

# ĐIỀU KIỆN SỬ DỤNG AN TOÀN THIẾT BỊ BẢO VỆ RÒ ĐIỆN DÙNG DÒNG ĐO MỘT CHIỀU TRONG CÁC MẠNG ĐIỆN MỎ HỖN HỢP

**Kim Ngọc Linh**  
 Trường Đại học Mỏ - Địa chất  
 Email: kimngoclinh@humg.edu.vn

## TÓM TẮT

Từ mô hình tương đương mạng điện mỏ về phương diện an toàn điện giật, áp dụng phương pháp kinh điển phân tích mạch điện, đã xây dựng được biểu thức tính dòng qua cơ cấu đo của thiết bị bảo vệ rò sử dụng dòng đo một chiều để kiểm tra điện trở cách điện của các mạng điện mỏ có sử dụng các bộ biến đổi bán dẫn (mạng hỗn hợp). Trên cơ sở phân tích biểu thức có được, đã xác định được điều kiện sử dụng an toàn và không an toàn cho các thiết bị bảo vệ rò dùng dòng đo một chiều trong các mạng điện mỏ hỗn hợp. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở để đề xuất giải pháp mới kiểm tra điện trở cách điện các mạng điện mỏ có chứa các bộ biến đổi bán dẫn đang ngày càng được sử dụng nhiều trong các mạng điện mỏ hầm lò Việt Nam.

**Từ khóa:** mạng điện mỏ hỗn hợp; dòng đo một chiều; điện trở cách điện; nguồn tương đương Tevenin.

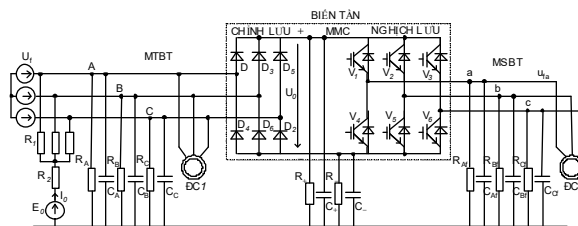
## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kiểm tra thường xuyên cách điện là công việc không thể thiếu để vận hành an toàn và tin cậy một hệ thống điện mỏ. Trong các mạng điện mỏ hầm lò điện áp đến 1140V có trung tính cách ly, thường sử dụng rộng rãi các thiết bị bảo vệ rò điện (rơle rò) dùng nguồn đo một chiều để kiểm tra điện trở cách điện của mạng. Ưu điểm của phương pháp kiểm tra điện trở cách điện bằng dòng đo một chiều là cấu trúc đơn giản, đáp ứng nhanh, độ chính xác cao và không nhạy cảm với điện dung của mạng so với đất. Tuy nhiên, trong các mạng điện mỏ hỗn hợp, tức là mạng có chứa cả phần mạch xoay chiều tần số công nghiệp, phần mạch một chiều và phần mạch xoay chiều có tần số có thể điều chỉnh, độ an toàn khi sử dụng rơle rò dùng nguồn đo một chiều cần phải được nghiên cứu, đánh giá một cách khách quan và khoa học. Nhiều nghiên cứu đã cho thấy, một trong những nguyên nhân chính cản trở việc vận hành an toàn các mạng điện mỏ hỗn hợp là các rơle rò hiện tại có nguyên lý làm việc dựa trên kết quả xếp chồng dòng đo một chiều lên mạng cần bảo vệ, có thể không hoạt động khi phát sinh rò hoặc khi có sự giảm dần điện trở cách điện ở phần mạch một chiều [3],[4]. Trên cơ

sở xây dựng và phân tích biểu thức tính dòng qua cơ cấu đo của thiết bị kiểm tra cách điện, mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đánh giá khả năng đảm bảo điều kiện an toàn của các thiết bị bảo vệ rò dùng dòng đo một chiều để kiểm tra điện trở cách điện và xác định điều kiện sử dụng chúng trong các mạng điện mỏ hỗn hợp.

## 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Về phương diện an toàn điện giật, một mạng điện mỏ hỗn hợp khi sử dụng nguồn một chiều để kiểm tra cách điện có thể thay thế bằng sơ đồ tương đương trên hình H.1 [1],[2].



**H.1. Sơ đồ tương đương mạng điện mỏ hỗn hợp dùng nguồn một chiều để kiểm tra cách điện**

Trong sơ đồ ký hiệu  $R_A, R_B, R_C, C_A, C_B, C_C$  là điện trở cách điện và điện dung các pha so với đất của phần mạch trước biến tần (MTBT);  $R_{Af}, R_{Bf}, R_{Cf}, C_{Af}, C_{Bf}, C_{Cf}$  là điện trở cách điện và điện dung

**Bảng 1. Điện trở cách điện phần MMC trong một chu kỳ làm việc của nghịch lưu**

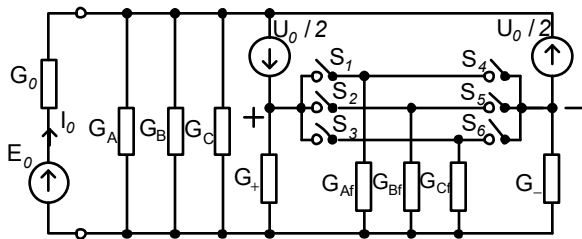
TT	Góc pha của điện áp pha $u_{af}$	Van dẫn	Điện trở cách điện nối giữa cực dương và đất	Điện trở cách điện nối giữa cực âm và đất
1	$0 \div \pi/3$	V1, V3, V5	$R_{+}, R_{Af}, R_{Cf}$	$R_{-}, R_{Bf}$
2	$\pi/3 \div 2\pi/3$	V1, V5, V6	$R_{+}, R_{Af}$	$R_{-}, R_{Bf}, R_{Cf}$
3	$2\pi/3 \div \pi$	V1, V2, V6	$R_{+}, R_{Af}, R_{Bf}$	$R_{-}, R_{Cf}$
4	$\pi \div 4\pi/3$	V2, V4, V6	$R_{+}, R_{Bf}$	$R_{-}, R_{Af}, R_{Cf}$
5	$4\pi/3 \div 5\pi/3$	V2, V3, V4	$R_{+}, R_{Bf}, R_{Cf}$	$R_{-}, R_{Af}$
6	$5\pi/3 \div 2\pi$	V3, V4, V5	$R_{+}, R_{Cf}$	$R_{-}, R_{Af}, R_{Bf}$

các pha so với đất của phần mạng sau biến tần (MSBT);  $R_{+}, R_{-}, C_{+}, C_{-}$  là điện trở cách điện và điện dung giữa cực dương (+) và cực âm (-) so với đất của phần mạch một chiều (MMC);  $U_f$  là điện áp pha cuộn thứ cấp của máy biến áp khu vực;  $U_0$  là trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu cầu ba pha ( $U_0 \approx 2,34U_f$ );  $E_0$  là sức điện động của nguồn một chiều kiểm tra cách điện;  $R_1$  là điện trở mạch tạo trung tính để nối nguồn kiểm tra cách điện vào lưới;  $R_2$  là điện trở trong của nguồn một chiều  $E_0$ .

Có sáu giai đoạn hoạt động của nghịch lưu trong một chu kỳ của điện áp pha phần MSBT (ví dụ  $u_{fa}$ ). Trong các giai đoạn này điện trở cách điện giữa cực dương và cực âm của phần MMC so với mặt đất được mô tả trong Bảng 1 [2].

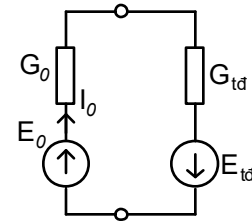
Bảng 1 cho thấy điện trở cách điện nhìn từ cực dương và cực âm phần MMC so với đất thay đổi theo chu kỳ làm việc của nghịch lưu.

Từ sơ đồ hình H.1, nếu giả thiết các van bán dẫn là lý tưởng ta có sơ đồ tương đương để tính dòng một chiều qua cơ cấu đo điện trở cách điện như hình H.2 [2]. Trong sơ đồ này để tiện phân tích mạch đã thay thế các điện trở cách điện bằng các điện dẫn cách điện tương ứng ( $G_i=1/R_i$ ), các van bán dẫn V1-V6 được thay thế bằng các chuyển mạch lý tưởng S1-S6.



**H.2. Sơ đồ tương đương tính dòng qua cơ cấu đo điện trở cách điện**

Theo phương pháp nguồn tương đương, sơ đồ H.2 có thể thay thế bằng sơ đồ đơn giản hình H.3.



**H.3. Sơ đồ tính dòng qua cơ cấu đo**

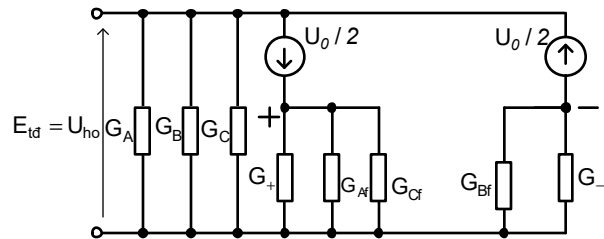
Trong sơ đồ (hình H.3) ký hiệu  $E_0$  và  $G_0 = 1/(R_2 + R_1/3)$  là sức điện động và điện dẫn trong của nguồn một chiều kiểm tra cách điện,  $E_{td}$  và  $G_{td}$  là sức điện động và điện dẫn của nguồn tương đương Têvenin.

Từ sơ đồ (hình H.3) có biểu thức tổng quát để tính dòng qua cơ cấu đo kiểm tra cách điện:

$$I_0 = \frac{E_0 + E_{td}}{1/G_0 + 1/G_{td}} \tag{1}$$

Ta đi tính các thông số của nguồn tương đương Têvenin ứng với 6 giai đoạn làm việc của nghịch lưu.

➤ Trong khoảng  $0 \div \pi/3$ , trong hình H.2 các khóa S1, S3 và S5 đóng, có sơ đồ tính  $E_{td}$  và  $G_{td}$  nêu trên hình H.4.



**H.4. Sơ đồ tính  $E_{td}$  và  $G_{td}$  trong khoảng  $0 \div \pi/3$**

Từ sơ đồ (hình H.4) tính được điện dẫn của nguồn tương đương chính bằng tổng điện dẫn cách điện của mạng  $G_{\text{đ1}}$ :

$$G_{\text{đ1}} = G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}} = G_{\text{đ}\Sigma} \quad (2)$$

Áp dụng phương pháp xếp chồng tính được sức điện động của nguồn tương đương  $E_{\text{đ1}}$ :

$$U_{1\text{ho}} = \frac{U_0 / 2}{\left[ \frac{1}{G_+ + G_{\text{Af}} + G_{\text{Cf}}} \right] + \left[ \frac{1}{G_A + G_B + G_C + G_- + G_{\text{Bf}}} \right]} \cdot \frac{1}{G_A + G_B + G_C + G_- + G_{\text{Bf}}}$$

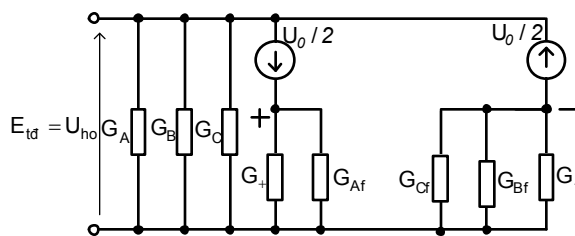
$$U_{1\text{ho}} = \frac{U_0 (G_+ + G_{\text{Af}} + G_{\text{Cf}}) / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}}$$

$$U_{2\text{ho}} = \frac{-U_0 / 2}{\left[ \frac{1}{G_- + G_{\text{Bf}}} \right] + \left[ \frac{1}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_{\text{Af}} + G_{\text{Cf}}} \right]} \cdot \frac{1}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_{\text{Af}} + G_{\text{Cf}}}$$

$$U_{2\text{ho}} = \frac{-U_0 (G_- + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}) / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}}$$

Vậy  $E_{\text{đ1}} = U_{\text{ho}} = U_{1\text{ho}} + U_{2\text{ho}} = \frac{U_0 [(G_+ + G_{\text{Af}} + G_{\text{Cf}}) - (G_- + G_{\text{Bf}})] / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}}$  (3)

➤ Trong khoảng  $\pi/3 \div 2\pi/3$ , các khóa S1, S5 và S6 đóng, sơ đồ tính  $E_{\text{đ}}$  và  $G_{\text{đ}}$  nêu trên hình H.5.



H.5. Sơ đồ tính  $E_{\text{đ}}$  và  $G_{\text{đ}}$  trong khoảng  $\pi/3 \div 2\pi/3$

Từ sơ đồ (hình H.5) tính được điện dẫn của nguồn tương đương:

$$G_{\text{đ2}} = G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}} \quad (4)$$

Áp dụng phương pháp xếp chồng tính được sức điện động của nguồn tương đương  $E_{\text{đ2}}$ :

$$U_{1\text{ho}} = \frac{U_0 / 2}{\left[ \frac{1}{G_+ + G_{\text{Af}}} \right] + \left[ \frac{1}{G_A + G_B + G_C + G_- + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}} \right]} \cdot \frac{1}{G_A + G_B + G_C + G_- + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}}$$

$$U_{1\text{ho}} = \frac{U_0 (G_+ + G_{\text{Af}}) / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}}$$

$$U_{2\text{ho}} = \frac{-U_0 / 2}{\left[ \frac{1}{G_- + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}} \right] + \left[ \frac{1}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_{\text{Af}}} \right]} \cdot \frac{1}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_{\text{Af}}}$$

$$U_{2\text{ho}} = \frac{-U_0 (G_- + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}) / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}}$$

Vậy  $E_{\text{đ2}} = U_{1\text{ho}} + U_{2\text{ho}} = \frac{U_0 [(G_+ + G_{\text{Af}}) - (G_- + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}})] / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}}$  (5)

Tính toán tương tự trong các khoảng thời gian còn lại cho các kết quả:

➤ Trong khoảng  $2\pi/3 \div \pi$ , các khóa S1, S2 và S6 đóng có:

$$G_{\text{đ3}} = G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{\text{Af}} + G_{\text{Bf}} + G_{\text{Cf}}$$

$$E_{td3} = \frac{U_0[(G_+ + G_{Af} + G_{Bf}) - (G_- + G_{Cf})] / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf}}$$

➤ Trong khoảng  $\pi \div 4\pi/3$ , các khóa S2, S4 và S6 đóng có:

$$G_{td4} = G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf}$$

$$E_{td4} = \frac{U_0[(G_+ + G_{Bf}) - (G_- + G_{Af} + G_{Cf})] / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf}}$$

➤ Trong khoảng  $4\pi/3 \div 5\pi/3$ , các khóa S2, S3 và S4 đóng có:

$$G_{td5} = G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf}$$

$$E_{td5} = \frac{U_0[(G_+ + G_{Bf} + G_{Cf}) - (G_- + G_{Af})] / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf}}$$

➤ Trong khoảng  $5\pi/3 \div 2\pi$ , các khóa S3, S4 và S5 đóng có:

$$G_{td6} = G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf}$$

$$E_{td6} = \frac{U_0[(G_+ + G_{Cf}) - (G_- + G_{Af} + G_{Bf})] / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf}}$$

➤ Suy ra trị số trung bình của điện dẫn và sức điện động nguồn tương đương:

$$G_{td} = (G_{td1} + G_{td2} + G_{td3} + G_{td4} + G_{td5} + G_{td6}) / 6$$

$$G_{td} = G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf} = G_{cd\Sigma} \tag{6}$$

$$E_{td} = (E_{td1} + E_{td2} + E_{td3} + E_{td4} + E_{td5} + E_{td6}) / 6$$

$$E_{td} = \frac{U_0(G_+ - G_-) / 2}{G_A + G_B + G_C + G_+ + G_- + G_{Af} + G_{Bf} + G_{Cf}} = \frac{U_0(G_+ - G_-)}{2G_{cd\Sigma}} \tag{7}$$

➤ Từ (1), (6) và (7) có dòng qua cơ cấu đo bằng:

$$I_0 = \frac{E_0 + E_{td}}{1/G_0 + 1/G_{td}} = \frac{E_0 + U_0(G_+ - G_-) / 2G_{cd\Sigma}}{1/G_0 + 1/G_{cd\Sigma}} \tag{8}$$

Khi  $G_+ = G_-$  có:

$$I_0 = \frac{E_0}{1/G_0 + 1/G_{cd\Sigma}} \tag{9}$$

### 3. THẢO LUẬN, TRAO ĐỔI

➤ Các biểu thức (8) và (9) cho phép được tính dòng điện qua cơ cấu đo của thiết bị bảo vệ dòng điện rò dùng dòng đo một chiều khi sử dụng trong các mạng điện mỏ hỗn hợp. Biểu thức (7) tính được trị số trung bình sức điện động nguồn tương đương.

➤ Từ (7) và (8) suy ra, thành phần  $E_{td}$  có trị số phụ thuộc vào mức độ mất đối xứng điện trở cách điện của phần mạch một chiều. Trường hợp điện dẫn cách điện phần mạch một chiều  $G_+$  và  $G_-$  khác nhau nhiều thì  $E_{td}$  có thể lớn hơn nhiều nguồn công tác một chiều  $E_0$  của thiết bị kiểm tra điện trở cách điện. Sự xuất hiện thành phần  $E_{td}$  đã làm thay đổi đáng kể trị số dòng đo một chiều chảy qua cơ cấu đo của thiết bị kiểm tra điện trở cách điện.

➤ Các biểu thức (8) và (9) cũng cho thấy rằng, chỉ trong trường hợp điện trở 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. Nếu  $G_+ \neq G_-$ , tức 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.

➤ Đối với các mạng điện mỏ hỗn hợp mà phần mạch một chiều có có điện trở cách điện đối xứng, nếu lựa chọn sơ đồ cung cấp điện sao cho phần mạch xoay chiều sau biến tần có chiều dài ngắn để điện dung của mạng so với đất nhỏ có thể bỏ qua, thì có thể sử dụng các thiết bị bảo vệ dòng điện rò có nguyên lý dùng dòng đo một chiều để kiểm tra điện trở cách điện.



➤ Đối với các mạng điện mỏ hỗn hợp mà phần mạch một chiều có có điện trở cách điện không đối xứng, các thiết bị bảo vệ rò dùng dòng đo một chiều hiện có trong các mỏ hầm lò không thể sử dụng vì không đảm bảo điều kiện an toàn điện giật.

➤ Vấn đề đảm bảo mức an toàn tối thiểu cho các mạng điện mỏ hỗn hợp cần phải giải quyết theo hướng nghiên cứu chế tạo các hệ thống kiểm tra cách điện và bảo vệ rò sử dụng dòng đo xoay chiều khác tần số công nghiệp.

#### 4. KẾT LUẬN

Đối với các mạng điện mỏ hỗn hợp, điều kiện sử dụng an toàn thiết bị bảo vệ rò điện dùng dòng đo một chiều để kiểm tra điện trở cách điện là phần mạch điện một chiều phải có điện trở cách điện so với đất đối xứng ( $G_+ = G_-$ ). Nếu  $G_+ \neq G_-$ , tức phần mạch điện một chiều có điện trở cách điện không đối xứng, việc sử dụng thiết bị bảo vệ dòng điện rò dùng dòng đo một chiều trong các mạng điện mỏ hỗn hợp là không an toàn □

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kim Ngọc Linh, 2018. Nghiên cứu xác định dòng điện rò trong mạng điện mỏ hầm lò có sử dụng các bộ biến đổi. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 3-2018, trang 15-19.
2. Piotr Olszowiec (2014), Insulation measurement and supervision in live AC and DC unearthed systems (p171-172). Springer 2014 (second edition).
3. Савицкий В.Н., Стадник Н.И. (2013), Защита от токов утечки в комбинированных распределительных сетях угольных шахт, «УкрНИИВЭ».
4. Синчук О.Н., Ликаренко А.Г., Петриченко А.А. (2015). Исследование защитных характеристик аппаратов защиты от токов утечки рудничных участков распределительных сетей на постоянном оперативном токе в условиях дестабилизирующих факторов комбинированных сетей // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2015. – №94. – С. 3-12.

### CONDITIONS FOR SAFE USE OF EARTH LEAKAGE CURRENT PROTECTION EQUIPMENT WITH DC MEASUREMENT CURRENT IN COMBINED MINE POWER NETWORKS

Kim Ngọc Linh

#### ABSTRACT

*From the equivalent model of the mine power network in terms of electric shock safety applying the classic integral method, the author has built the expression of current through measuring device of the earth leakage current protection equipment using DC current for monitoring the insulation resistance of underground mine power networks using semiconductor converters (combined networks). On the basis of the analysis of the obtained expressions, the conditions of safe and unsafe use of leakage current protective equipments using DC measurement current have been determined in combined power networks. The results of this study are the basis for recommending a new solution to monitor the insulation resistance of combined power networks, which are increasingly widely used in underground mine power networks in Vietnam.*

**Keywords:** combined power networks, DC measurement current, insulation resistance, equivalent voltage, Thevenin.

**Ngày nhận bài:** 12/6/2021;

**Ngày gửi phản biện:** 15/6/2021;

**Ngày nhận phản biện:** 21/6/2021;

**Ngày chấp nhận đăng:** 25/7/2021.

**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.