



## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



# Measurement and automatic monitoring insulation resistance of AC/DC mixed unearthed networks



Anh Cam Thi Kim <sup>1,\*</sup>, Giang Truong Nguyen <sup>1</sup>, Sy Tien Nguyen <sup>1</sup>, Quan Van Nguyen <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> Ministry of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 15<sup>th</sup> Sept. 2021

Revised 02<sup>nd</sup> Jan. 2022

Accepted 08<sup>th</sup> Feb. 2022

#### Keywords:

Automatic monitoring,  
Diode rectifier,  
Insulation resistive,  
Unearthed network.

### ABSTRACT

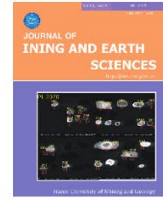
Where the danger of electric shock is high, for example underground mines or medical equipment directly connected to a patient, special ungrounded power systems (unearthed networks) may be used to minimize possible leakage current to the ground. In mixed unearthed networks (AC/DC-IT) comprising alternating and direct current circuits, AC part of system is connected with DC part through rectifier valves. Commutation of the valves causes cyclic variation of configuration of the entire galvanically connected network. A distinct feature of AC/DC-IT systems is that voltages between all points of AC side and ground may have mean value different from zero. This characteristic parameter can be used as a signal to determine fault and position to ground or decrease in insulation resistance. However, it also affects the results of the network equivalent insulation resistance measurements when a DC source is used to check insulation. The paper presents a solution to eliminate this effect and proposes a device model to measure and monitor insulation resistance. The results of this study can be applied in the design and manufacture of automatic resistance measuring and monitoring devices for AC/DC mixed unearthed networks.

Copyright © 2022 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

E - mail: [kimthicamanh@humg.edu.vn](mailto:kimthicamanh@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).08



## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>

# Đo và giám sát tự động điện trở cách điện các mạng điện hỗn hợp xoay chiều/một chiều cách ly với đất (AC/DC-IT)

Kim Thị Cẩm Ánh <sup>1,\*</sup>, Nguyễn Trường Giang <sup>1</sup>, Nguyễn Tiến Sỹ <sup>1</sup>, Nguyễn Văn Quân <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

#### Quá trình:

Nhận bài 15/9/2021

Sửa xong 02/01/2022

Chấp nhận đăng 08/02/2022

#### Từ khóa:

Chính lưu điôt,  
Điện trở cách điện,  
Giám sát tự động,  
Mạng cách ly.

### TÓM TẮT

Ở những nơi có nguy cơ điện giật cao như mỏ hầm lò, thiết bị y tế nối trực tiếp với bệnh nhân, những hệ thống cung cấp điện không nối đất có thể được sử dụng để giảm thiểu dòng điện rò xuống đất. Trong các mạng hỗn hợp xoay chiều/một chiều cách ly với đất (AC/DC-IT) bao gồm phần mạch xoay chiều và một chiều, phần mạch xoay chiều của hệ thống được nối với phần mạch một chiều thông qua các van chỉnh lưu. Sự chuyển mạch của các van gây ra sự thay đổi theo chu kỳ cấu hình của toàn bộ mạng có liên kết với nhau về điện. Một đặc tính khác biệt của hệ thống xoay chiều/một chiều cách ly là điện áp giữa tất cả các điểm của phần mạch xoay chiều và đất có thể có giá trị trung bình khác không. Tham số đặc trưng này có thể được sử dụng làm tín hiệu để xác định lỗi và vị trí chạm đất hay suy giảm điện trở cách điện. Tuy nhiên, nó cũng làm ảnh hưởng đến kết quả đo điện trở cách điện tương đương của mạng khi sử dụng nguồn đo một chiều để kiểm tra cách điện. Bài báo trình bày một giải pháp để loại bỏ ảnh hưởng đó và đề xuất một mô hình thiết bị đo và giám sát điện trở cách điện. Kết quả nghiên cứu này có thể áp dụng trong việc thiết kế, chế tạo các thiết bị đo và giám sát tự động điện trở cách điện các mạng hỗn hợp xoay chiều/một chiều cách ly.

© 2022 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Trong những thập kỷ gần đây, với sự ra đời và phát triển mạnh mẽ của kỹ thuật biến đổi dựa trên các thiết bị điện tử bán dẫn công suất, một loại mạng điện mới được gọi là mạng điện hỗn hợp chứa cả dòng một chiều và xoay chiều cách ly

với đất (AC/DC-IT) đã, đang và ngày càng được sử dụng rộng rãi trong thực tế (Kim, 2021; Olszowiec, 2016a).

Tương tự như các mạng điện đơn xoay chiều và một chiều cách ly, điện trở cách điện của mạng điện hỗn hợp cách ly là yếu tố quyết định đến độ tin cậy và an toàn vận hành mạng. Đo và giám sát liên tục điện trở cách điện của mạng là một công việc không thể thiếu để phòng ngừa và cho phép tránh được các sự cố có thể xảy ra do suy giảm điện trở cách điện. Thông tin về điện trở cách điện

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [kimthicamanh@humg.edu.vn](mailto:kimthicamanh@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).08

hiện tại giúp cho công việc vận hành an toàn hệ thống cung cấp điện (Olszowiec, 2013; 2016b).

Do có những đặc điểm riêng khác với các mạng đơn xoay chiều và một chiều cách ly nên các phương pháp đo kiểm tra điện trở cách điện đang áp dụng cho các mạng điện đơn là không phù hợp để áp dụng cho mạng hỗn hợp. Vì vậy, cần nghiên cứu phát triển hoặc đề xuất những phương pháp đo và kiểm tra điện trở cách điện mới phù hợp. Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đề xuất một phương pháp và xây dựng mô hình một thiết bị có khả năng đo và giám sát tự động điện trở cách điện của các mạng điện hỗn hợp xoay chiều/một chiều cách ly với đất.

## 2. Kết quả nghiên cứu

### 2.1. Đặc điểm của mạng điện hỗn hợp AC/DC-IT

Trong các mạng điện xoay chiều hiện đại thường có các bộ chỉnh lưu bán dẫn nối trực tiếp vào các pha của mạng. Các mạng xoay chiều một pha hoặc ba pha cung cấp dòng điện một chiều thông qua bộ chỉnh lưu điều khiển hoặc không điều khiển. Mạng điện này chứa cả hai loại dòng điện là dòng xoay chiều và dòng một chiều nên

được gọi là mạng điện hỗn hợp (mạng đôi hay mạng kép). Thường gặp các mạng điện hỗn hợp được cách ly với đất (AC/DC-IT).

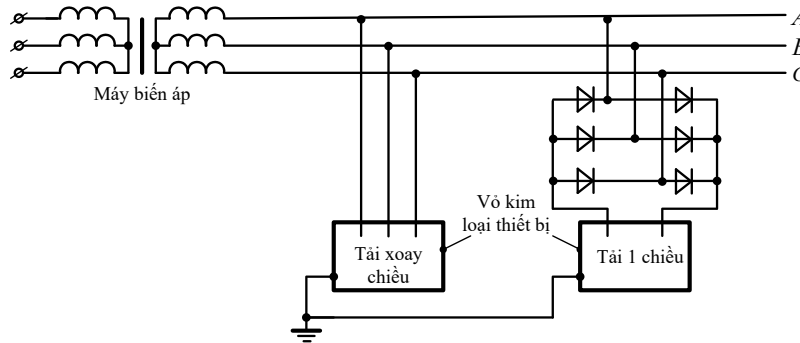
Hình 1 là sơ đồ nguyên lý một mạng AC/DC-IT ba pha hay gặp trong thực tế.

Về phương diện an toàn điện, mạng điện Hình 1 có thể thay thế bằng sơ đồ tương đương đơn giản như ở Hình 2 (Olszowiec, 2014a, b; 2017).

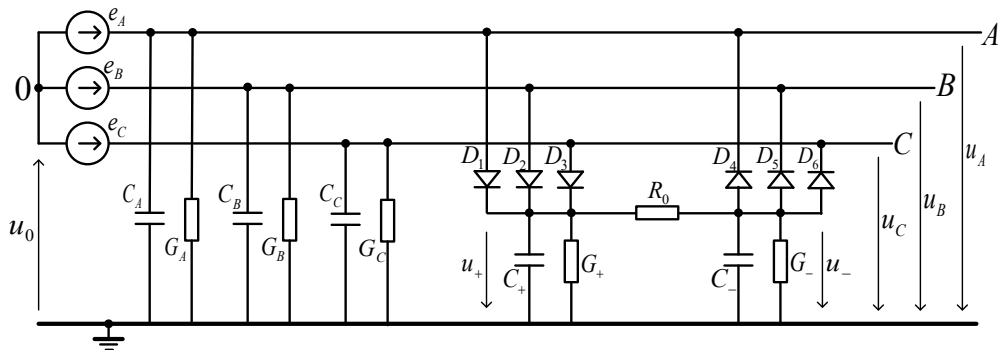
Trong sơ đồ Hình 2 ký hiệu  $C_A, G_A, C_B, G_B, C_C, G_C$  tương ứng là điện dung và điện dẫn cách điện các pha A, B và C của phần mạch xoay chiều so với đất;  $C_+, G_+, C_-, G_-$  tương ứng là điện dung và điện dẫn cách điện các cực dương và cực âm của phần mạch một chiều so với đất.

Trường hợp không có bộ chỉnh lưu diôt (mạng đơn AC-IT), trị số trung bình của điện áp giữa một pha bất kỳ và đất bằng không. Trong khi đó, đối với mạng hỗn hợp Hình 2, trị số trung bình của điện áp các pha so với đất được xác định theo biểu thức (1) (Olszowiec, 2017).

$$U_{Atb} = U_{Btb} = U_{Ctb} = \frac{3\sqrt{6}E(G_+ - G_-)}{2\pi G_{td}}, V \quad (1)$$



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý mạng điện AC/DC-IT ba pha.



Hình 2. Sơ đồ tương đương mạng AC/DC-IT ba pha về phương diện an toàn điện.

Trong đó:  $E$  - sức điện động của nguồn;  $G_{td} = G_{Atb} + G_{Btb} + G_{Ctb} + G_+ + G_-$  - độ dẫn cách điện tương đương của toàn mạng so với đất.

Từ biểu thức (1) có nhận xét rằng, trong các mạng AC/DC-IT ba pha có chỉnh lưu, giá trị trung bình của điện áp pha không phụ thuộc vào điện dung của mạng so với đất ở cả hai phía của bộ chỉnh lưu mà chỉ xuất hiện trong trường hợp không đối xứng của độ dẫn cách điện  $G_+$ ,  $G_-$  của các cực phần mạch một chiều so với đất. Do đó, đặc điểm này có thể được sử dụng để phát hiện các sự cố chạm đất hoặc suy giảm điện trở cách điện trong các mạng AC/DC-IT, đồng thời có thể được sử dụng để kiểm tra điện trở cách điện tương đương của mạng hỗn hợp so với đất. Tuy nhiên, đặc điểm này cũng làm ảnh hưởng đến kết quả đo điện trở cách điện tương đương của mạng khi sử dụng nguồn đo một chiều để kiểm tra cách điện.

## 2.2. Các phương pháp đo và giám sát điện trở cách điện mạng AC/DC-IT

Để đo và giám sát điện trở cách điện mạng AC/DC-IT, có thể sử dụng 2 nhóm phương pháp là nhóm không sử dụng nguồn đo phụ (phương pháp đọc vôn kế 2 lần hoặc phương pháp đọc vôn kế 3 lần) và nhóm có sử dụng nguồn đo phụ (nguồn một chiều, nguồn xoay chiều tần số khác tần số của mạng, nguồn xung vuông góc) (Olszowiec, 2014).

Ưu điểm của các phương pháp không sử dụng nguồn đo phụ là cấu trúc đơn giản, không cần nguồn tín hiệu thử nghiệm phụ, đáp ứng nhanh và không nhạy cảm với điện dung của mạng

so với đất. Tuy nhiên, chúng lại có nhược điểm là độ nhạy thấp, chế độ làm việc bị ảnh hưởng khi điện áp lưới dao động, độ chính xác phụ thuộc vào việc chọn vôn kế có điện trở trong phù hợp với điện trở cách điện của mạng.

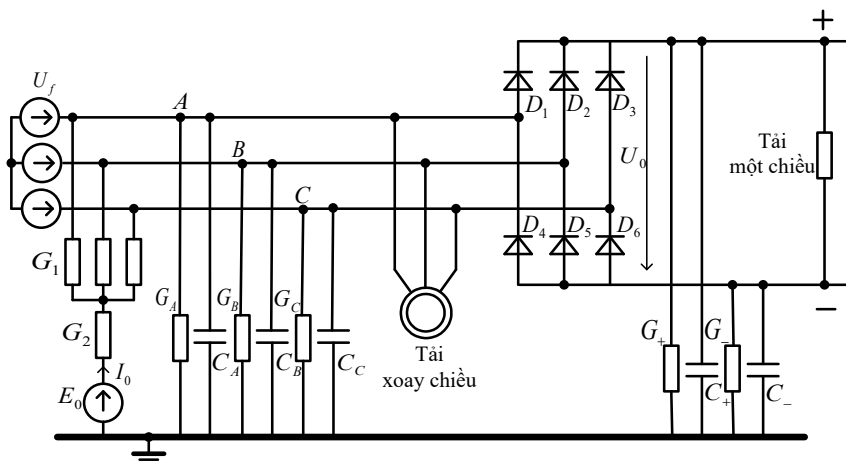
Các phương pháp sử dụng nguồn đo dạng xoay chiều hoặc dạng xung vuông góc có ưu điểm là độ nhạy và độ chính xác cao, chế độ làm việc không bị ảnh hưởng do sự dao động của điện áp lưới. Nhược điểm của các phương pháp này là cấu trúc thiết bị đo phức tạp, chế độ làm việc bị ảnh hưởng do điện dung cách điện của mạng và nhiễu do chuyển mạch của các phần tử bán dẫn.

Phương pháp dùng nguồn một chiều để đo và giám sát liên tục điện trở cách điện của mạng AC/DC-IT có ưu điểm là độ nhạy cao, không bị ảnh hưởng do dao động của điện áp lưới và không nhạy cảm với điện dung của mạng so với đất. Tuy nhiên, do đặc điểm của mạng AC/DC-IT là sự mất đối xứng của điện trở cách điện cực dương và cực âm của phần mạch một chiều so với đất, làm xuất hiện thành phần một chiều ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả đo.

## 2.3. Áp dụng phương pháp dùng nguồn một chiều đơn cực để đo và giám sát tự động điện trở cách điện mạng AC/DC-IT

### 2.3.1. Tính dòng qua cơ cấu đo

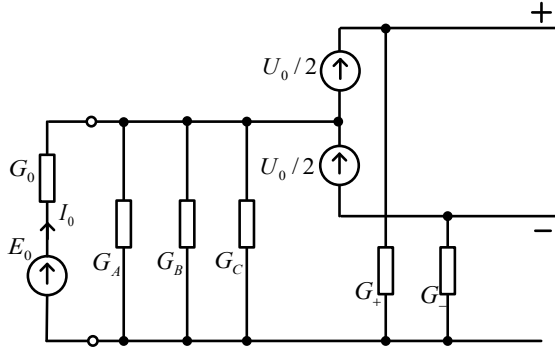
Về phương diện an toàn điện, một mạng điện hỗn hợp AC/DC-IT khi sử dụng nguồn một chiều để đo điện trở cách điện có thể thay thế bằng sơ đồ tương đương như trên Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ mạng AC/DC-IT dùng nguồn một chiều để đo kiểm tra điện trở cách điện.

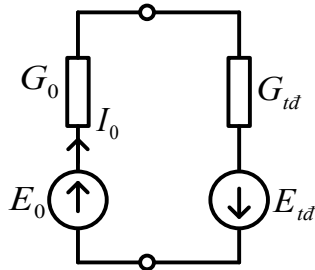
Trong sơ đồ Hình 3  $U_f$  - điện áp pha của nguồn,  $V$ ;  $U_0$  - trị số trung bình của điện áp chính lưu cầu ba pha,  $V$ ;  $E_0$  - sức điện động của nguồn một chiều kiểm tra cách điện  $V$ ;  $G_1$  - điện dẫn mạch tạo trung tính để nối nguồn kiểm tra cách điện vào lưới,  $S$ ;  $G_2$  - điện dẫn hạn chế mắc nối tiếp với nguồn  $E_0, S$ .

Từ sơ đồ Hình 3, giả thiết nếu các van bán dẫn là lý tưởng thì sẽ có sơ đồ tương đương để tính dòng một chiều qua cơ cấu đo điện trở cách điện như Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ tương đương tính dòng.

Để tính dòng qua cơ cấu đo  $I_0$ , theo phương pháp nguồn tương đương, sơ đồ Hình 4 được thay thế bằng sơ đồ Têvenin như ở Hình 5.



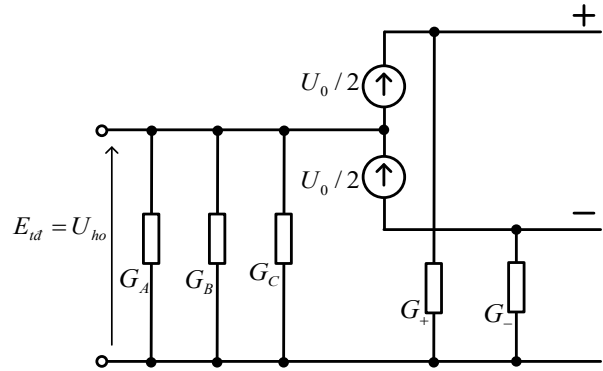
Hình 5. Sơ đồ Têvenin.

Trong sơ đồ Hình 5, các ký hiệu  $E_0$  và  $G_0$  - sức điện động và điện dẫn trong của nguồn một chiều kiểm tra cách điện,  $V$ ,  $E_{td}$  và  $G_{td}$  - sức điện động và điện dẫn của nguồn tương đương Têvenin,  $V$ .

Từ sơ đồ Hình 5, có biểu thức tổng quát để tính dòng qua cơ cấu đo kiểm tra cách điện:

$$I_0 = \frac{E_0 + E_{td}}{1/G_0 + 1/G_{td}}, \quad (A) \quad (2)$$

Từ công thức (2) sẽ tính được các thông số của nguồn tương đương Têvenin. Sơ đồ tính  $E_{td}$  và  $G_{td}$  nêu trên Hình 6.



Hình 6. Sơ đồ tính  $E_{td}$  và  $G_{td}$ .

Từ sơ đồ Hình 6 tính được điện dẫn của nguồn tương đương chính bằng tổng điện dẫn cách điện của mạng:

$$G_{td} = G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- = G_{cd\Sigma}, \quad S \quad (3)$$

Áp dụng phương pháp xếp chồng tính được sức điện động của nguồn tương đương  $E_{td}, V$ :

$$U_{1ho} = \frac{U_0 G_+ / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_-} = \frac{U_0 G_+ / 2}{G_{cd\Sigma}},$$

$$(V) U_{2ho} = \frac{-U_0 G_- / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_-} = \frac{-U_0 G_- / 2}{G_{cd\Sigma}},$$

(V)

$$E_{td} = U_{ho} = U_{1ho} + U_{2ho} = \frac{U_0 (G_+ - G_-)}{2G_{cd\Sigma}}, \quad (V) \quad (4)$$

Từ (2), (3) và (4) có dòng qua cơ cấu đo bằng:

$$I_0 = \frac{E_0 + E_{td}}{1/G_0 + 1/G_{td}} = \frac{E_0 + U_0 (G_+ - G_-) / 2G_{cd\Sigma}}{1/G_0 + 1/G_{cd\Sigma}}, \quad (A) \quad (5)$$

$$\text{Khi } G_+ = G_- \text{ có: } I_0 = \frac{E_0}{1/G_0 + 1/G_{cd\Sigma}}, \quad (A) \quad (6)$$

Từ các biểu thức (5) và (6) có nhận xét:

Trong mạng điện hỗn hợp AC/DC-IT, sự xuất hiện thành phần  $E_{td}$  đã làm thay đổi đáng kể dòng đo một chiều. Nếu  $G_+$  và  $G_-$  khác nhau nhiều thì  $E_{td}$  có thể lớn hơn nhiều nguồn công tác một chiều  $E_0$  của thiết bị đo.

Nếu  $G_+ \neq G_-$  tức là phần mạch điện một chiều có điện trở cách điện không đối xứng, dòng qua cơ cấu đo không phản ánh đúng điện trở cách điện thực tế của mạng. Chỉ trường hợp cách điện phần mạch điện một chiều đối xứng ( $G_+ = G_-$ ) thì dòng qua cơ cấu đo mới tỷ lệ với điện trở cách điện của mạng.

### 2.3.2. Phương pháp đo điện trở cách điện mạng AC/DC-IT

Kết quả trên cho thấy rằng, khi sử dụng nguồn một chiều để đo điện trở cách điện các mạng AC/DC-IT, nếu điện trở cách điện giữa cực dương và cực âm phần mạng một chiều không bằng nhau thì kết quả đo không phản ánh đúng điện trở cách điện. Vì vậy, cần loại bỏ ảnh hưởng của thành phần  $E_{td}$ . Có thể dùng nguồn một chiều đảo cực tính để khử ảnh hưởng của  $E_{td}$  (Artemiev và nnk., 2015).

Nhược điểm của phương pháp dùng nguồn một chiều đảo cực tính là tốc độ đo chậm vì quá trình phóng, nạp của điện dung cách điện khi đảo cực tính nguồn đo. Mặt khác, khi đảo cực nguồn đo với cực dương nối lưới, cực âm nối đất, kết quả đo sẽ không phản ánh đúng điện trở cách điện thực tế của mạng. Vì vậy, để loại trừ ảnh hưởng của  $E_{td}$ , nhóm tác giả đề xuất phương pháp sử dụng nguồn một chiều đơn cực với sơ đồ nguyên lý mạch đo như Hình 7a, nội dung của phương pháp được thể hiện trong các Hình 7b và 7c.

Trong sơ đồ Hình 7, các ký hiệu  $R_{td}$  - điện trở cách điện tương đương của mạng cần đo,  $\Omega$ ;  $R_0$  - điện trở hạn chế dòng,  $\Omega$ ;  $R_{lm}$  - điện trở lấy mẫu dòng đo,  $\Omega$ ;  $E_{td}$  - sức điện động của nguồn tương đương Têvenin, V;  $E_0$  - nguồn đo một chiều, V.

Từ sơ đồ Hình 7b có:

$$I_1 = \frac{E_{td}}{R_0 + R_{lm} + R_{td}}, (A)$$

Suy ra:

$$U_{do1} = I_1 R_{lm} = \frac{E_{td}}{R_0 + R_{lm} + R_{td}} R_{lm}, (V) \quad (7)$$

Từ sơ đồ Hình 7c lại có:

$$I_2 = \frac{E_{td} + E_0}{R_0 + R_{lm} + R_{td}}, (A)$$

Suy ra:

$$U_{do2} = I_2 R_{lm} = \frac{E_{td} + E_0}{R_0 + R_{lm} + R_{td}} R_{lm}, (V) \quad (8)$$

Từ (7) và (8) ta có:

$$U_{do2} - U_{do1} = \frac{E_{td} + E_0}{R_0 + R_{lm} + R_{td}} R_{lm} - \frac{E_{td}}{R_0 + R_{lm} + R_{td}} R_{lm}, (V)$$

Hay

$$U_{do2} - U_{do1} = \frac{E_0}{R_0 + R_{lm} + R_{td}} R_{lm}, (V)$$

Vậy điện trở cách điện tương đương của mạng được tính theo biểu thức:

$$R_{td} = \frac{E_0}{U_{do2} - U_{do1}} R_{lm} - (R_0 + R_{lm}) \quad (9)$$

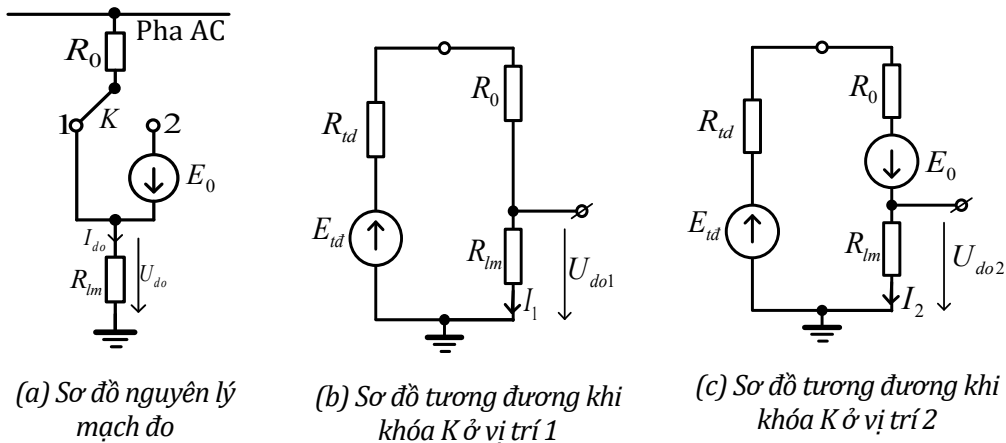
Trường hợp  $E_{td} = 0$  có  $U_{do1} = 0$ , biểu thức tính điện trở cách điện tương đương có dạng:

$$R_{td} = \frac{E_0}{U_{do2}} R_{lm} - (R_0 + R_{lm}), (\Omega) \quad (10)$$

### 2.3.3. Mô phỏng kiểm tra kết quả

Hai biểu thức (9) và (10) cho thấy nếu đo được trị số trung bình của điện áp trên điện trở  $R_{lm}$  sẽ xác định được trị số điện trở cách điện tương đương của mạng AC/DC-IT.

Để kiểm tra độ chính xác của phương pháp đo trên, nhóm nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng trên phần mềm Electronics Workbench. Mạch đo được chọn  $R_0 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{lm} = 3 \text{ k}\Omega$ , nguồn đo  $E_0 = 48 \text{ V}$ . Các thông số cách điện của mạng được



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý mạch đo sử dụng nguồn một chiều đơn cực.

chọn  $R_A = R_B = 240 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_+ = 400 \text{ k}\Omega$ ,  $R_- = 600 \text{ k}\Omega$ . Kết quả mô phỏng có  $U_{do1} = -12,38 \text{ mV}$ ;  $U_{do2} = 1372 \text{ mV}$ .

Theo (9) tính được:

$$R_{tt} = \frac{E_0}{U_{do2} - U_{do1}} R_{lm} - (R_0 + R_{lm}) = \frac{48}{1,372 - (-0,01238)} \cdot 3 - (100 + 3) = 1,017 \text{ k}\Omega$$

Từ thông số cách điện của mạng có  $R_{td} = 240 // 240 // 1 // 400 // 600 = 0,987 \text{ k}\Omega$ .

Ta thấy  $R_{tt} = 1,017 \text{ k}\Omega$  theo kết quả đo rất gần với kết quả tính theo thông số của mạng  $R_{td} = 0,987 \text{ k}\Omega$ .

Bảng 1 là kết quả tính toán điện trở cách điện theo kết quả mô phỏng cho các trường hợp thông số cách điện của mạng khác nhau.

Bảng 1. Kết quả tính điện trở cách điện theo kết quả mô phỏng.

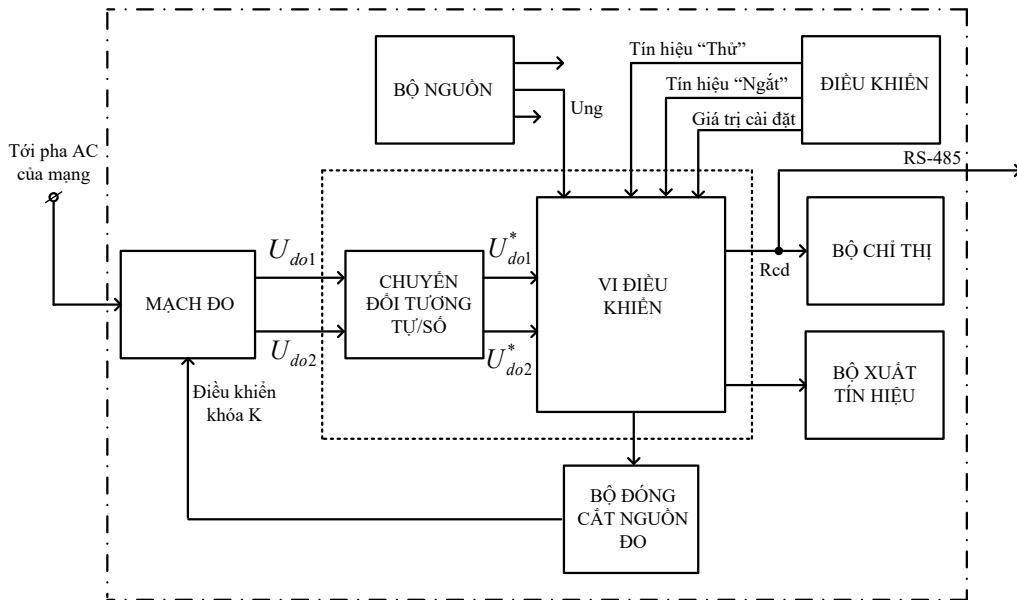
TT	$R_A, \text{ k}\Omega$	$R_B, \text{ k}\Omega$	$R_C, \text{ k}\Omega$	$R_+, \text{ k}\Omega$	$R_-, \text{ k}\Omega$	$U_1, \text{ mV}$	$U_2, \text{ mV}$	$R_{tt}, \text{ k}\Omega$	$R_{td}, \text{ k}\Omega$
1	240	240	1	400	600	-12,3	1372,0	1,02	0,987
2	200	200	200	400	400	2,5	937,3	51,04	50
3	200	200	200	400	600	-369,3	555,3	52,64	51,97
4	200	200	200	600	400	370,3	1296,0	52,55	51,97
5	240	240	240	600	400	405,3	1291,0	59,58	60
6	240	240	80	600	400	312,0	1311,0	41,14	40
7	240	80	80	400	600	-247,2	828,9	30,81	30
8	200	200	200	200	200	2,0	1007,0	40,28	40

Từ Bảng 1 thấy rằng, điện trở cách điện tính theo số liệu đo được ( $R_{tt}$ ) rất gần với giá trị điện trở cách điện tương đương của mạng ( $R_{td}$ ). Vậy phương pháp đo điện trở cách điện mạng AC/DC-IT sử dụng nguồn một chiều đơn cực có thể áp dụng trong thiết kế, chế tạo thiết bị đo và giám sát tự động điện trở cách điện của các mạng hỗn hợp xoay chiều/một chiều cách ly.

2.3.4. Xây dựng sơ đồ chức năng thiết bị đo và giám sát tự động điện trở cách điện mạng AC/DC-IT

Sơ đồ chức năng của thiết bị đo và giám sát tự động điện trở cách điện mạng AC/DC-IT theo phương án dùng nguồn đo một chiều đơn cực được đề xuất trên Hình 8.

Trong sơ đồ Hình 8, khối mạch đo có sơ đồ nguyên lý như Hình 7a; khối đóng cắt nguồn đo có



Hình 8. Sơ đồ chức năng thiết bị đo và giám sát tự động điện trở cách điện mạng AC/DC-IT.

nhệm vụ điều khiển khóa K trong khối mạch đo; khối bộ chỉ thị dùng để hiển thị kết quả đo điện trở cách điện; khối xuất tín hiệu cho ra tín hiệu cảnh báo hay báo động tùy theo mức điện trở cách điện đo được so với giá trị cài đặt; khối bộ nguồn tạo nguồn đo điện trở cách điện 48 V và nguồn nuôi cho các khối khác; bộ vi điều khiển có nhiệm vụ điều khiển mạch đo qua bộ đóng cắt nguồn đo, cung cấp thông tin về giá trị điện trở cách điện đến bộ phận hiển thị, điều khiển bộ phận báo động,...

Thiết bị đo và giám sát tự động điện trở cách điện mạng AC/DC-IT hoạt động theo nguyên lý sau:

Điện áp tín hiệu đo từ pha của mạng đang giám sát đi vào mạch đo. Ở đầu ra của mạch đo, thu được hai điện áp: điện áp  $U_{do1}$  do thành phần trung bình của điện áp pha gây ra (khi khóa K ở vị trí 1), điện áp  $U_{do2}$  do đồng thời thành phần trung bình của điện áp pha và nguồn điện áp phụ đưa vào mạng (khi khóa K ở vị trí 2).

Tiếp theo, các tín hiệu  $U_{do1}$  và  $U_{do2}$  được bộ chuyển đổi tương tự/số chuyển thành các tín hiệu số  $U_{do1}^*$  và  $U_{do2}^*$ . Sau đó, các tín hiệu này được đưa vào vi điều khiển để tính toán điện trở cách điện theo công thức (9).

Sau khi tính toán giá trị điện trở cách điện trong vi điều khiển, kết quả được truyền đến khối hiển thị. Kết quả này cũng được so sánh với các giá trị được cài đặt và nếu kết quả so sánh là đúng, vi điều khiển sẽ kích hoạt bộ phận cảnh báo hoặc báo động.

### 3. Thảo luận

Từ những kết quả nghiên cứu trên đây cho phép rút ra những nhận xét sau:

- Đặc điểm khác biệt của các mạng AC/DC-IT là điện áp giữa tất cả các điểm của phía mạch xoay chiều và đất có thể có giá trị trung bình khác không. Điều này là không thể có trong các mạng điện xoay chiều thuần túy.

- Tham số đặc trưng là giá trị trung bình điện áp pha, có thể được sử dụng làm tín hiệu để xác định lỗi và vị trí chạm đất hay suy giảm điện trở cách điện. Tuy nhiên, nó cũng làm ảnh hưởng đến kết quả đo và giám sát điện trở cách điện của mạng khi sử dụng nguồn đo một chiều để kiểm tra điện trở cách điện.

- Các biểu thức (5) và (6) cho thấy rằng, do ảnh hưởng của giá trị trung bình điện áp pha, nếu phần mạch điện một chiều có điện trở cách điện

không đối xứng, dòng qua cơ cấu đo không phản ánh đúng điện trở cách điện thực tế của mạng. Chỉ trường hợp điện trở cách điện phần mạch điện một chiều đối xứng thì dòng qua cơ cấu đo mới tỷ lệ với điện trở cách điện của mạng.

- Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, phương pháp đo điện trở cách điện mạng AC/DC-IT sử dụng nguồn một chiều đơn cực có thể áp dụng trong thiết kế, chế tạo thiết bị đo và giám sát tự động điện trở cách điện của các mạng hỗn hợp xoay chiều/ một chiều cách ly.

- So với phương pháp dùng nguồn một chiều hai cực tính để kiểm tra điện trở cách điện mạng AC/DC-IT, phương pháp dùng nguồn một chiều đơn cực có nhiều ưu điểm như: thiết bị đo có cấu trúc đơn giản, tốc độ đo nhanh hơn và kết quả đo có độ chính xác cao hơn vì không phải đảo cực tính nguồn đo.

### 4. Kết luận

Phương pháp sử dụng nguồn một chiều đơn cực với nội dung được trình bày trong bài báo cho phép loại trừ được ảnh hưởng do giá trị trung bình của điện áp pha đến kết quả đo điện trở cách điện. Áp dụng phương pháp này, sơ đồ thiết bị được đề xuất trên Hình 8 cho phép đo và giám sát tự động điện trở cách điện các mạng điện hỗn hợp xoay chiều/một chiều cách ly với đất.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được Trường Đại học Mỏ - Địa chất hỗ trợ kinh phí thông qua đề tài cấp cơ sở mã số T21-08.

### Những đóng góp của tác giả

Kim Thị Cẩm Ánh: hình thành ý tưởng, triển khai các nội dung và hoàn thiện bản thảo; Nguyễn Trường Giang: mô phỏng, kiểm tra kết quả nghiên cứu; Nguyễn Tiến Sỹ: xây dựng sơ đồ chức năng của thiết bị, Nguyễn Văn Quân: xây dựng sơ đồ chức năng của thiết bị.

### Tài liệu tham khảo

Artemiev, A. V., Vorobiev, V. V., Gorscov, A. A., & Peretrexov, V. X. (2015). Các phương pháp tự động kiểm tra điện trở cách điện mạng điện đôi có trung tính cách ly. *Tạp chí Công nghệ thông minh hàng hải*, 3(29), 218-133.



- www.morintex.ru ISSN 2073-7173, tr. 128-133. (bản tiếng Nga).
- Kim, N. L. (2021). Điều kiện sử dụng an toàn thiết bị bảo vệ rò điện dùng dòng đo 1 chiều trong các mạng điện mỏ hỗn hợp. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, (4+5+6), 54-58.
- Olszowiec, P. (2013). Application of network voltages to insulation monitoring in unearthed AC circuits with rectifiers. *PAK*, 59(12), 1252-1255.
- Olszowiec, P. (2014a). *Insulation measurement and supervision in live AC and DC unearthed systems*. Second edition, Springer International Publishing Switzerland, 182pp.
- Olszowiec, P. (2014b). Unconventional methods of analysing diode rectifiers with asymmetrical supply. *Computational problems electrical engineering*, 4(2), 33-36.
- Olszowiec, P. (2016a). Modifications of diode rectifier circuits for continuous insulation measurement in live AC it networks. *UDC*, 621.317, pp. 43-46. DOI:10.20998/2074-272X.2016.2.08
- Olszowiec, P. (2016b). Kiểm tra cách điện của mạng có điện áp bằng các phương pháp hai vôn kế và ba vôn kế. *UDC*, 621.317, tr. 64-67. DOI:10.20998/2074-72X.2016.5.11. (bản tiếng Nga).
- Olszowiec, P. (2017). Voltages and currents in output of three - phase diode rectifiers. Riga technical university, *Power and electrical engineering*, 34, 25-29.