



Research, design, manufacture leakage current protection device for 660V/1140V underground mine electrical networks



Khanh Thac Nguyen ^{1,*}, Linh Ngoc Kim ¹, Sy Tien Nguyen ¹, Giang Truong Nguyen ¹

¹ Faculty of Electro-Mechanical, Hanoi University of Mining and Geology

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15th Aug. 2020

Revised 23rd Oct. 2020

Accepted 31st Oct. 2020

Keywords:

Compensation capacitor,
Grounded leakage phase,
Leakage current,
Mining electrical network.

ABSTRACT

This paper presents the results of researching, designing and manufacturing leakage current protection device for 660 V/1140 V ungrounded three-phase electrical networks. The outstanding features of the device are: ability to create wide deformation characteristic; automatically detect and grounded the leakage phase. Device test results show that relay operation time for symmetrical and asymmetric leak resistors are 30 k Ω /60 k Ω per phase and 20 k Ω /50 k Ω for 660 V/1.140 V networks respectively. The total operating time of the device when single phase leaking through a 1 k Ω resistor not exceed 105 ms. The circuit automatically detects and accurately grounded the leakage phase through 100 Ω resistance, the total detection and grounded the leakage phase time does not exceed 110 ms. This research result can be applied in the design and manufacture of high-quality and reliable leakage current protection devices used in underground mines, replacing imported products.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: nguyenthackhanh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(5).11



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị bảo vệ rò điện cho các mạng điện mỏ hầm lò điện áp 660 V/1140 V

Nguyễn Thạc Khánh ^{1,*}, Kim Ngọc Linh ¹, Nguyễn Tiến Sỹ ¹, Nguyễn Trường Giang ¹

¹ Bộ môn Kỹ thuật điện - Điện tử, Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 15/8/2020

Sửa xong 23/10/2020

Chấp nhận đăng 31/10/2020

Từ khóa:

Bù điện dung,

Dòng điện rò,

Mạng điện mỏ,

Nổi ngắn mạch pha.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị bảo vệ dòng điện rò dùng cho các mạng điện ba pha trung tính cách ly điện áp 660 V và 1140 V. Đặc điểm nổi bật của thiết bị là có khả năng tạo đặc tính biến dạng rộng và có mạch tự động phát hiện và nổi ngắn mạch pha rò. Kết quả thử nghiệm thiết bị đối với mạng 660 V, điện trở cắt khi rò ba pha là không lớn hơn 30 kΩ/pha, khi rò một pha điện trở cắt không nhỏ hơn 20 kΩ. Với mạng 1140 V, điện trở cắt khi rò ba pha là không lớn hơn 60 kΩ/pha, khi rò một pha điện trở cắt không nhỏ hơn 50 kΩ. Tổng thời gian tác động của thiết bị khi rò một pha qua điện trở 1 kΩ không vượt quá 105 ms. Mạch tự động phát hiện và nổi ngắn mạch pha của thiết bị có thể xác định chính xác pha rò khi điện trở rò đến 10 kΩ, tổng thời gian phát hiện và nổi ngắn mạch pha rò không vượt quá 110 ms. Kết quả nghiên cứu này có thể áp dụng trong thiết kế, chế tạo các thiết bị bảo vệ dòng điện rò có chất lượng và độ tin cậy cao dùng trong các mỏ hầm lò, thay thế các sản phẩm nhập ngoại.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Trong các mỏ hầm lò sử dụng rộng rãi mạng điện ba pha có trung tính cách ly. Nhằm đảm bảo an toàn về phương diện điện giật, quy chuẩn “Kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò” buộc phải trang bị cho mạng điện hầm lò các thiết bị bảo vệ dòng điện rò (ròle rò). Với cấp điện áp 380 V và 660 V, các thiết bị bảo vệ dòng điện rò hiện đang được sử dụng trong các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh đều có nguyên lý làm việc giống nhau

là dựa trên việc sử dụng dòng công tác một chiều để kiểm tra điện trở cách điện của mạng; để giảm dòng rò khoảng khắc qua người áp dụng giải pháp bù thành phần điện dung của dòng điện rò. Đối với mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140 V, do mức điện áp cao và trong mạng có các động cơ công suất lớn nên bù điện dung không đảm bảo được điều kiện an toàn điện giật. Vì vậy, để đảm bảo an toàn điện giật, thiết bị bảo vệ dòng điện rò dùng cho mạng 1140 V cần phải có thêm chức năng phát hiện và tự động nổi ngắn mạch pha rò (Varenic E.A., 2004). Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm thiết kế, chế tạo một thiết bị bảo vệ dòng điện rò dùng chung cho các mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140 V và 660 V. Đặc điểm nổi bật của thiết bị này là có thể tạo đặc tính biến dạng rộng và có thêm phần

**Tác giả liên hệ*

E - mail: nguyenthackhanh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(5).11

mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò, nhằm làm giảm dòng điện qua người gây ra bởi sức điện động của các động cơ công suất lớn khi cắt mạng 1140 V.

2. Kết quả nghiên cứu và chế tạo

Hình 1 là sơ đồ khối của thiết bị bảo vệ dòng điện rò được thiết kế.

Trong sơ đồ khối 1 là bộ nguồn có nhiệm vụ tạo ra nguồn 1 chiều ổn định 48 V để kiểm tra điện trở cách điện của mạng và nguồn 1 chiều 12 V cung cấp cho các mạch điều khiển và bảo vệ. Khối 2 là mạch tự động kiểm tra điện trở cách điện và bảo vệ cắt. Khối này có nhiệm vụ thường xuyên kiểm tra điện trở cách điện của mạng, tự động điều khiển máy cắt MC cắt nguồn cung cấp khi điện trở cách điện giảm dưới mức cho phép hoặc khi có người chạm vào một pha của mạng. Khối 3 là mạch bù thành phần điện dung của dòng điện rò, có nhiệm vụ hạn chế dòng rò khoảng khắc khi con người chạm vào một pha của mạng. Khối 4 là mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò để làm giảm dòng điện qua người gây ra bởi sức điện động của các động cơ công suất lớn khi cắt mạng.

Hình 2 là sơ đồ nguyên lý bộ nguồn, mạch bù thành phần điện dung của dòng điện rò, mạch tự động kiểm tra cách điện và bảo vệ cắt.

Trong sơ đồ Hình 2, bộ nguồn gồm biến áp nguồn, mạch chỉnh lưu và ổn áp để tạo ra hai nguồn một chiều độc lập 48 V và 12 V. Nguồn 48 V dùng để kiểm tra điện trở cách điện, còn nguồn 12 V cung cấp cho phần mạch kiểm tra cách điện, mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò xuống đất. Mạch bù thành phần điện dung của dòng điện rò gồm cuộn bù Lbù, bộ tụ điện C01, C02, C03 đấu sao để nối cuộn bù. Cuộn kháng 3XL

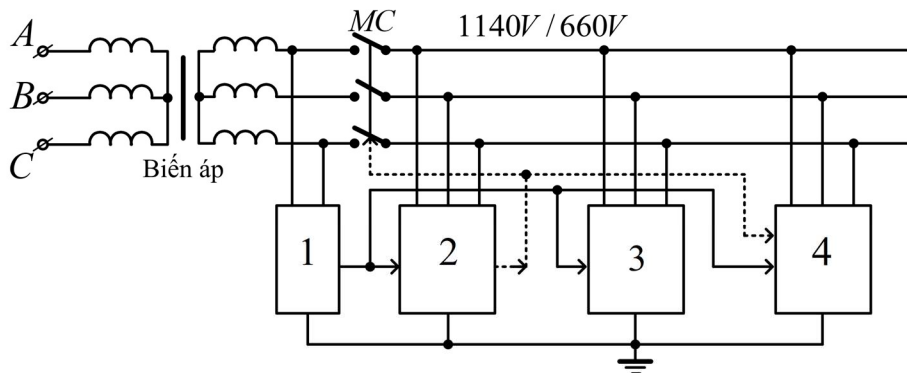
để nối nguồn đo điện trở cách điện với mạng cần kiểm tra. Mạch kiểm tra điện trở cách điện, tạo đặc tính biến dạng và bảo vệ cắt gồm khuếch đại thuật toán OA1, OA2, OA3, rơle điện từ RL1, RL2 và các linh kiện liên quan. Các chuyển mạch CM1, CM2, CM3 và CM4 để chọn các cấp điện áp 660 V hay 1140 V.

Nguyên lý làm việc của mạch kiểm tra điện trở cách điện và bảo vệ cắt như sau:

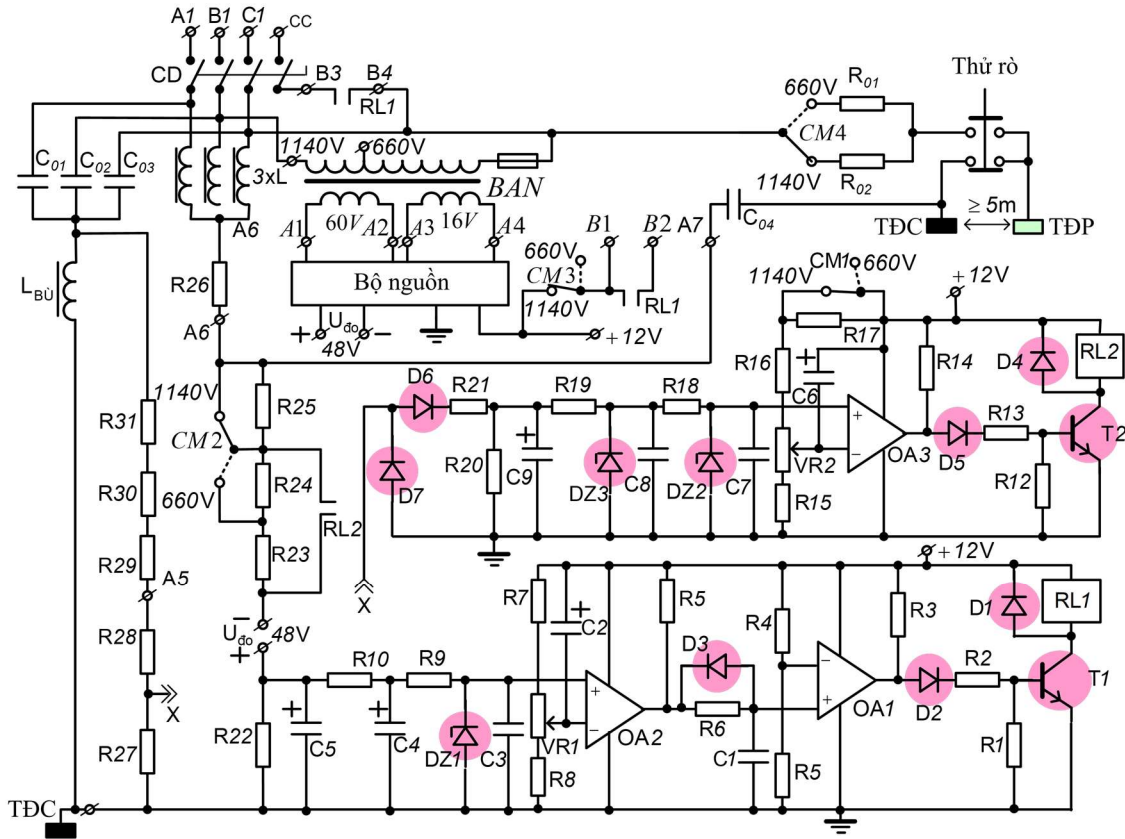
Khi đóng cầu dao CD, bộ nguồn tạo ra nguồn đo điện trở cách điện 48 V. Dòng kiểm tra cách điện đi theo đường: Cực +48 V, điện trở R22, cực tiếp đất chính TĐC, đất, điện trở cách điện của mạng, mạng cáp, cuộn kháng 3XL, điện trở R24 (cấp điện áp 1140 V) hoặc điện trở R25 (cấp điện áp 660 V), điện trở R23, cực -48 V. Dòng đo tạo ra trên điện trở R22 một điện áp tỷ lệ nghịch với điện trở cách điện của mạng. Điện áp này được so sánh với một điện áp ngưỡng tạo bởi phân áp R7, R8 và chiết áp VR1. Khuếch đại thuật toán OA2 là loại đầu ra cực góp hở mạch, làm nhiệm vụ so sánh hai điện áp này.

Trường hợp điện trở cách điện của mạng cao, dòng đo nhỏ nên điện áp trên R22 thấp hơn điện áp ngưỡng, khuếch đại thuật toán OA2 bão hòa âm làm điện áp trên tụ C1 ở mức thấp. Điện áp này đặt vào đầu không đảo của khuếch đại thuật toán OA1. Điện áp đặt vào đầu không đảo thấp hơn điện áp đặt vào đầu vào đảo tạo bởi phân áp R4, R5. Khuếch đại thuật toán OA1 bão hòa âm làm tranzito T1 khóa. Rơle điện từ RL1 không được cấp điện, tiếp điểm RL1 trong mạch cuộn cắt của máy cắt hở mạch. Mạng vận hành bình thường.

Trường hợp điện trở cách điện của mạng thấp hoặc có rò một pha, dòng đo lớn nên điện áp trên R22 cao hơn điện áp ngưỡng, khuếch đại thuật



Hình 1. Sơ đồ khối thiết bị bảo vệ dòng điện rò mạng 1140V/660V.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý mạch tự động kiểm tra điện trở cách điện và bảo vệ cắt.

toán OA2 bảo hòa dương. Tụ C1 được nạp điện qua điện trở R5 và R6. Điện áp trên tụ tăng dần theo quy luật hàm mũ. Sau thời gian trễ khoảng 60ms, điện áp trên tụ bằng điện áp ngưỡng tạo bởi R4, R5 làm khuếch đại thuật toán OA1 chuyển bão hòa dương. Điện áp bão hòa dương của OA1 làm tranzito T1 dẫn bão hòa cấp điện cho role điện từ RL1. Nó đóng mạch tiếp điểm RL1 trong mạch cuộn cắt máy cắt làm cắt mạng khỏi nguồn cung cấp.

Các tụ điện C5, C4 và C3 lọc thành phần xoay chiều của dòng đo và đảm bảo bảo cho OA2 không bị chuyển trạng thái nhằm khi có các xung tần số cao. Điốt ổn áp Dz1 bảo vệ đầu vào của khuếch đại thuật toán không bị quá áp. Tụ điện C2 làm nhiệm vụ không cho mạch tác động nhằm khi đóng mạng vào nguồn hay khi đóng cắt động cơ điện.

• Nguyên lý tạo đặc tính bảo vệ rò biến dạng của sơ đồ Hình 2:

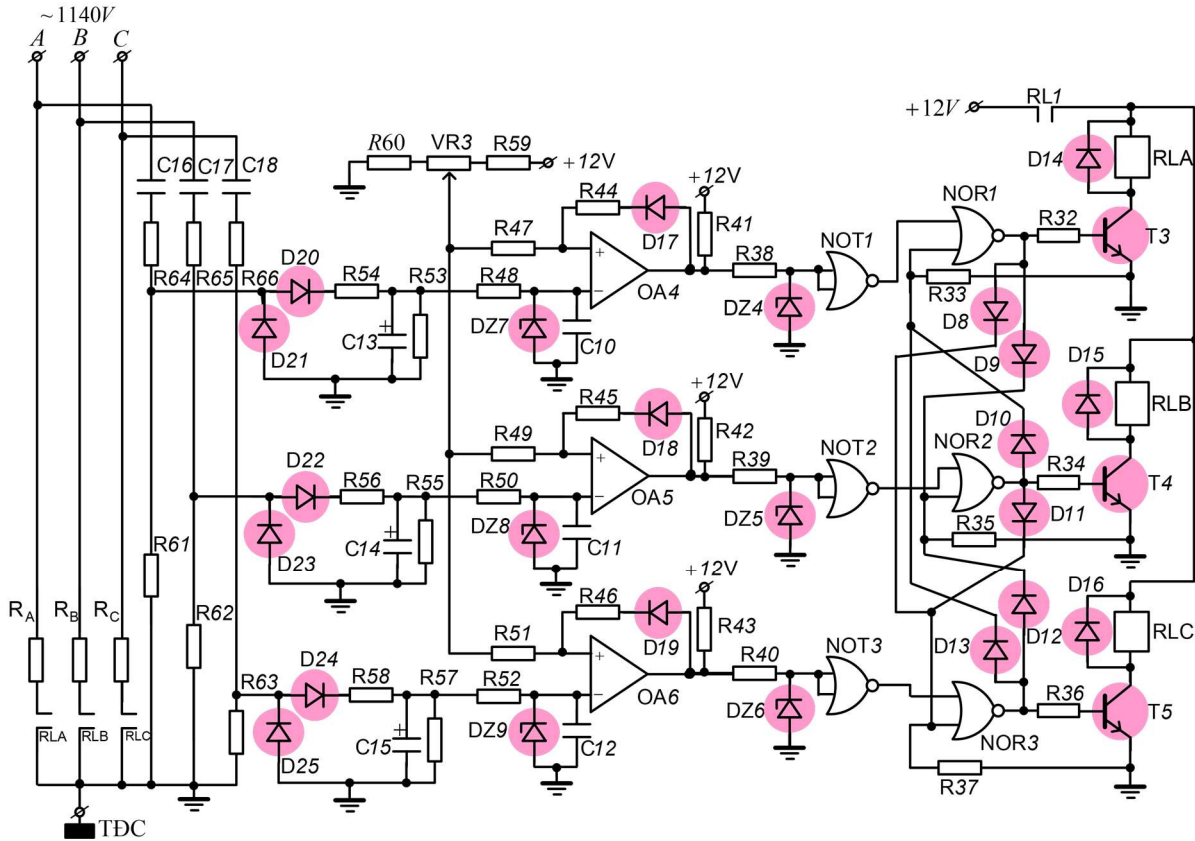
Khi có rò đối xứng, điện áp thứ tự không bằng không. Trên điện trở R27 (điểm X so với đất) không có điện áp, khuếch đại thuật toán OA3 bão hòa âm. Tranzito T2 ở trạng thái khóa nên role điện từ RL2 không được cấp điện. Tiếp điểm RL2

hở mạch, các điện trở R23 và R24 không bị nối tắt và tham gia vào mạch dòng đo điện trở cách điện.

Khi có rò một pha hoặc khi người chạm phải một pha của mạng, điện áp thứ tự không $3U_0$ khác không làm điện áp trên điện trở R27 lớn hơn điện áp ngưỡng tạo bởi phân áp R7, R8 và chiết áp VR2. Khuếch đại thuật toán OA1 chuyển trạng thái bão hòa dương làm tranzito T1 dẫn bão hòa cấp điện cho role RL1. Role này đóng tiếp điểm thường mở RL1 nối ngắn mạch điện trở R23 và R24 (điện áp 1140 V) hoặc điện trở R23 (cấp điện áp 660 V). Tổng điện trở trong mạch dòng đo giảm làm trị số dòng đo tăng lên, nghĩa là nâng điện trở cắt khi rò một pha so với rò ba pha đối xứng.

Hình 3 là sơ đồ nguyên lý mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò.

Nguyên lý nối ngắn mạch pha dựa trên việc phát hiện pha có điện trở cách điện giảm và nối ngắn mạch pha đó qua điện trở nhỏ xuống đất. Phương pháp này làm giảm dòng rò qua người dựa trên nguyên tắc mắc song song với cơ thể người một điện trở nhỏ khi chạm vào một pha của mạng.



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha.

Việc tính toán nối ngắn mạch pha cho mạng điện áp 1140 V theo các nguyên tắc sau: điện dung cho phép cực đại của mạng điện khu vực mỏ hầm lò là 1 μF /pha; tổng thời gian phát hiện và nối ngắn mạch pha kể từ thời điểm con người chạm vào một pha của mạng không được vượt quá 0,17 s; giá trị lớn nhất của dòng rò khoảng khắc khi rò một pha qua điện trở 1 k Ω sau khi mắc sun không được vượt quá 30 mA (Novoselov V.A., 2013; Serov V.I. và nnk, 1985).

Mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò gồm hai phần: phần mạch lấy và xử lý tín hiệu đầu vào của ba pha có kết cấu giống nhau và phần mạch thừa hành và khóa liên động. Phần mạch thừa hành và khóa liên động có nhiệm vụ loại trừ trường hợp role nối ngắn mạch của hai hoặc ba pha tác động đồng thời (Kim Ngọc Linh và nnk, 2015).

Nguyên lý làm việc của mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha:

Khi không có rò một pha, điện áp ngưỡng tạo bởi phân áp R59, R60 và chiết áp VR3 đặt vào đầu vào không đảo của các khuếch đại thuật toán OA3, OA4 và OA5 lớn hơn điện áp đặt vào đầu vào đảo.

Cả ba khuếch đại thuật toán này đều bão hòa dương khiến đầu ra của các phần tử logic NOT1, NOT2 và NOT3 đều ở mức thấp (mức 0). Do các đầu vào đều ở mức thấp nên đầu ra của NOR1, NOR2 và NOR3 cũng ở mức thấp. Các tranzito T3, T4 và T5 ở trạng thái khóa và cả ba role nối ngắn mạch RLA, RLB và RLC không tác động.

Khi có rò một pha (hoặc người chạm phải một pha), ví dụ pha A, điện áp pha A so với đất giảm còn điện áp hai pha còn lại tăng. Khuếch đại thuật toán OA4 chuyển bão hòa âm trong khi OA5 và OA6 vẫn bão hòa dương. Đầu ra NOT1 ở mức cao làm NOR1 cũng chuyển mức cao. Điện áp mức cao đầu ra của NOR1 làm tranzito T3 dẫn bão hòa cấp điện cho role nối ngắn mạch pha A. Đồng thời, điện áp này được đưa tới đầu vào của NOR2 và NOR3 giữ cho đầu ra của hai phần tử logic này luôn ở mức thấp. Vì vậy hai tranzito T4 và T5 luôn ở trạng thái khóa, không cho phép hai role nối ngắn mạch pha B và pha C tác động.

Để đảm bảo an toàn tuyệt đối, nguồn cung cấp cho các role nối ngắn mạch được cung cấp qua tiếp điểm thường mở của role RL1. Tức là chỉ khi role rò đã tác động cắt mạng khỏi nguồn, pha

người chạm phải của mạng cáp mới được nối xuống đất.

Mô hình thiết bị bảo vệ dòng điện rò theo sơ đồ Hình 2 và 3 đã được nhóm tác giả mô phỏng kiểm tra trên máy tính. Mô hình cũng đã được chế tạo, lắp ráp và thử nghiệm trong phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện - điện tử của Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Hình 4 là phần bảng mạch kiểm tra điện trở cách điện, mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò đã được chế tạo.

3. Kết quả thử nghiệm thiết bị

Thiết bị bảo vệ rò điện cho mạng điện mỏ hầm lò hoàn thiện đã được thử nghiệm với mô hình mạng điện mỏ trong phòng thí nghiệm. Thử nghiệm đối với mạng 660 V, điện trở cách của thiết bị khi rò ba pha là không lớn hơn 30 k Ω /pha, khi rò một pha điện trở cách không nhỏ hơn 20 k Ω . Đối với mạng 1140 V, điện trở cách khi rò ba pha là không lớn hơn 60 k Ω /pha, khi rò một pha điện trở cách không nhỏ hơn 50 k Ω . Kết quả thử nghiệm qua điện trở rò 1 k Ω đối với hai cấp điện áp 660 V và 1140 V lần được chỉ ra trong Hình 5a và 5b. Trong

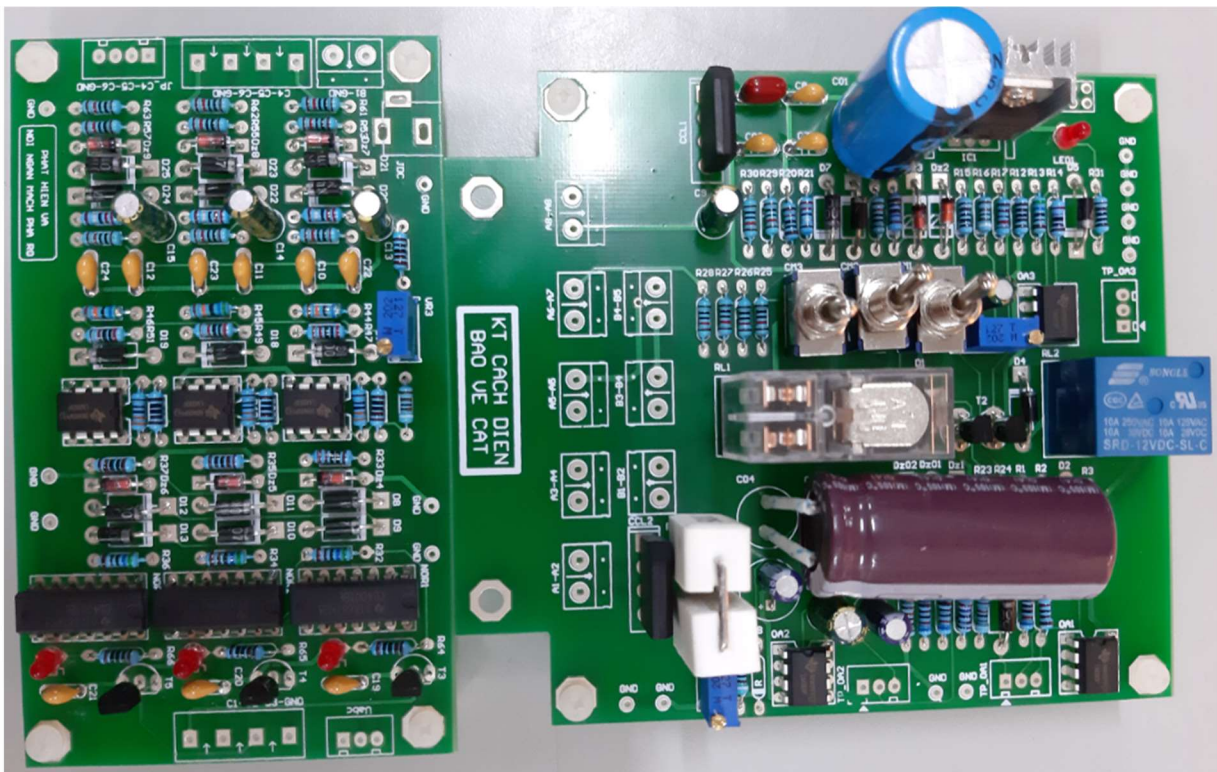
Hình 5, lần lượt từ trên xuống thể hiện các dạng tín hiệu: Số (1) là điện áp trên điện trở rò, số (2) là tín hiệu đầu vào không đảo của OA2, số (3) là điện áp cực góp của tranzito T1 và số (4) là tín hiệu đầu ra của tiếp điểm role RL1. Từ kết quả trong Hình 5 cho thấy khi rò 1 pha (1 k Ω), thời gian tác động của thiết bị là 102 ms đối với mạng 660 V (Hình 5a) và 65ms đối với mạng 1140 V (Hình 5b).

4. Thảo luận

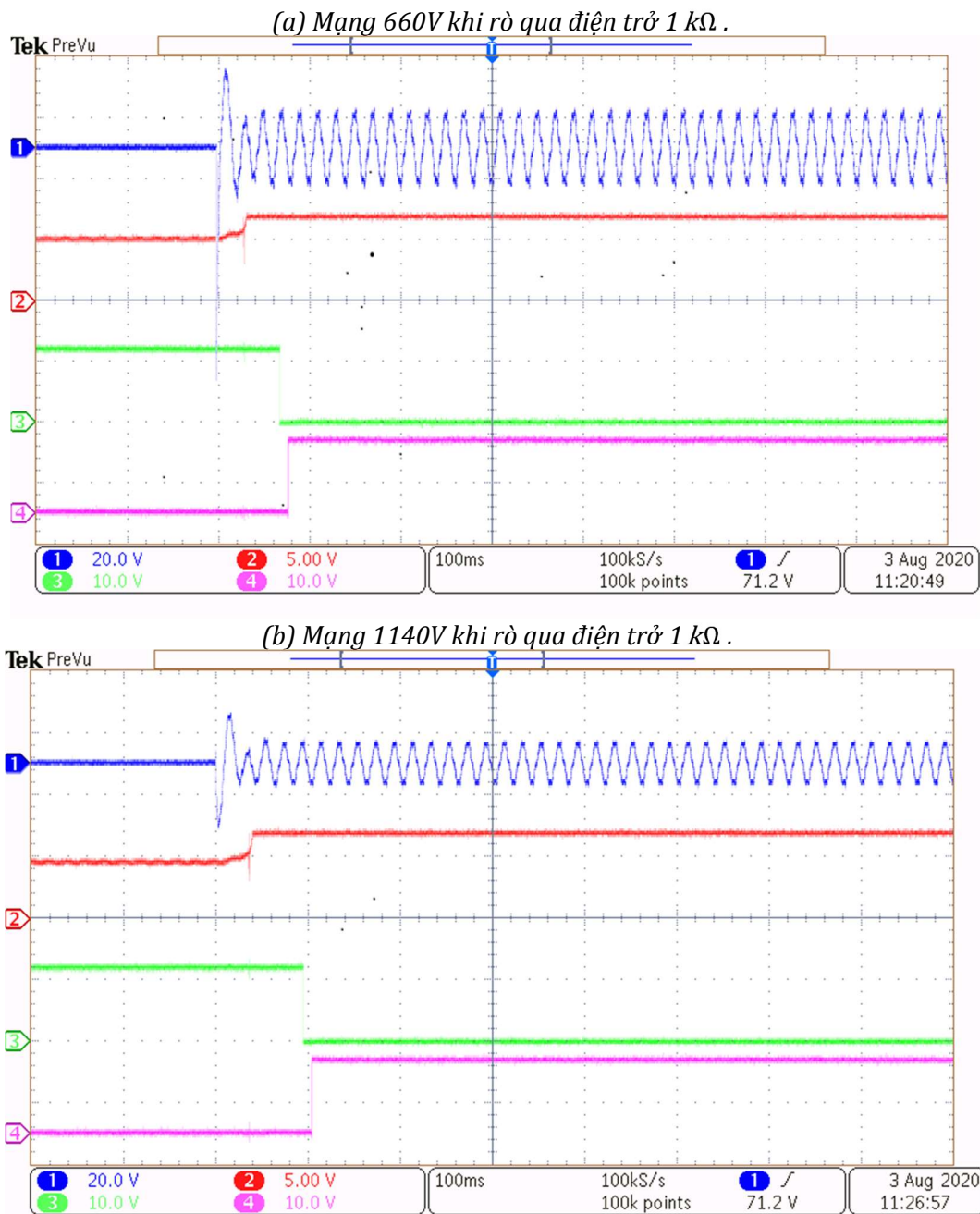
Kết quả thử nghiệm trên mô hình cho thấy, tổng thời gian tác động của thiết bị khi rò một pha qua điện trở 1 k Ω ở cấp điện áp 660 V và 1140 V đều không vượt quá 105 ms. Kết quả này đáp ứng yêu cầu Quy chuẩn Quốc gia về an toàn trong khai thác quặng hầm lò là tổng thời gian cắt lưới điện bị hư hỏng cấp điện áp 660 V là 0,2 s; với cấp điện áp 1.140 V là 0,12 s (Bộ Công thương, 2017).

Ở mức điện áp 1140 V, bù tĩnh được hiệu chỉnh ở $C=0,5 \mu F$ /pha cho phép giảm dòng rò khoảng khắc khi có rò 1 pha qua điện trở 1 k Ω từ 430 mA (khi không bù) xuống 272 mA.

Khi không bù thành phần điện dung của dòng điện rò, mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch



Hình 4. Sản phẩm mạch kiểm tra điện trở cách điện và tự động phát hiện, nối ngắn mạch pha rò.



Hình 5. Kết quả thử nghiệm mô hình thiết bị bảo vệ rò điện.

pha rò có thể xác định chính xác pha rò khi điện trở rò đến 2k với dòng rò không vượt quá 310 mA (trường hợp $C=C_{\max}=1 \mu F/\text{pha}$).

Khi có bù $C=0,5 \mu F/\text{pha}$, mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò có thể xác định chính xác pha rò khi điện trở rò đến 10 k Ω , với dòng rò khoảng khắc không vượt quá 30 mA sau khi mắc điện trở sun 100 Ω . Tổng thời gian phát hiện và nối ngắn mạch pha rò không vượt quá 110 ms.

5. Kết luận

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

- Mô hình thiết bị bảo vệ rò điện theo sơ đồ khối Hình 1 và sơ đồ nguyên lý Hình 2 và 3 có khả năng tạo đặc tính biến dạng trong phạm vi rộng, có mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò làm việc tin cậy, thời gian tác động nhanh. Đây là một ưu điểm nổi bật mà hầu hết các thiết bị bảo

vệ dòng điện rò hiện đang sử dụng trong các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh không có được.

- Đối với mạng điện mỏ điện áp 1140 V, việc chọn bù tĩnh hiệu chỉnh công hưởng với điện dung $C=0,5 \mu F/\text{pha}$ cho phép làm tăng giá trị điện trở quá độ để xác định đúng pha rò đến 10 k Ω và làm giảm dòng rò khoảng khắc khi rò một pha qua điện trở 1 k Ω là 1,58 lần (430 mA/272 mA=1,58).

- Kết quả nghiên cứu này có thể áp dụng trong thiết kế, chế tạo các thiết bị bảo vệ dòng điện rò có chất lượng và độ tin cậy cao dùng trong các mỏ hầm lò, thay thế các sản phẩm nhập ngoại.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được Bộ Khoa học và Công nghệ hỗ trợ thông qua đề tài cấp Nhà nước mã số KC.05.24/16-20.

Những đóng góp của tác giả

Tác giả Nguyễn Thạc Khánh hình thành ý tưởng, triển khai các nội dung và hoàn thiện bản thảo; tác giả Kim Ngọc Linh cùng triển khai các nội dung thiết kế và xây dựng bản thảo; tác giả Nguyễn Tiến Sỹ thiết kế và chế tạo mạch in; tác giả Nguyễn Trường Giang lắp ráp và thử nghiệm sản phẩm.

Tài liệu tham khảo

Bộ Công thương, (2017). Quy chuẩn Quốc gia về an toàn trong khai thác quặng hầm lò. Chương V: Trang bị Kỹ thuật điện và Thông tin liên lạc, điều 81: Quy định chung, trang 66. *QCVN 04: 2017/BCT*.

Kim Ngọc Linh, Kim Cẩm Ánh, Nguyễn Văn Quân (2015). Mạch tự động phát hiện và nổi ngắn mạch pha rò dùng cho mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140 V. *Tạp chí KHKT Mỏ-Địa chất*, số 50-4/2015, tr. 96-100.

Novoselov V.A., (2013). Điện khí hóa mỏ hầm lò. *Nhà xuất bản Novokuznetsk*, 230 trang (Bản tiếng Nga).

Serov V.I., Sutski V.I., Yagudaev B.M., (1985). Các phương pháp và thiết bị bảo vệ chạm đất trong hệ thống điện cao áp của các xí nghiệp mỏ. *Nhà xuất bản Khoa học, Matxcova*, 135 trang (Bản tiếng Nga).

Varenic E.A., (2004). Nguyên lý xây dựng thiết bị bảo vệ rò cho mạng điện có điện áp đến 1200V. Tuyển tập khoa học và kỹ thuật "Cơ điện mỏ và tự động hóa", *Trường đại học Mỏ Quốc gia Ucraina*, Số 72, trang 3-6 (Bản tiếng Ucraina).