

## ẢNH HƯỞNG CỦA HẠT NANO VÀ CHẤT PHỤ GIA ĐẾN CHIỀU FRACTAL TRONG HIỆN TƯỢNG PHÓNG ĐIỆN STREAMER

### THE EFFECT OF NANOPARTICLES AND ADDITIVES ON FRACTAL DIMENSION OF STREAMER DISCHARGE

**Đặng Việt Hùng**

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 04/5/2022, Ngày chấp nhận đăng: 01/6/2022, Phản biện: TS. Nguyễn Hữu Kiên

#### **Tóm tắt:**

Nghiên cứu hiện tượng phóng điện streamer xảy ra trong dầu máy biến áp giúp hiểu rõ hơn về cơ chế của quá trình hình thành và phát triển streamer, từ đó nhằm phục vụ tốt hơn cho công tác vận hành và tối ưu hóa thiết kế cách điện máy biến áp. Bài báo đánh giá ảnh hưởng của các chất phụ gia, hạt nano được sử dụng trong nghiên cứu hiện tượng phóng điện streamer ở dầu cách điện máy biến áp đến chiều fractal. Sử dụng phương pháp Box counting (BCM) trong tính toán chiều fractal, kết quả cho thấy mối quan hệ giữa chiều fractal với hình dạng của streamer, chiều điện cực, vật liệu nano hay chất phụ gia sử dụng trong dầu cách điện.

#### **Từ khóa:**

Streamer, chiều fractal, dầu cách điện máy biến áp.

#### **Abstract:**

Research of streamer discharge occurring in transformer oil helps to better understand the mechanics of their initiation and propagation, It's useful for optimizing transformer insulation design and operation. This paper is aimed to evaluate the influence of additives and nanoparticles used in the research of streamer discharge in transformer oil to the fractal dimension. By using the Box counting method (BCM) in calculating fractal dimensions, the results showed the relationship between the fractal dimension and the shape of streamer, electrode polarity, nanomaterials or additives used in insulating oils.

#### **Keywords:**

Streamer, fractal dimension, box counting method (BCM), transformer insulating oil.

### **1. MỞ ĐẦU**

Dầu máy biến áp giữ vai trò quan trọng trong đảm bảo vận hành tin cậy máy biến áp, các nghiên cứu về hiện tượng phóng điện streamer trong dầu máy biến áp giúp hiểu rõ hơn các cơ chế hình thành và lan truyền streamer, từ đó giúp chuẩn đoán

các hư hỏng hay tối ưu hóa quá trình thiết kế cách điện máy biến áp. Hiện nay, để nghiên cứu ảnh hưởng của chiều điện cực, nguồn gốc dầu cách điện, áp suất, nhiệt độ... đến tính chất hóa lý hay quá trình phóng điện streamer của dầu cách điện, một số chất phụ gia hay hạt nano được sử

dụng với tỷ lệ phù hợp; trong nhiều trường hợp, các hạt nano làm tăng đặc tính cách điện của dầu máy biến áp [1,2].

Ứng dụng lý thuyết fractal trong nghiên cứu hiện tượng phóng điện streamer hay phóng điện trên bề mặt đã được thực hiện bởi nhiều nghiên cứu, một số nghiên cứu tính toán chiều fractal dựa trên mô hình mô phỏng hiện tượng phóng điện ngẫu nhiên, một số nghiên cứu khác thực hiện tính toán chiều fractal từ các kết quả thực nghiệm [3,4,5].

## 2. TÍNH TOÁN CHIỀU FRACTLE

Có nhiều phương pháp khác nhau được sử dụng nhằm tính toán chiều fractal khi nghiên cứu hiện tượng phóng điện trong điện môi [3]. Bài báo sử dụng phương pháp Box counting, các bước tính toán bao gồm: phủ kín hình ảnh phóng điện streamer bằng  $N$  các ô vuông có cạnh là  $l$ , từ mối quan hệ  $N(l)$  khi  $l$  thay đổi cho phép xác định chiều fractal theo công thức:

$$N(l) = l^{-D}$$

$$D = - \lim_{l \rightarrow 0} \frac{\log N(l)}{\log l}$$

Trong đó  $D$  là số chiều fractal.

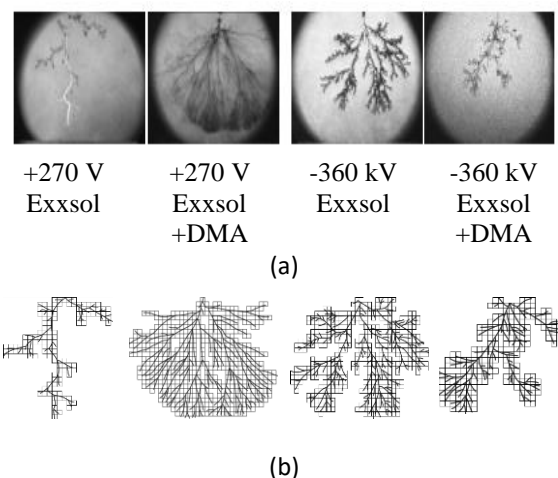
$D$  được xác định từ độ dốc của đường thẳng  $\log N(l)$ ,  $D$  có giá trị từ 1 đến 2 trong mô hình không gian 2 chiều. Một phần mềm được xây dựng nhằm chuyển hình ảnh phóng điện streamer từ thực nghiệm sang ảnh nhị phân (gồm 2 màu đen/trắng) và xác định mối quan hệ giữa  $N(l)$  khi độ dài cạnh ô vuông  $l$  thay đổi.

Bài báo thực hiện tính toán chiều fractal

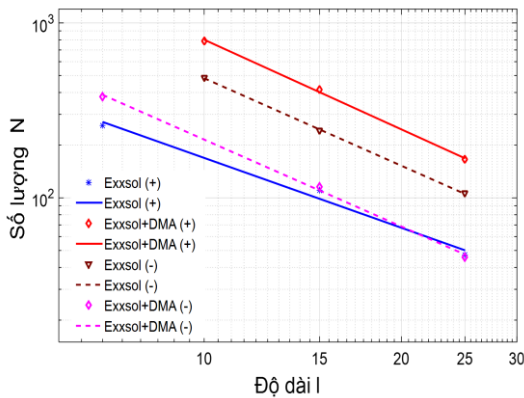
theo phương pháp Box counting trong hiện tượng phóng điện streamer ở dầu máy biến áp có sử dụng chất phụ gia, hạt nano từ các kết quả thực nghiệm.

## 3. ẢNH HƯỞNG CỦA CHẤT PHỤ GIA

Trong nghiên cứu hiện tượng phóng điện streamer dầu máy biến áp, nhằm đánh giá ảnh hưởng của chiều điện cực và quá trình hình thành streamer trong môi trường không đồng nhất, một số chất phụ gia có năng lượng ion hóa thấp có thể được sử dụng. Hình 1a thể hiện hình ảnh phóng điện streamer trong dầu Exxsol và dầu Exxsol + N,N dimethyl aniline (DMA) trong 02 trường hợp điện cực dương (+270 kV) và điện cực âm (-360 kV) [6]. DMA có năng lượng ion hóa (7,4 eV) thấp hơn dầu Exxsol (10 eV). Ảnh nhị phân streamer ứng với  $l=15$  pixels được thể hiện trên hình 1b. Ứng với các trường hợp khác nhau của  $l$ , ta có đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa  $\log(N)$  và  $l$  như trên hình 2.



Hình 1 (a). Phóng điện streamer trong dầu Exxsol và dầu Exxsol + DMA; (b) ảnh nhị phân ứng với  $l=15$  pixels



**Hình 2. Đồ thị mối quan hệ giữa  $\log(N)$  và  $l$  trong dầu Exxsol và dầu Exxsol + DMA**

**Bảng 1. Chiều fractal xác định từ hình 2**

Dầu	Exxsol	Exxsol + DMA	Exxsol	Exxsol + DMA
Điện áp (kV)	+270	+270	-360	-360
D ( $\pm 0,02$ )	1,33	1,70	1,67	1,65

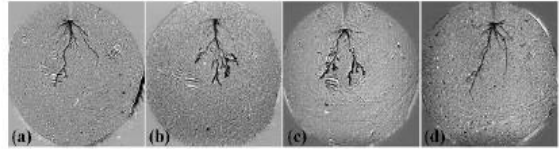
Trong trường hợp điện cực dương, do có năng lượng ion hóa thấp, DMA làm cho hình dạng phóng điện streamer xuất hiện nhiều nhánh hơn; từ kết quả tính toán cho thấy chiều fractal tăng trong trường hợp sử dụng DMA ở điện cực dương; tuy nhiên trong trường hợp điện cực âm, DMA ít ảnh hưởng đến chiều fractal.

#### 4. ẢNH HƯỞNG CỦA HẠT NANO

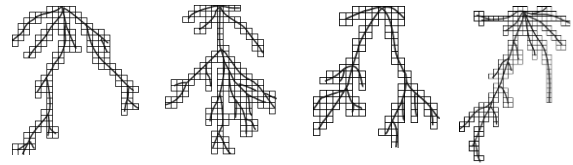
Hiện nay, các hạt nano thường được thêm vào trong dầu máy biến áp nhằm tăng khả năng cách điện cũng như nhằm cải thiện một số tính chất lý, hóa.

Hình 3a thể hiện ảnh hưởng của 03 loại hạt nano kim loại  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$  và  $Al_2O_3$  đến quá trình phóng điện streamer trong

dầu máy biến áp naphthenic ở trường hợp điện cực dương [7]. Ảnh nhị phân streamer ứng với  $l=15$  pixels được thể hiện trên hình 3b.



(a)

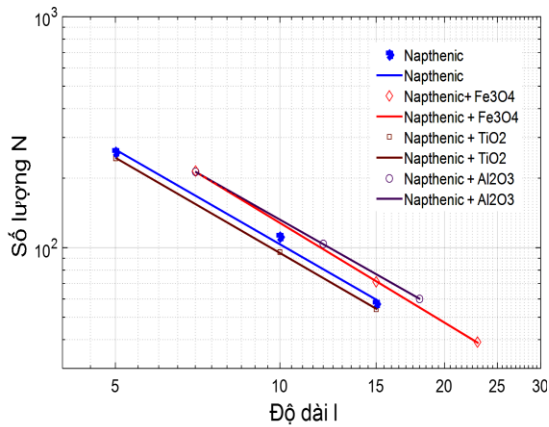


(b)

**Hình 3(a). Phóng điện streamer trong dầu naphthenic và nano kim loại (a: dầu naphthenic, b: dầu naphthenic +  $Fe_3O_4$ , c: dầu naphthenic +  $TiO_2$ , d: dầu naphthenic +  $Al_2O_3$ ); (b) ảnh nhị phân ứng với  $l=15$  pixels**

Đồ thị hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa  $\log N(l)$  trong các trường hợp nghiên cứu khác nhau của dầu naphthenic và các hạt nano kim loại.

Dưới ảnh hưởng của hạt nano kim loại  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$  lớp điện tích không gian giữa 2 điện cực thay đổi, hình dạng phóng điện streamer xuất hiện nhiều nhánh và các nhánh có độ dày lớn hơn. Từ kết quả tính toán cho thấy, chiều fractal tăng trong trường hợp phóng điện streamer ở dầu naphthenic và hạt nano kim loại  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$ . Chiều fractal ít có sự thay đổi trong trường hợp sử dụng  $Al_2O_3$ .



thích hợp làm tăng khả năng cách điện của dầu máy biến áp napthenic.

**Hình 4. Đồ thị mối quan hệ giữa  $\log(N)$  và  $l$  trong dầu napthenic và dầu napthenic + hạt nano kim loại**

**Bảng 2. Chiều fractal xác định từ hình 4**

Dầu	Napthenic	Napthenic + $\text{Fe}_3\text{O}_4$	Napthenic + $\text{TiO}_2$	Napthenic + $\text{Al}_2\text{O}_3$
D ( $\pm 0,02$ )	1,36	1,43	1,40	1,34

## 5. KẾT LUẬN

Từ kết quả tính toán chiều fractal trong hiện tượng phóng điện streamer ở dầu cách điện máy biến áp cho thấy mối quan hệ giữa hình dạng phóng điện, chiều điện cực, chất phụ gia, hạt nano với chiều fractal.

Chiều fractal tăng trong trường hợp sử dụng chất phụ gia có năng lượng ion hóa thấp (DMA) ở điện cực dương và hạt nano kim loại có tính dẫn điện ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), bán dẫn ( $\text{TiO}_2$ ). Chiều fractal ít ảnh hưởng trong trường hợp điện cực âm với chất phụ gia DMA và điện cực dương với hạt nano có tính cách điện  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Trong trường hợp điện cực dương, việc sử dụng hạt nano kim loại  $\text{Fe}_3\text{O}_4$   $\text{TiO}_2$  với tỷ lệ

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] U. Khaled and A. Beroual, Influence of Conductive Nanoparticles on the Breakdown Voltage of Mineral Oil, Synthetic and Natural Ester Oil-based Nanofluids, 2019 IEEE 20th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Rome, Italy, 6/2019.
- [2] S. Ingebrigtsen, H. S. Smalo, P. - Astrand and L. E. Lundgaard, Effects of Electron-attaching and Electron-releasing Additives on Streamers in Liquid Cyclohexane, in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 16, no. 6, pp. 1524-1535, 12/2009.
- [3] K. Kudo, Fractal analysis of electrical trees, in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 5, no. 5, pp. 713-727, 10/1998.
- [4] A. Beroual, Relationship between the physicochemical properties of materials and the fractal dimension of creeping discharges propagating at solid/fluid interfaces, 2016 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), 2016, pp. 296-299.
- [5] S. Ediriweera, P. Jayarathna, R. Samarasinghe and R. Lucas, Effect of the Shape of the Solid Insulators on Creeping Discharge Propagation Under AC Voltages, 2019 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), 2019, pp. 486-490.
- [6] N. V. Dung et al., Streamers in large paraffinic oil gap, 2011 IEEE International Conference on Dielectric Liquids, Trondheim, Norway, pp. 1-6, 2011.
- [7] Lv, Yuzhen; Ge, Yang; Wang, Lei; Sun, Zhen; Zhou, You; Huang, Meng; Li, Chengrong; Yuan, Jinsha; Qi, Bo. Effects of Nanoparticle Materials on Prebreakdown and Breakdown Properties of Transformer Oil Appl. Sci. 8, no. 4: 601, 2018.

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Đặng Việt Hùng tốt nghiệp đại học năm 2002, nhận bằng Thạc sĩ năm 2004 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Năm 2011 nhận bằng Tiến sĩ Kỹ thuật điện tại Trường École Centrale de Lyon (Cộng hòa Pháp). Hiện nay tác giả công tác tại Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, vật liệu kỹ thuật điện cao áp.