# MÔ PHỎNG HIỆN TƯỢNG PHÓNG ĐIỆN TRÊN BỀ MẶT CÁCH ĐIỆN NHIễM BẦN KHÔNG ĐỒNG NHẤT DƯỚI ĐIỆN ÁP XUNG

SIMULATION OF DISCHARGE PROPAGATION ON NON-UNIFORMLY POLLUTED SURFACES INSULATOR UNDER IMPULSE VOLTAGE

#### Đặng Việt Hùng, Nguyễn Phúc Huy

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 01/02/2019, Ngày chấp nhận đăng: 28/03/2019, Phản biện: TS. Nguyễn Hữu Kiên

#### Tóm tắt:

Bài báo trình bày mô hình động nhằm mô phỏng hiện tượng phóng điện trên bề mặt cách điện nhiễm bẩn dưới điện áp xung, mô hình sử dụng phương pháp mạch điện tương đương RC dựa trên các tiêu chuẩn trở kháng cho phép xác định các thông số của tia lửa điện (vận tốc tức thời, chiều dài, điện tích, điện trở, bán kính, dòng điện) trong quá trình lan truyền, quá trình lan truyền tia lửa điện được mô phỏng bằng các bước tương đương với các đoạn mạch RC nối tiếp nhau. Mô hình tính toán áp dụng cho trường hợp cách điện nhiễm bẩn không đồng nhất trên bề mặt gồm 3 lớp dưới tác động của điện áp xung có dạng sóng 10/800 µs. Kết quả mô phỏng cho thấy sự thay đổi của các thông số tia lửa điện trong quá trình lan truyền trên bề mặt.

#### Từ khóa:

Tia lửa điện, phóng điện bề mặt, cách điện nhiễm bẩn không đồng nhất, điện áp xung, mạch điện tương đương.

#### Abstract:

This paper presents a dynamic model to simulate the phenomenon of discharge propagation on polluted surface insulators under impulse voltage. The model uses an RC equivalent electrical network and an analytical discharge propagation impedance criterion to predict discharge characteristics (instantaneous propagation velocity, length, charge injection, arc resistance, radius of the discharge, current), the discharge propagation is simulated by step and it's correspond to a new cell RC in series . The model applied to the case non-uniformly polluted surface insulator consisting 3 bands under impulse voltage  $10/800 \ \mu$ s. The simulation results showed that the discharge characteristics changes in the propagation process on the surface.

#### **Keywords:**

Arc, discharge propagation, non-uniformly polluted insulators, impulse voltage, equivalent electrical network.

#### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình vận hành, cách điện ngoài trời chịu ảnh hưởng bởi điều kiện ô nhiễm môi trường khi đi qua các vùng khác nhau. Lớp bề mặt cách điện bị ô nhiễm sẽ là điều kiện thuận lợi hình thành hiện tượng phóng điện trên bề mặt, đặc biệt nguy hiểm khi xảy ra phóng điện nối liền

#### TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG - TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐIỆN LỰC (ISSN: 1859 – 4557)

giữa hai điện cực, gây ngắn mạch và ảnh hưởng nghiêm trọng đến an toàn và độ tin cậy cung cấp điện. Nhiều mô hình tĩnh được xây dựng nhằm dự báo giá tri điện áp khi xảy ra phóng điện nối liền giữa hai điện cực (flashover), một số mô hình động áp dụng cho trường hợp điện áp đặt là một chiều hay bề mặt cách điện ô nhiễm là đồng nhất [1-3]. Trong thực tế, việc phân bố lớp ô nhiễm trên bề mặt cách điện thường không đồng nhất. Do vậy, bài báo tập trung xây dựng mô hình động quá trình lan truyền tia lửa điện trong trường hợp bề mặt cách điện nhiễm bẩn không đồng nhất dưới điện áp xung, phương pháp dựa trên mô hình mạch điện tương đương RC, mô hình cân bằng năng lượng và các mô hình vật lý khác đã được phát triển [3,4]. Mô hình cho phép phân tích và đánh giá các thông số vật lý như điện áp, dòng điện, vận tốc, điện trở và bán kính của tia lửa điện trong quá trình lan truyền trong trường hợp lớp ô nhiễm bề mặt cách điên không đồng nhất.

## 2. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

Mô hình mô phỏng quá trình lan truyền tia lửa điện trên bề mặt gồm 3 lớp cách đều nhau là lớp sạch - lớp bụi - lớp sạch (hình 1).



Hình 1. Mô hình mô phỏng

Quá trình lan truyền đư l mô hình hóa bằng phương pháp mạch điện tương

đương. Trong đó, giả thiết mỗi khi điều kiện lan truyền thỏa mãn thì tia lửa điện phát triển đưtr một bưtr, mỗi bưmriltru thay thế bằng một đoạn mạch  $R_iC_i$ . Do vậy, quá trình lan truyền tương ứng với việc các đoạn mạch RC đư R mắc nối tiếp nhau. Mô hình mô phỏng thể hiện trong hình 2; trong đó  $V_d$  là điện áp đặt,  $R_iC_i$ tương ứng là điện trở và điện dung của đoạn mạch thứ *i*,  $R_b$  là điện trở lớp bề mặt tính từ đầu tia lửa điện đến điện cực đối diện.



Hình 2. Mô hình mạch điện tương đương RC

Giả thiết tại thời điểm ban đầu tia lửa điện có độ dài  $x_0$  với các giá trị  $R_0C_0$ , dòng điện và điện áp tại mỗi bước được tính theo công thức:

$$V_{i-1}(t) - V_i(t) = R_i I_i(t)$$
(1)

$$I_{i}(t) = I_{i-1}(t) - C_{i-1} \frac{dV_{i-1}(t)}{dt}$$
(2)

Trong đó  $V_i$  và  $I_i$  tương ứng là điện áp và dòng điện bước thứ *i*. Phương trình trạng thái trên cho phép tính toán các tham số vật lý của tia lửa điện tại thời điểm bất kì với các giá trị khác nhau của chiều dày và điện dẫn suất lớp bề mặt.

## 3. THAM SỐ MÔ HÌNH THAY THẾ

#### 3.1. Điện trở lớp bề mặt

Điện trở lớp bụi bề mặt được tính toán theo mô hình Renyu - Zhicheng [5].

$$R_p = \frac{1}{\pi\delta} \ln \frac{L-x}{r} \tag{3}$$

Trong đó:  $\delta$  là điện dẫn suất lớp bụi, r là bán kính đầu tia lửa điện và L, x tương ứng là chiều dài bề mặt phóng điện và chiều dài tia lửa điện.

#### 3.2. Điện trở tia lửa điện

Điện trở của tia lửa điện được tính toán theo phương trình Mayr [6] với giả thiết tia lửa điện có dạng hình trụ tròn với bán kính không đổi.

$$\frac{d}{dt}\left[\ln\frac{1}{R_i}\right] = \frac{1}{\tau} \left(\frac{V_{arc}(t)I_{arc}(t)}{P_o} - 1\right) \tag{4}$$

Trong đó:  $V_{arc}$ ,  $I_{arc}$ ,  $\tau$ ,  $P_o$  tương ứng là điện áp, dòng điện, hằng số thời gian và công suất của tia lửa điện.

### 3.3. Điện dung tia lửa điện

Trong mô hình mô phỏng, điện dung ở đầu tia lửa điện ( $C_{arc}$ ) được tính từ đầu tia lửa điện đến điện cực đối diện theo công thức sau [7]:

$$C_{arc} = 4\pi\varepsilon_o r. sh(\alpha) \sum_{n=1}^{\infty} [sh(n\alpha)]^{-1} \qquad (5)$$

Trong đó:  $cosh(\alpha) = \frac{L-x}{r}$  với *r* là bán kính tia lửa điện được tính toán theo mô hình Wilkins [8].

$$r = \sqrt{\frac{I_{arc}}{1,45\pi}}$$

## 3.4. Vận tốc tia lửa điện

Vận tốc trong quá trình lan truyền phụ thuộc vào cưvua độ điện trưuan tại điểm đầu tia lửa điện, hay nói cách khác phụ thuộc vào độ lớn điện áp đặt. Để tính toán vận tốc tức thời  $(v_i)$  của tia lửa điện, mô hình sử dụng phương pháp cân bằng năng

lư nnglnru đề xuất bởi Beroual [4].

$$v_i(t) = \left(\frac{2\beta}{\rho\pi r^2} \cdot P_i(t)\right)^{1/3} \tag{6}$$

Trong:  $\rho$  là mật độ không khí và  $\beta$ ( $0 < \beta < 1$ ) là tỉ lệ phần năng lượng cần thiết cho quá trình lan truyền tia lửa điện, P(t)là công suất tia lửa điện tính bởi  $P(t)=V_{arc}.I_{arc}.$ 

#### 3.5. Dòng điện và điện tích

Từ phương trình (1) và (2), dòng điện tia lửa điện tại bước thứ i được tính theo:

$$I_{i}(t) = \frac{V_{i-1}(t) - V_{i}(t)}{R_{i}}$$
(7)

Điện tích sau mỗi bước phát triển của tia lửa điện bằng  $q_i = C_i V_i(t)$ .

Các bước tính toán của mô hình mô phỏng thể hiện trong thuật toán tại hình 3.



Hình 3. Thuật toán tính toán quá trình Ian truyền tia lửa điện

#### TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG - TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐIỆN LỰC (ISSN: 1859 – 4557)

## 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Sóng quá điện áp khi lan truyền trên đường dây nếu thỏa mãn một số điều kiện có thể gây ra phóng điện trên bề mặt cách điện, ảnh hưởng đến sự làm việc tin cậy của lưới điện và thiết bị điện. Trong bài báo sử dụng quá điện áp nội bộ có dạng sóng 10/800  $\mu$ s, điện áp đỉnh bằng 20 kV. Mô hình tính toán có chiều dày lớp bề mặt là 2 mm, bán kính điện cực mũi nhọn là 5  $\mu$ m, điện dẫn lớp sạch và lớp bụi tương ứng là 2  $\mu$ S/m và 200  $\mu$ S/m, tổng chiều dài lớp bề mặt là 9 cm. Trong bài báo tập trung phân tích và đánh giá các thông số dòng điện, vận tốc, điện trở của tia lửa điện trong quá trình lan truyền.



Hình 4. Điện áp trong quá trình lan truyền

Từ hình 4 ta thấy trong quá trình lan truyền, điện áp đầu tia lửa điện giảm nhẹ khi chuyển từ lớp sạch sang lớp bụi nhiễm bẩn, tuy nhiên không xuất hiện sự thay đổi khi chuyển từ lớp bụi nhiễm bẩn sang lớp sạch. Với điện áp đỉnh 20 kV, thời gian tia lửa điện lan truyền và nối liền hai điện cực là 120 μs.

Trong quá trình lan truyền trên bề mặt có các lớp điện dẫn khác nhau, dòng điện tăng đột ngột và đạt giá trị lớn nhất bằng 0,48 A xảy ra tại thời điểm 40 µs khi tia lửa điện chuyển từ lớp sạch sang lớp bụi (hình 5), tương ứng xuất hiện sự sụt giảm điện áp tại thời điểm này. Hình 6 thể hiện sự thay đổi điện trở tia lửa điện trong quá trình lan truyền, điện trở tia lửa điện giảm nhanh khi dòng điện tăng, giảm đột ngột tại thời điểm khi điện áp đặt đạt giá trị đỉnh. Kết quả mô phỏng cho thấy dòng điện tỉ lệ nghịch với giá trị lớp điện dẫn trên bề mặt.



Hình 5. Dòng điện trong quá trình lan truyền



Hình 6. Điện trở trong quá trình lan truyền



Hình 7. Vận tốc trong quá trình lan truyền

Trong quá trình lan truyền, vận tốc tia lửa điện có hình dáng của điện áp đặt (hình 7), vận tốc tăng đột ngột và đạt giá trị lớn nhất bằng 780 m/s tại giá trị đỉnh của điện áp xung, vận tốc trung bình đạt khoảng 750 m/s, kết quả mô phỏng phù hợp với một số kết quả đo thực nghiệm [9].



Hình 8. Bán kính trong quá trình lan truyền

Bán kính tia lửa điện trong quá trình lan truyền được tính toán trong mối quan hệ với dòng điện theo mô hình Wilkins. Sự thay đổi bán kính tia lửa điện trong quá trình lan truyền tỉ lệ với sự thay đổi dòng điện (hình 8).

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo sử dụng phương pháp mạch điện tương đương trong mô hình hóa hiện tương phóng điên lan truyền trên bề mặt cách điện nhiễm bẩn, phương pháp cho phép tính toán các thông số tức thời của tia lửa điên. Dưới điên áp xung 10/800 µs và bề mặt cách điện nhiễm bẩn không đồng nhất, tia lửa điện trong quá trình lan truyền từ bề mặt cách điện sạch sang bề mặt cách điện nhiễm bẩn thì điện áp, dòng điên và vân tốc tia lửa điên có sư thay đổi. Vân tốc tia lửa điên có dang của điên áp và đat giá tri lớn nhất bằng 780m/s, dòng điên đat giá tri lớn nhất bằng 0,48 A. Khi điện áp đặt đạt giá trị đỉnh, tia lửa điện bắt đầu lan truyền khi điên trở giảm nhanh và đôt ngôt.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rizk F., Mathematical models for pollution flashver, Electra, 1981, 78, pp.71-103.
- [2] Hampton B.F, Flashover mechanism of pollution insulation, Proc IEE, 1964, 111, pp.985-990.
- [3] N. Dhahbi-Megriche, A. Beroual and L. Krahenbuhl, A new Proposal Model for Polluted Insulators Flashover, Journal of Physics D: Applied Physics, (30), n°5, pp. 889-894, March 1997.
- [4] A. Beroual, Universal dynamic model of discharge propagating in air, liquids, solid/liquid interfaces and polluted, 13th International Symposium on High Voltage Engineering, Delft, The Nedherlands, August 25-29, 2003.
- [5] Z. Renyu and G. Zicheng, A study on difference between the flashover voltage of contaminated insulator under AC and DC voltage, IEEE Trans., pp.332-334, 1985.
- [6] Mayrer O., Beitrag zur theorie der statischen und der dynamishchen lichtbogens, Arch. Elektrotech, 1943, 37, pp.558-608.
- [7] Durand E., Electrostatique, 1943, 37, pp.588-608.
- [8] R. Wilkins, Flashover Voltage of HV Insulators with Uniform Surface Pollution Films, Proc IEE, Vol. 116, pp. 457-465, 1969.

TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG - TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐIỆN LỰC (ISSN: 1859 – 4557)

[9] H. Matsuo, T. Yamashita, T. Fujishima and O. Takenouchi, Propagation velocity and phoemission intensity of a local discharge on an electrolytic surface, IEEE Trans. on Diel. and Elect. Insul., Vol. 3, pp. 444-449, 1996.

#### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Đặng Việt Hùng tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2002 và 2004; nhận bằng Tiến sĩ Kỹ thuật điện tại Trường Ecole Centrale de Lyon, Cộng hòa Pháp năm 2010. Tác giả hiện là giảng viên Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, vật liệu kỹ thuật điện cao áp, tự động hóa hệ thống cung cấp điện.



Tác giả Nguyễn Phúc Huy tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2010; nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành hệ thống điện và tự động hóa năm 2015 tại Trường Đại học Điện lực Hoa Bắc, Bắc Kinh, Trung Quốc. Tác giả hiện là giảng viên Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, ứng dụng điện tử công suất, độ tin cậy của hệ thống điện.

(ISSN: 1859 - 4557)