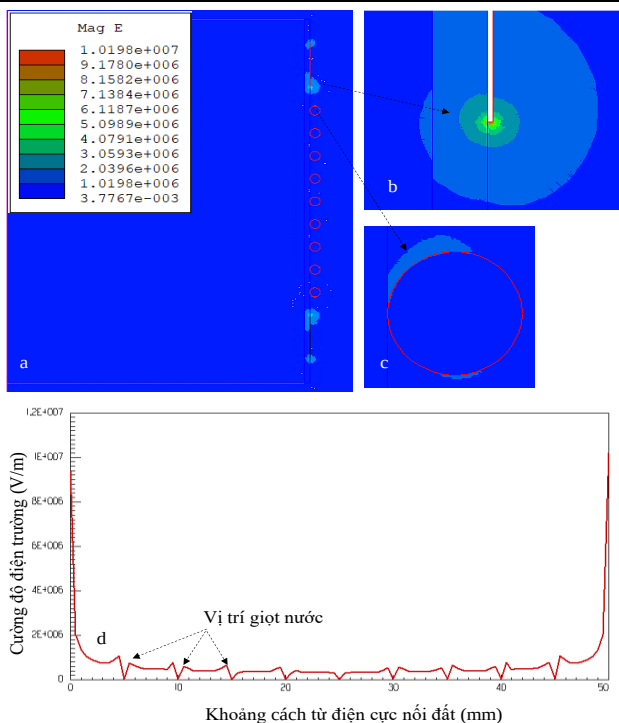
TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Đường kính sứ	mm	120
2	Khoảng cách điện cực	mm	50
3	Chiều dày lớp SiR	mm	1
4	Điện áp tác dụng	kV	25
5	Đường kính giọt nước	mm	2
6	Khoảng cách giữa tâm của các giọt nước	mm	5
7	Hằng số điện môi của nước muối		≈ 81
8	Độ dẫn điện của nước muối	μS/cm	40
9	Hằng số điện môi của sứ cách điện		6,0 [12]
10	Độ dẫn điện của sứ cách điện	S/m	10 ⁻¹⁴ [12]
11	Hằng số điện môi của lớp SiR		2,9 [12]
12	Độ dẫn điện của lớp SiR	S/m	10 ⁻¹³ [12]



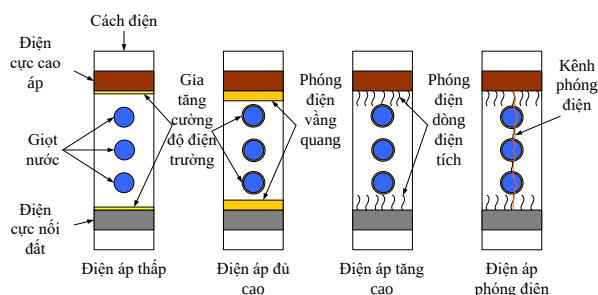
Hình 10. Mô hình mô phỏng



Hình 11. Phân bố điện trường (lớp phủ silicone khô)



Hình 12. Phân bố điện trường (lớp phủ silicone ướt)



Hình 13. Cơ chế gây phóng điện trên bề mặt lớp SiR ướt

Kết quả mô phỏng cho thấy, sự phân bố điện trường trong khe hở điện cực là không đều (Hình 11a) và có dạng chữ “U” như Hình 11c. Cường độ điện trường đạt cực đại tại các cạnh điện cực và nhanh chóng giảm thấp theo khoảng cách tính từ điện cực. Đối với trường hợp lớp SiR khô, cường độ điện trường tại các cạnh điện cực đạt khoảng $4,8 \cdot 10^6$ V/m. Tuy nhiên, khi có sự xuất hiện của các giọt nước muối, cường độ điện trường đã tăng khoảng 2,12 lần và đạt $1,0198 \cdot 10^7$ V/m. Ngoài ra, kết quả mô phỏng cũng cho thấy, có sự gia tăng cường độ điện trường tại vị trí của các giọt nước (Hình 12). Kết quả tương tự cũng đã được báo cáo ở các nghiên cứu trước đây [8, 9]. Dựa trên cơ chế gây phóng điện trên bề mặt sứ khô [10] và kết quả mô phỏng điện trường, cơ chế gây phóng điện trên bề mặt lớp silicone có sự xuất hiện của các giọt nước được đề xuất như Hình 13. Khi tăng điện áp, ban đầu sẽ xuất hiện phóng điện vàng quang tại các cạnh điện cực do cường độ điện trường vượt quá độ bền điện của không khí ($\approx 3 \cdot 10^6$ V/m). Tiếp tục tăng điện áp, cường độ điện trường tại các cạnh điện cực và tại các giọt nước nhanh chóng tăng cao. Điều này

dẫn đến phóng điện vàng quang nhanh chóng phát triển thành phóng điện dòng điện tích và cuối cùng là phóng điện tiên đạo. Kết quả là phóng điện toàn phần xảy ra trên bề mặt lớp silicone.

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy, lớp cao su silicone đã làm tăng điện áp đánh thủng bề mặt khoảng 4,4% và 165,1% trong điều kiện khô và ướt. Rõ ràng, hiệu quả của cao su silicone sẽ cao hơn rất nhiều trong điều kiện ướt do tính kỵ nước của nó. Ngoài ra, lớp cao su silicone cũng làm tăng điện trở cách điện bề mặt và làm giảm dòng rò bề mặt khi có sự xuất hiện của các giọt nước muối. Sự gia tăng điện trường tại các điện cực và xung quanh các giọt nước được xem là nguyên nhân chính thúc đẩy sự phóng điện diễn ra trên bề mặt của lớp SiR trong điều kiện ướt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Khan, A. Nugroho, A. D. Nalendra, A. R. Alifianda, R. Rachmawati, and S. Harjo, “Impact of rtv silicone rubber coating on outdoor insulators performance under various conditions”, in *Proceeding of International Conference on Power Engineering and Renewable Energy*, Indonesia, 2024, pp. 1-6.
- [2] S. Ilhan and E. A. Cherney, “Comparative tests on RTV silicone rubber coated porcelain suspension insulators in a salt-fog chamber”, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 25, no. 3, pp. 947-953, 2018.
- [3] E. A. Cherney *et al.*, “RTV silicone rubber pre-coated ceramic insulators for transmission lines”, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 20, no. 1, pp. 237-244, 2013.
- [4] Z. Jia, S. Fang, H. Gao, Z. Guan, L. Wang, and Z. Xu, “Development of rtv silicone coatings in china: overview and bibliography”, *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 24, no. 2, pp. 28-41, 2008.
- [5] H. Lee, T. H. Son, D. A. Dzung, J. Lee, M. Han, and N. V. Anh, “Enhancing the resilience of the rainwater for drinking (RFD) system through systematic monitoring: a case study at the Ly Nhan rural hospital in Vietnam” *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, vol. 11, no. 6, pp. 1048-1061.
- [6] P. M. Pakpahan and Suwarno, “Improvement of outdoors insulation performance for application in highly polluted area by using silicone coatings”, in *Proceeding of 2001 International Symposium on Electrical Insulating Materials*, Japan, 2001, pp. 278-281.
- [7] A. Hugall, T. Saha, P. Krake, and R. Bekker, “Investigation into the implementation of silicone coatings on high voltage insulators in Queensland”, in *Proceeding of 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, USA, 2012, pp. 1-6.
- [8] P. Bala, R. Bose, and S. Chatterjee, “Electric stress analysis of a 11kv rtv silicone rubber coated porcelain insulator”, in *Proceeding of 2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy*, India, 2016, pp. 1-6.
- [9] S. M. Braini, “Coatings for outdoor high voltage insulators”, PhD dissertation, School of Engineering, Cardiff University, U.K, 2013.
- [10] A. Küchler, *High Voltage Engineering*, 1st edition. Berlin: Springer Vieweg, 2018.
- [11] L. Lundgaard, D. Linhjell, G. Berg, and S. Sigmond, “Positive and negative streamers in oil gaps with and without pressboard interfaces”, in *Proceeding of the 12th International Conference on Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids*, Italy, 1996, pp. 175-180.
- [12] M. Othman, M. Isa, Z. C. M. Kasa, and M. N. Mazlee, “Effect of RTV coating on the electrical performance of porcelain insulator string under dry condition”, in *Proceeding of the 1st International Symposium on Engineering and Technology*, Malaysia, 2019, pp. 1-7.