NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG TỔ HỢP TẢI GIẢ KHẢ TRÌNH PHỤC VỤ KIỂM TRA ĐIỆN TRỞ CÁCH ĐIỆN CỦA MẠNG ĐIỆN MỎ CÓ TRUNG TÍNH CÁCH LY

Hà Thị Chúc*, Nguyễn Tiến Sỹ, Kim Thị Cẩm Ánh, Tống Ngọc Anh

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO
CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 28/7/2024
Ngày nhận bài sửa: 30/8/2024
Ngày chấp nhận đăng: 10/9/2024
*Tác giả liên hệ:
Email: hathichuc@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Các thiết bị bảo vệ sử dụng trong mạng điện hạ áp 3 pha trung tính cách ly sử dụng trong ngành mỏ bắt buộc phải thử nghiệm và kiểm định trước khi đưa vào vận hành. Để thử nghiệm cần có tổ hợp tải giả có cấu hình thay đổi được để mô phỏng các điều kiện vận hành khác nhau. Hiện nay tại các đơn vị kiểm định cũng như các cơ sở sản xuất đang sử dụng phổ biến các loại tải giả sử dụng chuyển mạch bằng tay tương đối cồng kềnh và phức tạp trong quá trình đấu nối..

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế và chế tạo một tổ hợp tải giả khả trình phục vụ thí nghiệm kiểm tra điện trở cách điện của mạng điện trung tính cách ly

Từ khóa: *tổ hợp tải giả khả trình, kiểm tra điện trở cách điện, lưới điện trung tính cách ly.*

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tổ hợp tải giả được sử dụng rộng rãi trong việc thử nghiệm, kiểm định các đại lượng về điện như dòng điện, điện áp, công suất, tần số v.v. trong thiết bị điện, điện tử, nhằm mục đích: kết nối với nguồn và được thay đổi theo các yêu cầu cụ thể để đo lường và phân tích hiệu suất, độ ổn định và khả năng cung cấp điện áp, dòng điện và công suất của nguồn điện; kiểm tra và đánh giá linh kiện điện tử: transistor, đi ốt, điện trở, tụ điện, điện cảm và các mạch tích hợp thông qua các phản ứng và đặc tính điện học (V-A, tần-biên, tần-pha …) theo tổ hợp tải giả lập trình được; kiểm bền, hiệu suất, khả năng chịu tải dưới các điều kiện khác nhau của các tổ hợp điện tử; phát triển và thử nghiệm thiết bị điện tử mới. Chính vì vậy, việc nghiên cứu xây hợp tổ hợp tải giả, trong đó có tổ hợp tải giả để kiểm tra điện trở cách điện của mạng điện mỏ có trung tính cách ly là rất cần thiết.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tình hình nghiên cứu

Trên thế giới, tổ hợp tải giả đã được nghiên cứu từ lâu để phục vụ các mục đích kể trên. Một số nghiên cứu về tải giả khả trình đã được công bố bao gồm:

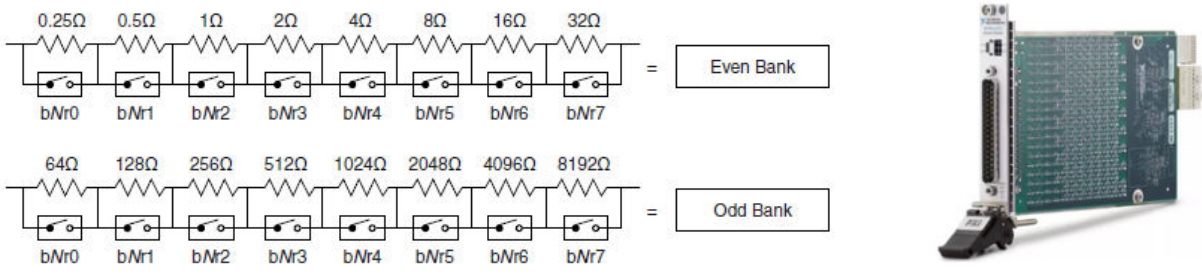
Nghiên cứu của N. Kiyoumarsi và P. Mirnia [2] tập trung vào việc phát triển mạch analog có thể sao chép bất kỳ hàm chuyển đổi nào, bao gồm việc điều khiển giá trị điện trở. K. Giler và đồng nghiệp [3] trình bày một phương pháp điều

khiển giá trị điện trở dựa trên kỹ thuật PWM (Pulse Width Modulation) để đạt độ phân giải và độ tin cậy cao; Z. Yao và đồng nghiệp [4] đề xuất một phương pháp sử dụng kỹ thuật tụ chuyển đổi để tạo ra mạch mô phỏng giá trị điện trở có độ phân giải cao và khả năng điều khiển linh hoạt; J. Heemels [5] đề xuất một phần cứng điều khiển tương tự dựa trên vi điều khiển PIC để thay đổi giá trị điện trở theo yêu cầu; J. Eriksson và đồng nghiệp [6] trình bày một mạch mô phỏng giá trị điện trở có thể được điều khiển thông qua vi điều khiển; L. Shao và đồng nghiệp [7] trình bày một giải pháp kỹ thuật số sử dụng điện áp reset để thay đổi giá trị điện trở trong khoảng rộng.

Hầu hết các nghiên cứu và thiết bị thương mại về tải giả khả trình đều chưa đáp ứng được nhu cầu kiểm tra điện trở cách điện của mạng điện 3 pha trung tính cách ly với điện áp 660/1140 V và điện trở cách điện phụ thuộc nhiều vào điều kiện môi trường mỏ (độ ẩm, nhiệt độ, khí bụi nổ) và điều kiện làm việc (công suất động cơ, chiều dài cáp).

Các nghiên cứu ngoài nước là cơ sở để các hãng chế tạo thiết bị tải giả khả trình với độ chính xác cao phục vụ các mục đích kiểm chuẩn và tạo tải giả cho thiết bị điện tử. Các thiết bị đang được thương mại hoá với giá thành từ 3000 – 10000 USD/bộ.

Một số hãng cũng đã phát triển các tổ hợp thiết bị nhỏ gọn phục vụ mô phỏng tải, thiết bị thương mại có tính năng thay đổi điện trở của các hãng nổi tiếng có thể kể đến như mô đun [8] điện trở PXIe-2727 của NI (Hình 1).



(a) Nguyên lý kết nối 16 kênh điện trở; *(b) Module thực tế*

Hình 1. Mô đun NI PXIe-2727 điện trở 16-Bit của National Instruments

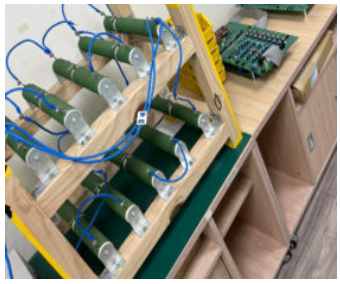
Thiết bị R-L-C khả trình [9] của IET Labs có khoảng thay đổi điện trở từ 1 mΩ đến 10 MΩ (xem Hình 2)

Hình 2. Mô đun R-L-C của IET Labs

Mô hình thử nghiệm đã giải quyết được vấn đề tạo ra các thông số điện trở điện dung của mạng điện 3 pha trung tính cách ly giống với thông số thực tế, từ đó dễ dàng điều chỉnh các thông số cho phù hợp với điều kiện làm việc của mạng điện trong các mỏ Việt Nam.

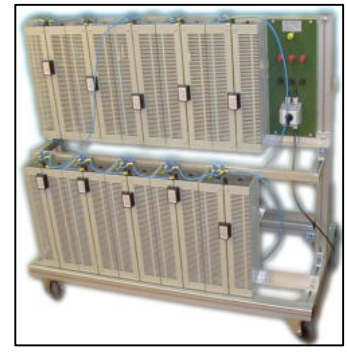
Để đáp ứng nhu cầu thí nghiệm và kiểm định các thiết bị điện ở Việt Nam đã có nhiều thiết bị được phát triển và ứng dụng trong thực tế (Hình 3).

Các thiết bị thí nghiệm và tổ hợp thử nghiệm trong thực tế đang được sử dụng có một số nhược điểm như: Tổ hợp có kích thước lớn, thường đặt cố định tại một khu vực; Cài đặt các tham số thủ công, có nguy cơ sai số lớn; Nguy cơ sự cố trong quá trình sử dụng cao khi hoạt động với điện áp thử nghiệm lớn



a) Tải giả điện trở dây quấn công suất lớn trong phòng thí nghiệm

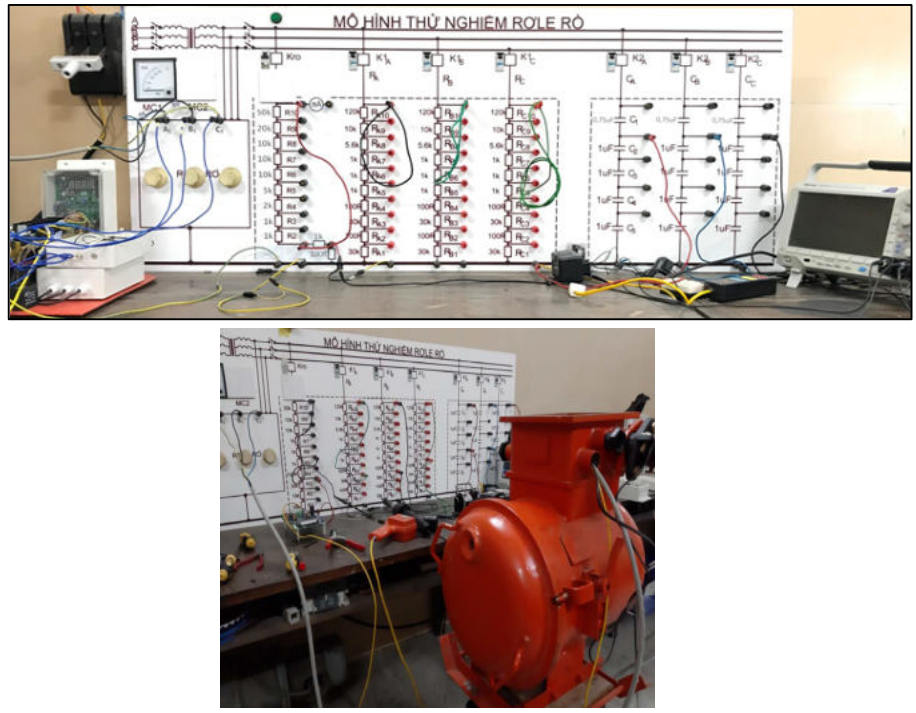
b) Tải giả điện trở dạng dây quấn thử nghiệm máy phát điện;



c) Tổ hợp thử nghiệm thiết bị điện gia dụng TCVN 5699/ IEC 60335

Hình 3. Các thiết bị tải giả thực tế

Để tiến tới quy chuẩn hóa sử dụng một số ưu điểm cũng như khắc phục các nhược điểm trên, trong nước cũng đã có không ít các nghiên cứu cũng như giải pháp như nghiên cứu [1] thuộc đề tài cấp Nhà nước KC.05.24/16-20 đã xây dựng mô hình mạng điện trở và tụ điện (đặc trưng cho tải) có thể cấu hình được bao gồm các điện trở và tụ điện mắc nối tiếp. Bảng thí nghiệm (Hình 4) có ưu điểm là thực hiện được các chức năng như: kiểm tra điện trở cắt khi rò ba pha đối xứng; kiểm tra điện trở cắt khi rò một pha; xác định dòng rò khoảnh khắc khi rò một pha qua điện trở 1kΩ; xác định tổng thời gian tác động của thiết bị; xác định sức điện động ngược của động cơ.

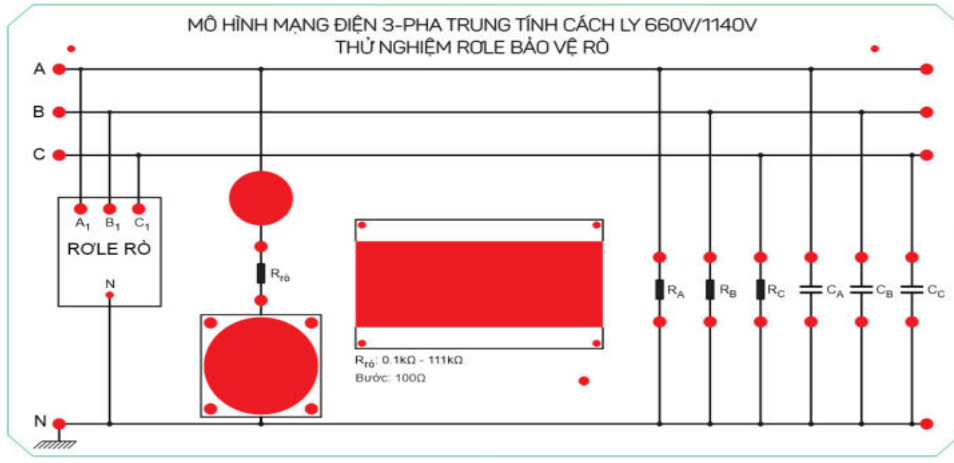


Hình 4. Thiết bị thử nghiệm rơ le rò của mạng điện 3 pha trung tính cách ly

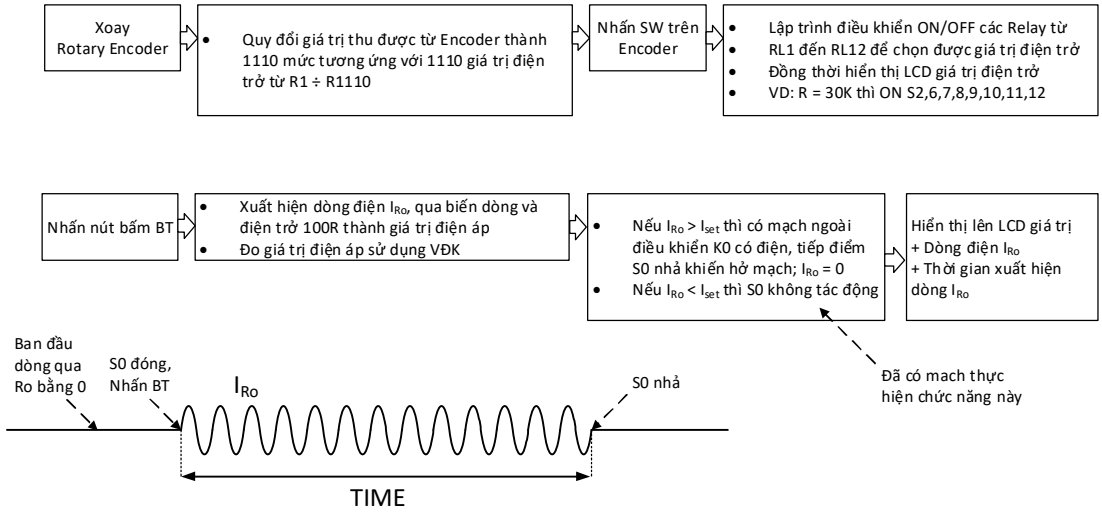
Nhược điểm của mô hình thí nghiệm là khả năng thay đổi giá trị điện trở và tụ điện thủ công, bước thay đổi còn lớn, dễ nhầm lẫn trong quá trình thao tác, kích thước cồng kềnh, khó mang đi thử nghiệm các rơ le rò tại các công trường mỏ.

2.2. Xây dựng tổ hợp tải giả trên mô hình mạng điện 3 pha trung tính

Tổ hợp tải giả khả trình thực hiện hoạt động dựa trên mô hình mạng điện 3 pha trung tính cách ly (Hình 5), tổ hợp thực hiện hai nhiệm vụ chính là tạo tải giả tự động và đo lường dòng điện rò. Nguyên lý hoạt động của tổ hợp tải giả được thể hiện trong Hình 6.



Hình 5. Mô hình tổ hợp tải giả khả trình

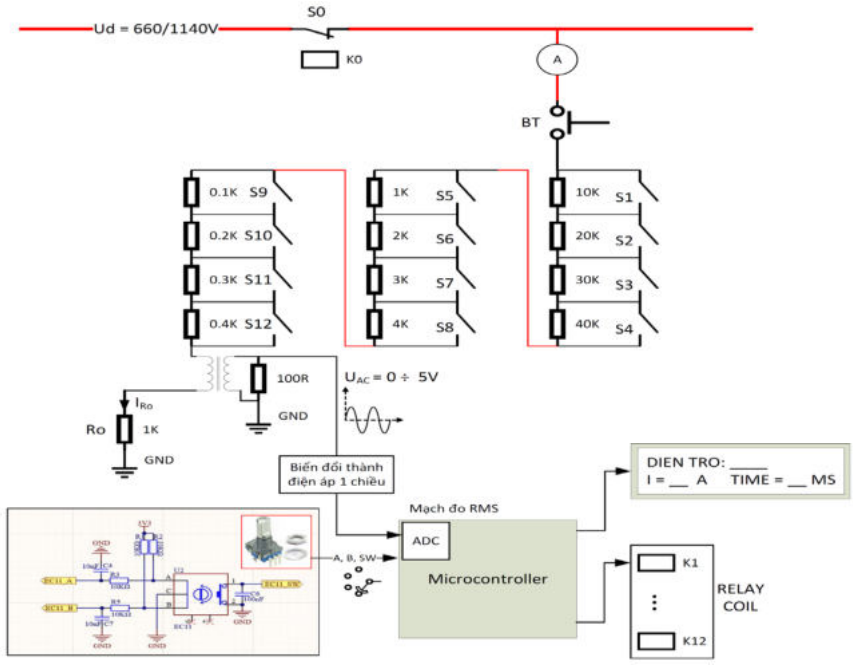


Hình 6. Nguyên lý làm việc của tổ hợp tải khả trình

Dựa trên mô hình và nguyên lý làm việc của tổ hợp tải giả khả trình, nhóm đề tài đã xây dựng được sơ đồ nguyên lý của tổ hợp và trình bày trong Hình 7.

Phần cứng của tổ hợp được thiết kế theo mô đun với kết nối thông qua các giắc cắm đảm bảo các điều kiện phù hợp với mạng điện ba pha trung tính cách ly điện áp 660/1140V và điều kiện môi trường trong các mỏ Việt Nam.

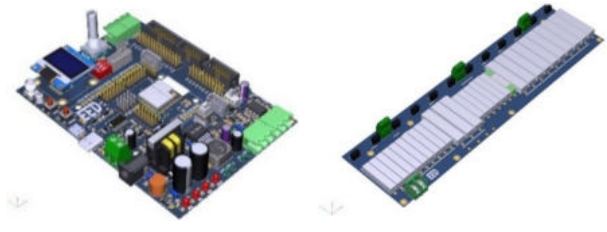
Tổ hợp gồm 3 mô đun chính: Mô đun mạch điều khiển trung tâm sử dụng vi điều khiển ESP32 32-bit, mô-đun này thực hiện 2 chức năng chính: Điều khiển mô-đun rơ le và đo dòng điện rò; Mô đun điện trở tải gồm 30 điện trở: 10 điện trở 100 Ω để tạo ra dải điện trở từ 100 Ω đến 1 kΩ, 10 điện trở 1 kΩ để tạo ra dải điện trở từ 1 kΩ đến 10 kΩ, 10 điện trở 10 kΩ để tạo ra dải điện trở từ 10 kΩ đến 100 kΩ; Mô đun rơ le bao gồm 12 rơle từ S1 đến S12 làm nhiệm vụ nối tắt để lựa chọn các điện trở tải từ giá trị nhỏ nhất 100Ω đến giá trị lớn nhất 111 kΩ;



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý tổ hợp tải giả khả trình

Điện trở lựa chọn là loại điện trở sứ với công suất tương ứng: loại 100 Ω công suất 20 W, loại 1 kΩ công suất 10 W, loại 10 kΩ công suất 5 W. Mô đun điện trở được trải đều trên bo mạch và các chân hàn linh kiện cách xa nhau trên toàn bộ bo mạch đảm bảo không có khả năng phóng điện khi có điện áp 1.140 V đặt vào. Điện trở sứ là loại điện trở có sai số nhỏ không quá 5%.

a) Mô đun điều khiển; *b) Mô đun điện trở* *c) Mô đun rơle*



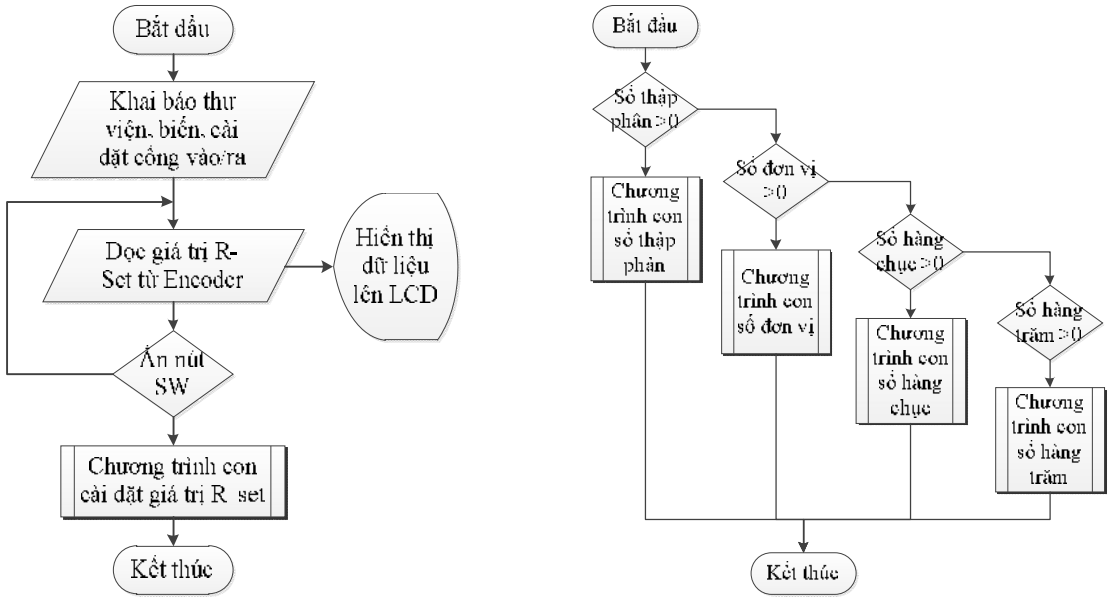
Hình 8. Hình ảnh 3D của các mô đun

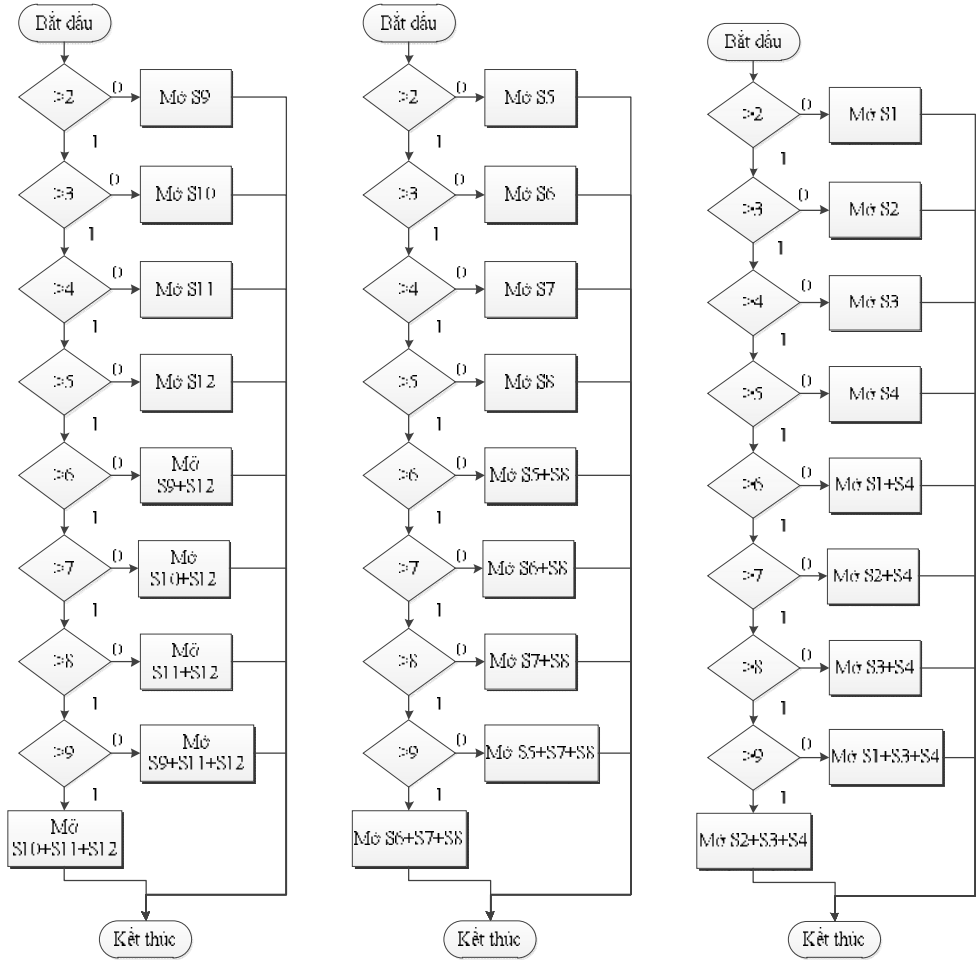
Hình 9. Tổ hợp tải giả khả trình xách tay

Tất cả các mô đun hoàn thiện được ghép nối và đặt vừa vào trong một va li có thể xách tay, thuận tiện để mang đi công trường (Hình 9).

Chương trình điều khiển cho tổ hợp bao gồm 04 chương trình con để tạo ra 1100 trường hợp lựa chọn giá trị điện trở từ 100 Ω đến 110 kΩ

- Thông số điện trở và điện dung cách điện của mạng được thiết lập qua các giắc cắm R_A, R_B, R_C, C_A, C_B, C_C;
- Điện trở $R_{rò}$ tương ứng với biến trở Rset trong lưu đồ thuật toán. Giá trị điện trở được lập trình thông qua Rotary Encoder có bước nhảy là 100 Ω;
- Rơle rò cần thử nghiệm được đấu vào vali thử nghiệm thông qua cầu đấu A_1, B_1, C_1 và N;
- Trường hợp dòng điện qua rơ le rò lớn hơn dòng điện an toàn khoảnh khắc trong thời gian cắt (Tc) được quy định bởi tiêu chuẩn an toàn cho mạng điện mỏ hầm lò thì tín hiệu logic được gửi đến rơle rò để đánh giá khả năng tác động bảo vệ của rơle rò cần kiểm tra và thử nghiệm.





Hình 9. Lưu đồ thuật toán thiết lập giá trị điện trở chạm đất

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tổ hợp tải giả dưới dạng Vali trong đó có mô hình mạng điện ba pha trung tính cách ly sử dụng trong thử nghiệm rơ le bảo vệ rò (H.9) được thử nghiệm tại phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện - Điện tử, Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Nhóm tác giả kiểm tra hoạt động của mạch tạo tải giả lập trình được đo điện trở, dòng điện và so sánh với thiết bị đo lường tiêu chuẩn đối chiếu.

Mô hình thử nghiệm được xây dựng tại phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện – Điện tử với các dụng cụ đo bao gồm đồng hồ vạn năng, kẹp dòng Hioki, biến áp tự ngẫu, oxilograph Tektronik 4 kênh.

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm điện trở và dòng điện

TT	Điện trở đặt Rset (kΩ)	Lập trình												Điện trở thực tế (kΩ)	Sai số %	Dòng điện đặt Rset (mA)	Dòng điện thực tế (mA)	Sai số %
		S110k	S220k	S330k	S440k	S51k	S62k	S73k	S84k	S90.1k	S100.2k	S110.3k	S120.4k					
1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0,105	5	495	486	2
2	0,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,208	4	240	245	2
3	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0,525	5	110	105	4,5
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1,03	3	54	52	3,7
5	2	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	2,04	2	28	27	3,6
6	5	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	5,15	3	11,50	11	4
7	10	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10,1	1	6,2	6	5
8	20	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	20,08	0,4	3,09	3	3,2
9	50	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	50,9	1,8	1,2	1,15	4,1
10	100	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	101	1	0.59	0,58	1,7

Kết quả cho thấy, sai số nằm trong phạm vi 1,7-4,1%, hoàn toàn có thể chấp nhận được.

4. KẾT LUẬN

- Từ kết quả nghiên cứu và đo thực nghiệm dùng tổ hợp tải giả khả trình khi tiến hành đo với các giá trị điện trở và dòng khác nhau, nhóm tác giả thấy các sai số chỉ ở mức dưới 5%;
- Trong thực tế khi thử nghiệm rơ le rò, giá trị điện trở rò thay đổi để xác định đặc tính của rơle rò, giá trị này thường lấy tại một số điểm nhất định từ 1kΩ. Coi điện trở chạm đất trong trường hợp xấu nhất là 1kΩ thì rơ le rò phải tác động cắt. Do đó vali tổ hợp tải giả với chức năng thay đổi bước đặt 100Ω với khoảng cách rất mịn có thể đáp ứng hoàn toàn bài toán xác định đặc tính biến dạng của rơle rò;
- Tổ hợp tải giả khả trình có thể phục vụ cho đào tạo và hoàn toàn có thể phát triển thành thiết bị thương mại với giá thành thấp ❐

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Thạc Khánh (2021). *Báo cáo tổng kết Đề tài: Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị bảo vệ dòng điện rò trong các mạng điện mỏ hầm lò có cấp điện áp 660/1140V- KC.05.24/16-20*. Trường Đại học Mỏ- Địa chất.

[2]. N. Kiyoumarsi, P. Mirnia (2016). Robust analog circuits capable of replicating any transfer function. *IET Circuits, Devices & Systems*.

[3]. K. Giler (2017). High-resolution digital-analog resistive emulator based on the PWM technique. *Electronics Letters*.
[4]. Z. Yao (2018). A high-resolution programmable-resistor synthesizer using switched-capacitor techniques. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*.
[5]. J. Heemels (2019). Analog control of resistance values. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*.
[6]. J. Eriksson, Programmable dynamic range resistance emulator circuit, Measurement, 2020
[7]. L. Shao (2020). Digital Resistive Dividermanipulating Reset-Voltage to Implement Wide Range of Resistance. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*.
[8]. https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/pxie-2727-features/page/ pxie-2727-overview.html
[9]. IET Labs a World Standard In Metrology - Home Page

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu cấp cơ sở của Trường Đại học Mỏ-Địa chất, mã số T24-10.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A PROGRAMMABLE ASSUMED LOAD UNIT FOR TESTING INSULATION RESISTANCE OF MINE NETWORKS WITH ISOLATED NEUTRAL

Chuc Thi Ha, Sy Tien Nguyen, Anh Cam Thi Kim, Anh Ngoc Tong

Hanoi University of Mining and Geology, 18 Pho Vien, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR
TYPE: Research Article
Received: 28/7/2024
Revised: 30/8/2024
Accepted: 10/9/2024
* Corresponding author:
Email: hathichuc@humg.edu.vn

ABSTRACT

Protective devices used in isolated 3-phase neutral low-voltage networks used in the mining industry are required to be tested and inspected before being put into operation. For testing, an assumed load combination with variable configuration is required to simulate different operating conditions. Currently, inspection as well as production facilities are commonly using loads that use manual switching, which are relatively cumbersome and complicated during the connection process.

The article presents the results of research, design and development of a programmable assumed load unit for testing the insulation resistance of mine network with isolated neutral.

Keywords: *Programmable assumed load unit; insulation resistance testing; network with isolated neutral*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association