

# GIẢI PHÁP ĐO VÀ KIỂM TRA LIÊN TỤC ĐIỆN TRỞ CÁCH ĐIỆN CỦA MẠNG ĐIỆN MỎ 1140 V TRUNG TÍNH

**ĐINH VĂN THẮNG, CUNG QUANG KHANG**

*Trường Đại học Mỏ-Địa chất*

Email: dinhvanthang@humg.edu.vn

## 1. Mở đầu

Mục đích của việc đo và kiểm tra cách điện liên tục của mạng cáp ba pha trung tính cách ly so với đất là để thực hiện cảnh báo sớm về mức độ giảm cách điện của mạng cáp đến ngưỡng thấp, mất an toàn trong vận hành. Đo và kiểm tra cách điện liên tục điện trở cách điện của mạng cáp còn dùng tạo tín hiệu để thực hiện cắt mạng cáp khỏi nguồn cấp điện, khi điện trở cách điện của nó giảm xuống quá thấp, so với ngưỡng giới hạn cho phép (nghĩa là bảo vệ ngắt khi rò điện ba pha đối xứng).

Trong thực tế vận hành hiện nay, mạng cáp điện không được kiểm tra và bảo trì cách điện một cách thường xuyên. Để đo và kiểm tra cách điện liên tục của mạng cáp ba pha trung tính cách ly so với đất ở chế độ đối xứng cần giải quyết bài toán cụ thể là đo trực tiếp và liên tục các thông số điện trở cách điện của mạng so với đất khi lưới điện đang vận hành ở trạng thái bình thường.

Hiện nay, có nhiều phương pháp và các thiết bị đo kiểm tra cách điện liên tục cho lưới điện được lắp đặt trên các mạng điện mỏ hầm lò điện áp 660/1140 V. Các thiết bị này hoạt động theo nhiều nguyên tắc khác nhau như [2]:

- Sử dụng dòng chỉnh lưu một chiều (phương pháp 3 van);
- Sử dụng dòng chỉnh lưu một chiều dùng điện tỷ kế;
- Đo và kiểm tra cách điện theo nguyên tắc phóng điện của tụ điện qua cách điện;
- Sử dụng dòng thao tác một chiều xếp chồng vào mạng đo;
- Sử dụng dòng thao tác xoay chiều tần số khác 50 Hz xếp chồng vào mạng đo.

## 2. Đề xuất phương pháp và sơ đồ mạch đo kiểm tra cách điện liên tục của mạng điện ba pha trung tính cách ly

Trong các phương pháp kể trên, mỗi phương

pháp đều có những ưu nhược điểm nhất định và vì vậy khả năng hiện thực hóa và để chế tạo ra các thiết bị đo và kiểm tra cách điện liên tục của mạng điện có những khó khăn nhất định.

Thiết bị đo và kiểm tra cách điện liên tục sử dụng dòng chỉnh lưu 1 chiều (phương pháp 3 van) là loại đơn giản nhất. Tuy nhiên, do điện trở cách điện của mạng ba pha 1140 V rất lớn, vì thế sự giảm điện trở cách điện của mạng này làm thay đổi dòng điện qua mạch 3 van sẽ rất nhỏ ( $\Delta I_{r0} \approx 10^{-3} \div 10^{-4} \text{ A}$ ). Vì thế, với thiết bị đo kiểu này, cần có dụng cụ đo có độ nhạy cao như Micro-Ampemet để có thể đo và hiển thị giá trị điện trở cách điện của mạng.

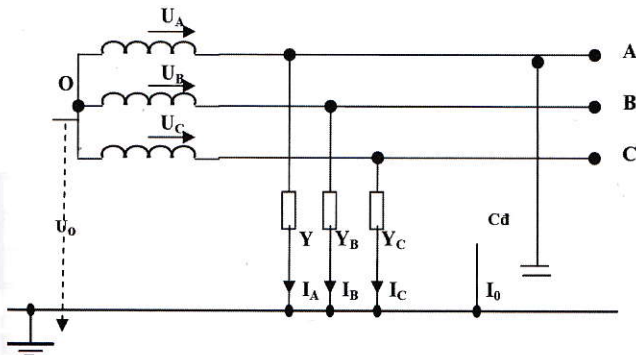
Thiết bị đo và kiểm tra cách điện sử dụng dòng chỉnh lưu một chiều dùng điện tỷ kế là biến thể của loại thiết bị đo thứ nhất. Ở thiết bị đo kiểu này, người ta sử dụng kết hợp dòng chỉnh lưu 3 van và dòng chỉnh lưu thứ hai tỷ lệ với điện áp thứ tự không ( $U_0$ ) hình thành giữa trung tính nhân tạo và đất.

Thiết bị đo và kiểm tra cách điện sử dụng dòng thao tác một chiều bên ngoài xếp chồng vào mạng cần đo cần có thêm nguồn điện một chiều nối vào trung tính của mạng điện 3 pha. Dòng điện thao tác một chiều đi qua điện trở cách điện  $R_f$  của mạng và dụng cụ đo sẽ phản ánh được trị số cách điện của mạng qua thiết bị đo micro Ampemet. Để tăng độ nhạy của thiết bị kiểu này thì phải tăng điện áp nguồn thao tác một chiều, điều này dẫn đến tăng công suất nguồn đo và tăng khả năng mất an toàn về điện giật.

Trong phương pháp đo điện dẫn, điện dung cách điện của lưới điện cao áp mỏ, điện áp 6÷10 kV, người ta thường sử dụng biện pháp gây chạm đất một pha nhân tạo qua điện trở thuần  $R_d$  hoặc điện dung  $C_d$ . Thông qua tác động gây chạm đất 1 pha nhân tạo với các trị số cho trước  $R_d$  hoặc  $C_d$  ta có thể xác định được các thành phần điện dẫn và

điện dung của mạng điện đang ở chế độ làm việc bình thường [1]. Thừa kế và phát triển từ phương pháp đo điện dẫn điện dung của mạng điện cao áp trong mỏ, chúng tôi đề xuất phương pháp đo và kiểm tra điện trở cách điện liên tục của mạng điện ba pha điện áp 1140 V trung tính cách ly so với đất dựa trên nguyên lý dùng điện áp thứ tự không  $U_0$ .

Để có được cơ sở khoa học của phương pháp đo kiểm tra liên tục điện trở cách điện của mạng điện ba pha trung tính cách ly ở chế độ đối xứng của mỏ, ta xét sơ đồ thay thế mạng điện với các thông số cách điện tập trung như hình H.1 với giả thiết cách điện của mạng là đối xứng.



H.1. Sơ đồ mạch điện thay thế mạng cấp điện m

Trong sơ đồ trên H.1, điện trở cách điện  $R$  và điện dung  $C$  của pha so với đất được thay thế bằng điện dẫn cách điện  $Y_A=Y_B=Y_C=Y=1/(R-j\omega.C)$ . Điện dung  $C_d$  được nối vào pha A tạo ra mất đối xứng của hệ thống để hình thành điện áp thứ tự không  $U_0$ .

Trong mọi hệ thống cung cấp điện ba pha, điện áp dây luôn tạo thành hệ đối xứng có véc tơ điện áp tạo thành hình tam giác đều. Khi không tải, véc tơ điện áp pha của hệ thống điện ba pha luôn tạo thành hệ véc tơ hình tia đối xứng với góc giữa chúng bằng  $120^\circ$ . Nếu cách điện của các pha so với đất giống nhau hoàn toàn, điện thế của điểm trung tính nguồn bằng với điện thế của đất và bằng 0,0. Nếu điều kiện cân bằng trên bị phá vỡ, điện thế của điểm trung tính sẽ trôi khỏi điểm quy chiếu (đất), và khi đó trong mạng xuất hiện điện áp lệch trung tính so với đất (điện áp thứ tự không)  $U_0$ .

Gọi điện áp pha của lưới điện là  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ , điện áp của các pha so với đất là  $\dot{U}'_A, \dot{U}'_B, \dot{U}'_C$  còn điện áp giữa trung tính của nguồn so với đất là  $\dot{U}_0$ , khi ấy mối liên hệ giữa các đại lượng điện áp trong mạng khi mất đối xứng sẽ có dạng:

$$\dot{U}'_A = (\dot{U}_A + \dot{U}_0); \dot{U}'_B = (\dot{U}_B + \dot{U}_0); \dot{U}'_C = (\dot{U}_C + \dot{U}_0). \quad (1)$$

Theo định luật Kirchoff 1, xét điều kiện mạng

trung tính cách ly hoàn toàn  $Y_n=0$ , ta nhận được:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{i}^{(1)} = 0. \quad (2)$$

Mặt khác:

$$\dot{I}_A = (\dot{U}'_A \cdot Y_A); \dot{I}_B = (\dot{U}'_B \cdot Y_B); \dot{I}_C = (\dot{U}'_C \cdot Y_C); \dot{i}^{(1)} = (\dot{U}_0 \cdot Y_C); \dot{i}^{(1)} = (\dot{U}_0 \cdot y). \quad (3)$$

Và khi mạng ở trạng thái đối xứng:

$$Y_A=Y_B=Y_C=Y. \quad (4)$$

Sau khi thay thế các giá trị và biến đổi biểu thức, ta nhận được:

$$\dot{U}_0 = -\dot{U}_A \cdot \left( \frac{y}{3Y + y} \right). \quad (5)$$

Thay  $Y=1/R+j\omega C$ ;  $y=j\omega C_d$  vào biểu thức (5); coi điện áp pha A có pha đầu bằng 0,0, ta nhận được:

$$U_0 = \left[ \frac{U_f \cdot j \cdot \omega \cdot C \cdot d}{3 \cdot (1/R + j \cdot \omega \cdot C) + j \cdot \omega \cdot C \cdot d} \right]. \quad (6)$$

Ví dụ: xét trường hợp khi điện trở cách điện của mạng lý tưởng (cách điện tuyệt đối)  $R=\infty$ . Nếu chọn điện dung  $C_d=3\% C$  ( $C$  - Trị số điện dung 1 pha của lưới điện cao áp). Khi ấy điện áp thứ tự không giữa điểm trung tính của mạng so với đất sẽ lớn nhất (cực đại) xác định được như sau:

$$U_{0max} = U_f \cdot \left( \frac{0,03 \cdot j \cdot \omega \cdot C}{3 \cdot j \cdot \omega \cdot C + 0,03 \cdot j \cdot \omega \cdot C} \right) \approx (0,01 \cdot U_f). \quad (7)$$

Nếu mạng điện áp  $U_d=1140$  V thì  $U_0$  sẽ có giá trị cực đại bằng  $660V \times 0,01=6,6$  V.

Theo lý thuyết, từ biểu thức (4), khi điện trở cách điện của mạng giảm tới 0 ( $1/R_f \rightarrow \infty$ ) thì:

$$U_0 = U_f \cdot [j\omega C_d / (j\omega C_d + \infty)] = 0. \quad (8)$$

Điều này nghĩa là khi điện trở cách điện của mạng giảm từ  $\infty$  đến  $0k\Omega$  thì điện áp thứ tự không do tụ điện  $C_d$  tạo ra cho mạng sẽ biến thiên theo hàm Hyperbol từ giá trị  $U_{0max}$  đến 0,0 V.

Như vậy ta thấy rằng điện áp thứ tự không  $U_0$  hình thành khi nối tụ điện  $C_d$  vào 1 pha bất kỳ của lưới điện và có giá trị từ 3 % đến 10 % điện dung riêng của 1 pha trong mạng thì điện áp thứ tự không đo được sẽ thay đổi từ 3 % điện áp pha đến 0V. Sử dụng mạch đo điện áp  $U_0$  giữa trung tính của mạng với đất biến đổi ngược ra trị số điện trở cách điện của pha so với đất  $R_f=f(U_0)$ , ta có nguyên lý đo kiểm tra liên tục điện trở cách điện của mạng điện ba pha trung tính cách ly so với đất.

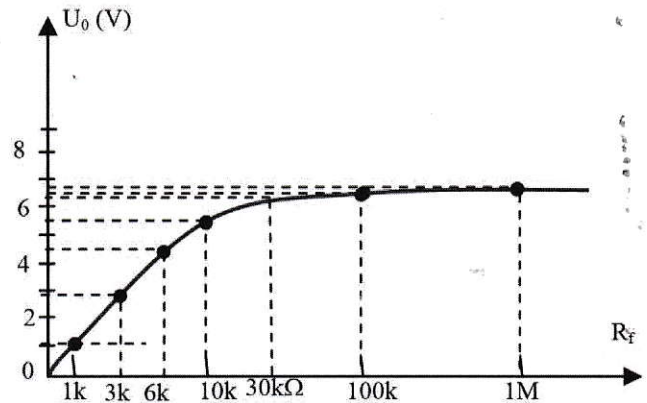
### 3. Khảo sát đặc tuyến cách điện đối xứng của mạng điện trung tính cách ly theo giá trị điện áp $U_0$

Để xây dựng mối quan hệ phụ thuộc của điện áp  $U_0$  theo tham số điện trở cách điện đối xứng  $R$  của mạng điện ba pha trung tính cách ly khi nối tụ điện  $C_d$  vào mạng, tiến hành xây dựng mô hình

mạng điện ba pha cấp điện áp 1140 V với các tham số  $C_f=0,5 \mu\text{F}$ . Tự điện  $C_d$  được chọn bằng 3 % điện dung pha (15 nF). Điện trở cách điện mỗi pha  $R_f$  thay đổi từ 1 k $\Omega$  đến 10 M $\Omega$ . Để xác định mối quan hệ của điện áp  $U_o$  theo  $R_f$ , sử dụng phương pháp mô phỏng mạch điện ba pha trên phần mềm ELECTRIC WORKBENCHS. Bằng cách giả lập các thông số: nguồn điện ba pha trung tính cách ly, điện trở cách điện pha  $R_f$ , điện dung riêng của mạng  $C_d$  và điện dung bổ sung  $C_d$ ; ta tiến hành mô phỏng mạng để lấy các giá trị điện áp  $U_o$  theo tham số cách điện  $R_f$ . Tiến hành xây dựng đồ thị  $U_o=f(R_f)$  trên cơ sở kết quả mô phỏng mạch điện trên phần mềm ELECTRONIC WORKBENCHS ta có đồ thị mối quan hệ giữa  $U_o$  và  $R_f$  như trong hình H.2.

Từ kết quả thu được cho thấy giá trị của điện áp  $U_o$  thay đổi rất mạnh khi điện trở cách điện của pha

so với đất giảm đáng kể trong vùng điện trở thấp (nhỏ hơn 30 k $\Omega$ ).



H.2. Đồ thị quan hệ điện áp  $U_o$  theo  $R_f$

Bảng 1. Số liệu mô phỏng mạch ba pha

| Số liệu đo $U_o$ theo điện trở pha $R_f$ |             |               |              |              |             |             |             |
|------------------------------------------|-------------|---------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 10M $\Omega$                             | 1M $\Omega$ | 100k $\Omega$ | 30k $\Omega$ | 10k $\Omega$ | 6k $\Omega$ | 3k $\Omega$ | 1k $\Omega$ |
| 6,53V                                    | 6,53V       | 6,52V         | 6,4V         | 5,5V         | 4,5V        | 2,8V        | 1,0V        |

#### 4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu trên, ta có thể dùng điện áp  $U_o$  trong lưới điện ba pha trung tính cách ly để kiểm tra cách điện đối xứng của mạng so với đất mà không cần bất kỳ nguồn điện bên ngoài nào đặt vào lưới điện. Ở vùng điện trở cách điện đối xứng có giá trị thấp, điện áp  $U_o$  giảm rất nhanh. Sử dụng mối quan hệ này có thể xây dựng mạch đo kiểm tra liên tục điện trở cách điện của mạng điện ba pha trung tính cách ly ở mỏ hầm lò thông qua trị số điện áp  $U_o$  đo được. Kết hợp với mạch ngưỡng điện áp thấp dùng khuếch đại thuật toán OA có thể thiết lập được thiết bị tự động đo cách điện khi mạng đối xứng và cắt bảo vệ khi mạng điện xảy ra rò đối xứng ở chế độ cách điện cả ba pha so với đất rất thấp. □

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Цапенко Е.Ф., Сычев Л.И., Кулешов П.Н. Шахтные кабели и электро-безопасность сетей. Изд. Москва "Недра" 1988.
2. Лейбов Р.М. и Озерной М.И. Электрификация подземных горных работ. Изд. Москва "Недра", 1972.

Ngày nhận bài: 25/09/2019

Ngày gửi phản biện: 18/11/2019

Ngày nhận phản biện: 25/03/2020

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/06/2020

**Từ khóa:** kiểm tra cách điện; lưới điện trung tính cách ly; điện áp thử tự không; thiết bị tự động đo cách điện

**Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo:** các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam

**Tóm tắt:** Bài báo đưa ra các giải pháp để đo lường và giám sát cách điện liên tục của mạng lưới cung cấp điện ba pha 1140 V với cách ly trung tính với đất tại các mỏ để cảnh báo sớm về việc giảm cách điện của mạng cáp xuống mức thấp gây nguy hiểm cho an toàn vận hành

**Solution of continuous measurement and testing of insulation resistance of neutral 1140 V mine electrical network isolated in symmetry mode**

#### SUMMARY

The paper offers solutions to measure and monitor the continuous insulation of 1140 V three-phase power supply network with neutral isolation from earth at the mines in order to early warning about the reduction of insulation of cable network to the low levels cause danger for operational safety.