

## **MẠCH TỰ ĐỘNG PHÁT HIỆN VÀ NỔ NGẮN MẠCH PHA RÒ DÙNG CHO MẠNG ĐIỆN MỎ HÀM LÒ ĐIỆN ÁP 1140V**

KIM NGỌC LINH, KIM CẨM ANH, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*  
NGUYỄN VĂN QUÂN, *Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh*

**Tóm tắt:** Để đảm bảo điều kiện an toàn điện giật, các role bảo vệ rò dùng cho mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V cần phải có thêm chức năng phát hiện và tự động nổ ngắn mạch pha rò xuống đất. Thiết bị phát hiện và tự động nổ ngắn mạch pha phải có thời gian tác động nhanh, độ nhạy và độ tin cậy xác định pha rò cao. Nhóm tác giả đã đề xuất một sơ đồ mạch phát hiện và tự động nổ ngắn mạch pha rò làm việc theo nguyên lý phản ứng với hiệu số giữa trị hiệu dụng điện áp của pha có pha vượt trước và tổ hợp điện áp hai pha còn lại và điện áp thứ tự không. Kết quả mô phỏng trên mô hình Matlab Simulink và Electronic Workbench cho thấy sơ đồ có độ tin cậy xác định pha rò cao, độ nhạy không thấp hơn  $18k\Omega$ /pha, thời gian phát hiện pha rò không lớn hơn 20ms, tổng thời gian phát hiện và nổ ngắn mạch pha không lớn hơn 50ms.

### **1. Đặt vấn đề**

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 rò. Đối với cấp điện áp 380V và 660V, các thiết bị bảo vệ 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 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 1140V, 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 giảm dòng rò khoảng khắc và đảm bảo an toàn điện giật, thiết bị bảo vệ rò dùng cho mạng 1140V cần phải có thêm chức năng phát hiện và tự động nổ ngắn mạch pha rò [1], [2]. Mục đích của nghiên cứu này nhằm đề xuất một sơ đồ mạch có khả năng phát hiện và tự động nổ ngắn mạch pha rò xuống đất đảm bảo tính tác động nhanh, có độ nhạy và độ tin cậy cao.

### **2. Kết quả nghiên cứu**

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

Khi chọn giải pháp nổ ngắn mạch pha mạng điện áp 1140V, việc tính toán theo các nguyên tắc: thiết bị nổ ngắn mạch được tính với trị số điện dung cực đại cho phép của mạng điện khu vực mỏ hầm lò là  $1\mu F / pha$ ; tổng thời gian phát hiện và nổ ngắn mạch pha rò kể từ thời điểm người chạm vào một pha của mạng không được vượt quá 0,17s; điện lượng qua người không lớn hơn 50mAs và xét trong trường hợp mạch không có bù thành phần điện dung của dòng điện rò [3], [4].

Để điều khiển thiết bị nổ ngắn mạch pha có người chạm phải xuống đất phải xác định được chính xác pha người chạm phải hoặc bị rò. Có nhiều nguyên lý để thực hiện công việc này. Trong đó, thiết bị phát hiện pha người chạm phải phản ứng theo hiệu số giữa trị hiệu dụng điện áp của pha có pha vượt trước và tổ hợp điện áp hai pha còn lại với điện áp thứ tự không có độ nhạy và độ tin cậy cao nhất [4].

Đối với các thiết bị làm việc theo nguyên lý này, để đảm bảo khả năng làm việc tin cậy và độ nhạy lớn nhất, trị số điện áp ở cửa vào của bộ phận thừa hành nối ngắn mạch mỗi pha phải được xác định theo các biểu thức [4]:

$$U_v(A) = k_1 U_C - (k_2 U_A + k_3 U_B + k_4 U_0), \quad (1)$$

$$U_v(B) = k_1 U_A - (k_2 U_B + k_3 U_C + k_4 U_0), \quad (2)$$

$$U_v(C) = k_1 U_B - (k_2 U_C + k_3 U_A + k_4 U_0), \quad (3)$$

trong đó ký hiệu  $U_v(A)$ ,  $U_v(B)$ ,  $U_v(C)$  tương ứng là điện áp ở cửa vào của cơ cấu thừa hành nối ngắn mạch các pha A, B và C;  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ,  $U_0$  là trị số hiệu dụng của điện áp các pha của mạng và điện áp trung tính của biến áp so với đất (điện áp thứ tự không);  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$  tương ứng là hệ số của các điện áp pha vượt pha trước, pha người chạm phải, pha chậm pha sau và điện áp thứ tự không.

Giá trị tối ưu của các hệ số  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  và  $k_4$  được xác định theo hai trường hợp giới hạn (giả thiết rò pha A).

- Khi không có rò ứng với  $U_v(A)=0$  có:

$$U_A = U_B = U_C = U_f, U_0 = 0 \quad (4)$$

$$\rightarrow U_f(k_1 - k_2 - k_3) = 0$$

- Khi pha A bị ngắn mạch xuống đất

ứng với  $U_v(A) = \sqrt{3}U_f$  có:

$$U_A = 0, U_B = U_C = \sqrt{3}U_f, U_0 = U_f \quad (5)$$

Từ (1) suy ra:

$$\sqrt{3}U_f = k_1 \sqrt{3}U_f - (k_3 \sqrt{3}U_f + k_4 U_f)$$

$$U_f [\sqrt{3}(k_1 - k_3) - k_4] = \sqrt{3}U_f \quad (6)$$

Ngoài ra, để đảm bảo xác định chính xác pha người chạm phải, khi xảy ra ngắn mạch pha A xuống đất, điện áp cửa vào cơ cấu thừa hành nối ngắn mạch pha C cần phải không lớn hơn 0. Điều này đồng thời đảm bảo điện áp vào trên cơ cấu thừa hành nối ngắn mạch pha B có giá trị âm.

Từ (3) xét điều kiện giới hạn  $U_v(C)=0$  có:

$$0 = k_1 \sqrt{3}U_f - (k_2 \sqrt{3}U_f + k_4 U_f)$$

$$U_f [\sqrt{3}(k_1 - k_2) - k_4] = 0 \quad (7)$$

Từ (4), (6) và (7) ta có hệ ba phương trình:

$$\left. \begin{aligned} k_1 - k_2 - k_3 &= 0; \\ \sqrt{3}(k_1 - k_3) - k_4 &= \sqrt{3}; \\ \sqrt{3}(k_1 - k_2) - k_4 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Từ (8) có

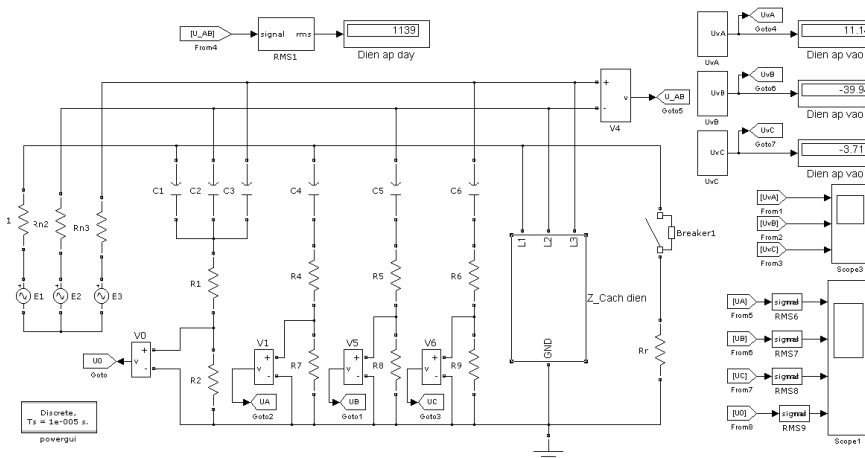
$$k_2 = k_3 + 1; k_1 = k_2 + k_3; k_4 = \sqrt{3}(k_1 - k_2) = \sqrt{3}k_3$$

Nếu chọn hệ số của điện áp pha chậm sau  $k_3=1$  ta tìm được hệ số tối ưu các điện áp pha vượt trước, pha chạm đất, pha chậm sau và điện áp thứ tự không:

$$k_1 = 3; k_2 = 2; k_3 = 1; k_4 = \sqrt{3} \quad (9)$$

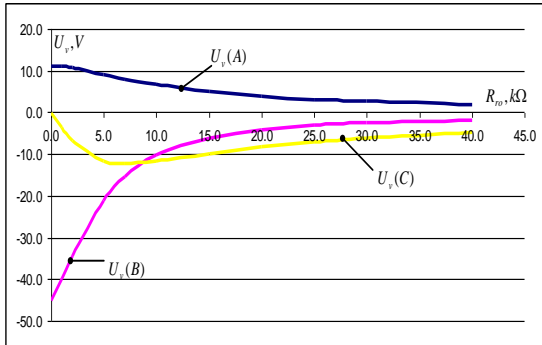
Từ (9) suy ra giữa trị số hiệu dụng của các điện áp theo thứ tự trên phải tuân theo một tỷ lệ:  $3 : 2 : 1 : \sqrt{3}$  sẽ đảm bảo độ nhạy lớn nhất và xác định chính xác pha người chạm phải trong mạng ba pha trung tính cách ly.

Để kiểm tra độ nhạy và độ tin cậy của mạch xác định pha rò theo thuật toán (9) đã tiến hành mô phỏng trên Matlab Simulink. Sơ đồ mô phỏng trên hình 1.

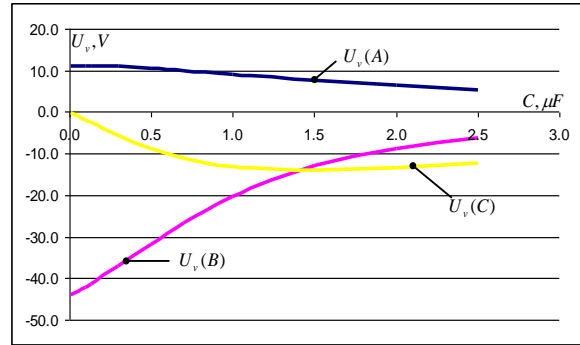


Hình 1. Mô hình Matlab Simulink mô phỏng mạch xác định pha rò

Kết quả mô phỏng vẽ được đồ thị mô tả quan hệ phụ thuộc giữa điện áp đưa vào cơ cấu thừa hành nối ngắn mạch các pha khi điện trở rò và điện dung của mạng thay đổi như hình 2 và 3.



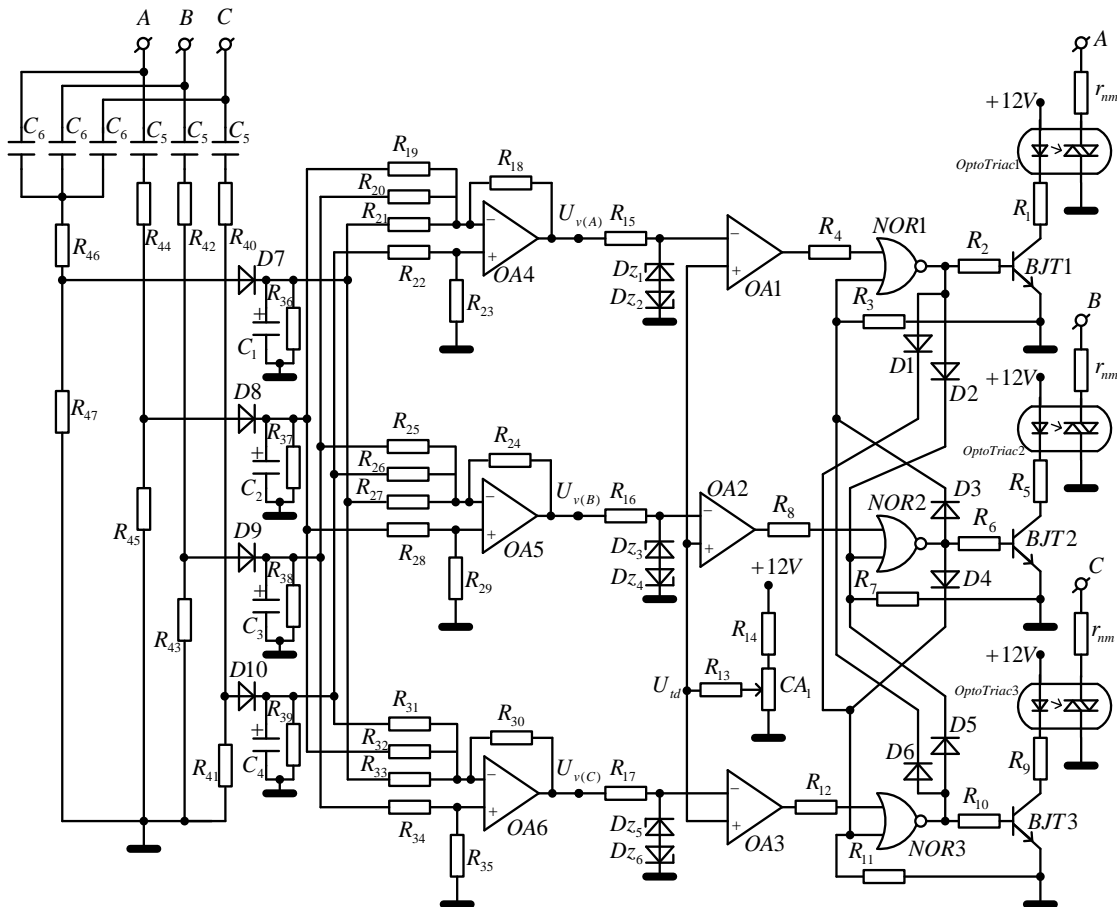
Hình 2. Sự phụ thuộc của điện áp vào cơ cấu thừa hành nối ngắn mạch các pha khi điện trở rò thay đổi thay đổi



Hình 3. Sự phụ thuộc của điện áp vào cơ cấu thừa hành nối ngắn mạch các pha khi điện dung của mạng thay đổi

Từ đồ thị hình 2 và 3 cho thấy, khi điện trở rò thay đổi từ  $1 \Omega$  đến  $40 \text{ k}\Omega$ , điện dung của mạng trong phạm vi thay đổi từ  $0,01 \mu\text{F}$  đến  $2,5 \mu\text{F}$ , điện áp vào cơ cấu thừa hành nối ngắn mạch pha A luôn dương, điện áp vào pha B và C luôn có giá trị âm. Điều này cho thấy, thiết bị tự động phát hiện pha con người chạm phải phản ứng theo hiệu số trị hiệu dụng giữa điện áp pha vượt trước và tổ hợp điện áp hai pha còn lại và điện áp thứ tự không, có khả năng đảm bảo độ nhạy và độ tin cậy phát hiện pha rò rất cao.

Sơ đồ nguyên lý mạch phát hiện và tự động nối ngắn mạch pha được thiết kế như hình 4.



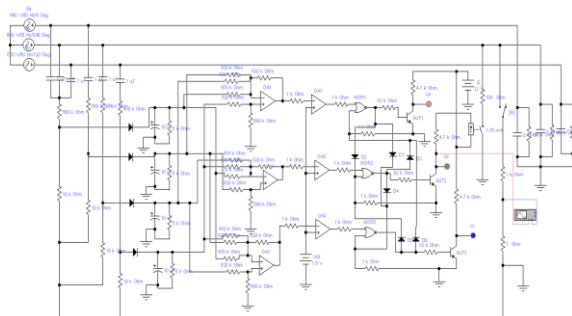
Hình 4. Sơ đồ nguyên lý thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha

Sơ đồ gồm mạch lấy mẫu tín hiệu điện áp các pha và điện áp thứ tự không, mạch thuật toán phát hiện pha rò, mạch thừa hành nối ngắn mạch các pha và mạch khóa liên động.

Trong sơ đồ có 3 kênh giống nhau. Ở mỗi kênh mạch lấy mẫu điện áp pha dùng mạch phân áp gồm tụ điện và hai điện trở (ví dụ pha A là  $C_5, R_{41}, R_{42}$ ). Lấy mẫu điện áp thứ tự không dùng bộ tụ điện đấu sao  $C_6$  và mạch phân áp  $R_{46}, R_{47}$ . Tạo điện áp tỷ lệ với trị số hiệu dụng  $U_A, U_B, U_C$  và  $U_0$  dùng các mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ có lọc bằng tụ điện  $10 \mu F$ . Tín hiệu ra của mạch này tỷ lệ với điện áp các pha của mạng so với đất, cùng với điện áp thứ tự không được đưa tới đầu vào các mạch thuật toán xác định pha rò là các bộ cộng trừ dùng khuếch đại thuật toán OA4, OA5 và OA6. Bộ phận quan trọng nhất của sơ đồ là mạch thuật toán xác định pha có rò. Yêu cầu mạch này phải thực hiện thuật toán tính điện áp vào cơ cấu thừa hành nối ngắn mạch pha (ví dụ pha A) theo quan hệ  $U_v(A) = 3U_C - (2U_A + U_B + \sqrt{3}U_0)$ . Điện áp ra mạch thuật toán xác định pha rò được đưa tới điều khiển khâu thừa hành nối ngắn mạch các pha. Phần tử logic NOR1,2,3 và các điốt D1-D6 làm chức năng khóa liên động để đảm bảo các role nối ngắn mạch các pha không được tác động đồng thời. Role nối ngắn mạch phải có tiếp điểm đóng được dòng khoảng 300mA và chịu được điện áp pha của mạng. Trong sơ đồ chọn role không tiếp điểm là OptoTriac loại FOD4208.

### Nguyên lý làm việc của sơ đồ

Khi không có rò một pha (hoặc rò đối xứng ba pha), điện áp ra của ba kênh đưa tới đầu không đảo của khuếch đại thuật toán OA1, OA2

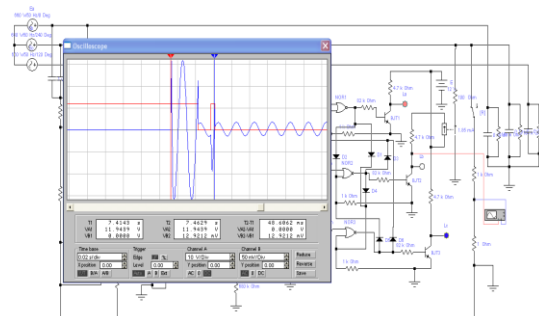


Hình 5. Mạch tự động nối ngắn mạch pha khi không có rò

và OA3 bằng 0, khuếch đại thuật toán bão hòa dương và các đầu ra ở mức logic 1. Mức logic này làm các đầu ra của NOR1, NOR2 và NOR3 ở mức 0. Các tranzito BJT1, BJT2 và BJT3 ở trạng khóa khiến cho các OptoTriac ở trạng thái hở mạch đầu ra.

Khi xuất hiện rò một pha qua điện trở rò, ví dụ con người chạm phải pha A, điện áp đầu ra của OA4 là  $U_v(A)$  có giá trị dương vượt quá giá trị ngưỡng  $U_{td}$  làm OA1 chuyển sang bão hòa âm, điện áp đầu ra của OA5 và OA6 có giá trị âm nên OA2 và OA3 vẫn ở trạng thái bão hòa dương như trước. Tín hiệu đầu ra OA1 ở mức 0 làm đầu ra NOR1 ở mức 1, tranzito BJT1 mở bão hòa cấp điện cho OptoTriac 1 mắc sun điện trở rò qua điện trở  $R_{nm}$ . Đồng thời, mức logic 1 ở cửa ra của NOR1 qua điốt D1 và D2 đưa tới đầu vào thứ hai của các phần tử NOR3 và NOR2 của kênh C và B làm cho đầu ra của chúng ở mức logic 0, khóa liên động không cho phép OptoTriac của hai pha còn lại tác động.

Để kiểm tra khả năng làm việc của sơ đồ đã tiến hành mô phỏng trên phần mềm Electronic Workbench. Kết quả mô phỏng khi mạng không có rò trên hình 5 và khi có rò một pha qua điện trở  $1 k\Omega$  trên hình 6. Khảo sát thời gian tác động của sơ đồ khi rò một pha qua điện trở  $1 k\Omega$  cũng được thể hiện trên hình 6. Từ đồ thị trên hình 6 cho thấy, thời gian tác động của thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha không vượt quá 50ms (thời gian cho phép là từ 0,12s đến 0,17s). Điều này chứng tỏ sơ đồ có thời gian tác động nhanh, đáp ứng tốt yêu cầu của thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha.



Hình 6. Mạch tự động nối ngắn mạch pha khi rò pha B qua điện trở  $1 k\Omega$

Kết quả mô phỏng cho thấy, độ nhạy của sơ đồ khi điện dung và điện trở cách điện của mạng so với đất  $C = 1\mu F / pha$ ,  $R = 60k\Omega / pha$  là không thấp hơn  $18k\Omega / pha$ ; thời gian phát hiện rò khi rò một pha qua điện trở  $1k\Omega$  là không quá 20ms; tổng thời gian phát hiện và nối ngắn mạch pha khi rò một pha qua điện trở  $1k\Omega$  là không quá 50ms; giá trị lớn nhất của dòng rò khoảng khắc sau khi nối ngắn mạch pha không quá 30mA.

### 3. Kết luận

- Mạch tự động phát hiện pha rò phản ứng theo hiệu số giữa trị hiệu dụng điện áp của pha có pha vượt trước và tổ hợp điện áp hai pha còn lại với điện áp thứ tự không theo quan hệ tỷ lệ (9) có độ nhạy và độ tin cậy xác định pha rò cao, phù hợp với điều kiện các mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V.

- Sơ đồ mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò được thiết kế trên hình 4 có cấu tạo đơn giản, thời gian tác động nhanh, độ nhạy và độ tin cậy xác định pha rò cao, có thể sử dụng các linh kiện điện tử thông dụng.

- Kết quả nghiên cứu trên có thể tham khảo để thiết kế mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha rò dùng cho các mạng điện mỏ cấp điện áp 6kV, nhằm đảm bảo điều kiện an toàn điện giật.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kim Ngọc Linh, Kim Cẩm Ánh, Nguyễn Văn Quân, 2014. Hạn chế dòng điện rò trong mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V bằng giải pháp nối ngắn mạch pha. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 4/2014, tr. 7-10.
- [2]. Вареник Е.А., Принципы построения защиты от токов утечки для сетей напряжением 1200 В, <http://vde.nmu.org.ua/ua/science/ntz/archive/72/1.pdf>
- [3]. Новоселов В.А., 2013. Электрификация поджженных горных работ, Новокузнецк.
- [4]. Ягудаев Б.М. Серов В.И., Шуцкий В.И., 1985. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю, "Наука", Москва.

### ABSTRACT

#### An automatic detection and earthed leakage phase circuit for 1140V underground mine power supply system

**Kim Ngoc Linh, Kim Cam Anh, Hanoi University of Mining and Geology**  
**Nguyen Van Quan, Quang Ninh University of Industry**

To ensure safe conditions of electric shock, protective relays applied in the 1140V underground mine power supply system must have the automatic detection and earthed leakage phase functions. These relays should have fast response time; sensitivity and reliability in the case of detect the leakage phase. In this paper, authors propose an automatic detection and earthed leakage phase circuit diagram. The circuit operates based on difference between RMS value of lead-phase voltage and combination of two lag-phases and zero sequence voltages. The Matlab Simulink and Electronic Workbench simulation results show that proposed circuit have high reliability for leakage phase detection; sensitivity no less than  $18k\Omega$  per phase; detection time for leakage phase less than 20 ms; total time for detection and earthed the leakage phase is not exceed 50ms.