

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

---

**TRẦN QUỐC HOÀN**

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ TIN CẬY  
CUNG CẤP ĐIỆN KHI XẢY RA CHẠM ĐẤT MỘT PHA  
Ở CÁC MẠNG ĐIỆN 6KV MỎ LỘ THIÊN  
VÙNG QUẢNG NINH**

**Ngành: Kỹ thuật điện**

**Mã số: 9.52.02.01**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT ĐIỆN**

**Hà Nội - 2022**

Công trình được hoàn thành tại:  
**Bộ môn Điện khí hóa, Khoa Cơ điện**  
**Trường Đại học Mở - Địa chất**

Người hướng dẫn khoa học:

**PGS.TS. Nguyễn Anh Nghĩa**  
Trường Đại học Mở - Địa chất

Phản biện 1: **PGS.TS Bùi Đình Tiểu**  
Trường ĐH Bách khoa Hà Nội

Phản biện 2: **PGS.TS Đỗ Anh Tuấn**  
Viện Ứng dụng công nghệ

Phản biện 3: **TS. Đào Đắc Tuyên**  
Hội khoa học và Công nghệ mở Việt Nam

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án Tiến sĩ  
cấp trường tại .....

Vào hồi .....giờ, ngày.....tháng.....năm 2022

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- 1. Thư viện Trường Đại học Mở - Địa chất**
- 2. Thư viện Quốc gia Việt Nam**

# MỞ ĐẦU

## 1. Lý do chọn đề tài

Sự cố chạm đất một pha là dạng hư hỏng chủ yếu thường xảy ra ở các mạng điện 6kV mở lộ thiên vùng Quảng Ninh, thường chiếm 70%÷80% tổng số các sự cố xảy ra trong mạng điện. Qua kết quả thống kê cho thấy, ở các mỏ khai thác lộ thiên, tần suất xảy ra sự cố chạm đất một pha lưới 6kV dao động trong khoảng 60-70 lần/tháng, nghĩa là khoảng 700÷800 lần/năm[3].

Khi xảy ra sự cố chạm đất một pha trên lưới điện sẽ xuất hiện hiện tượng quá độ và quá điện áp ở các pha không bị sự cố ảnh hưởng lớn đến chất lượng điện năng cũng như độ tin cậy cung cấp điện, gây ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng làm việc và tuổi thọ của các thiết bị điện, đồng thời gây mất đối xứng lưới điện.

Vì vậy việc nghiên cứu xây dựng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha ở các mạng điện 6kV mở lộ thiên vùng Quảng Ninh có ý nghĩa khoa học, thực tiễn và mang tính cấp thiết.

## 2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài luận án

Nghiên cứu, xây dựng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha ở các mạng điện 6kV mở lộ thiên vùng Quảng Ninh.

## 3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

### - Ý nghĩa khoa học:

+ Xây dựng quan hệ phụ thuộc giữa điện dung cách điện và điện dẫn cách điện của mạng so với đất theo các thông số cấu trúc của mạng và môi trường khai thác mỏ vùng Quảng Ninh, làm cơ sở mô hình hóa mạng điện 6kV mở lộ thiên

+ Nghiên cứu xây dựng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha, đảm bảo an toàn cho người và thiết bị khi vận hành mạng điện 6kV mở lộ thiên vùng Quảng Ninh.

- **Ý nghĩa thực tiễn:**

Xây dựng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất trong phòng thí nghiệm đảm bảo độ nhạy, tin cậy và tác động nhanh ứng dụng cho mạng 6kV ở các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh.

**4. Đối tượng nghiên cứu**

Mạng điện trung tính cách ly 6kV ở các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh

**5. Phạm vi nghiên cứu**

- Các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh;
- Độ tin cậy cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha: làm giảm thời gian ngừng cung cấp điện;
- Nghiên cứu xây dựng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha ở các mạng điện 6kV mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh.

**6. Phương pháp nghiên cứu**

Nghiên cứu lý thuyết kết hợp nghiên cứu thực nghiệm.

Sử dụng kỹ thuật hiện đại, phần mềm mô phỏng để giải quyết bài toán thực tế.

**7. Các kết quả (mới) dự kiến sẽ đạt được của đề tài**

Xây dựng được quan hệ phụ thuộc giữa điện dung và điện dẫn cách điện của mạng so với đất theo các thông số cấu trúc của mạng và môi trường khai thác lộ thiên vùng Quảng Ninh.

Nghiên cứu lựa chọn giải pháp tự động phát hiện pha chạm đất; xây dựng sơ đồ cấu trúc, mô phỏng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất đảm bảo an toàn, giảm dòng sự cố và giảm tia lửa hồ quang tại điểm chạm đất chập chờn; tăng độ tin cậy cung cấp điện, giảm thời gian ngừng cung cấp điện: tăng điện áp dư ở pha chạm đất, giảm quá áp ở các pha không sự cố làm tăng độ bền cách điện và giảm số lần đóng ngắt.

Nghiên cứu xây dựng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất trong phòng thí nghiệm ứng dụng cho các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh.

**8. Kết cấu của luận án**

Luận án được trình bày gồm Phần mở đầu, kết luận, 04 chương trong 122 trang và phần phụ lục.

# Chương 1

## TỔNG QUAN VỀ CÁC GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ TIN CẬY, GIẢM THỜI GIAN NGỪNG CUNG CẤP ĐIỆN KHI XẢY RA CHẠM ĐẤT MỘT PHA

### 1.1. Độ tin cậy của lưới điện

1.1.1. Nguyên nhân gây ra mất điện và thiệt hại do mất điện

1.1.2. Ảnh hưởng của độ tin cậy đến cấu trúc của lưới điện và hệ thống điện

1.1.3. Độ tin cậy của các phần tử của lưới điện

1.1.4. Các chỉ tiêu độ tin cậy của lưới điện[3, 20]

Trong nghiên cứu độ tin cậy của lưới điện thường dùng các chỉ tiêu độ tin cậy chính như:

- Số lần ngừng điện trung bình cho 1 phụ tải trong 1 năm (trong trường hợp dùng thiết bị nối ngắn mạch khi xảy ra chạm đất, số lần ngừng điện trung bình trong 1 năm sẽ giảm đáng kể, kết quả sẽ được thống kê nếu sử dụng thiết bị nối ngắn mạch pha chạm đất);

- Thời gian ngừng điện trung bình cho 1 phụ tải trong 1 năm (tương tự thời gian ngừng cung cấp điện trong 1 năm sẽ giảm đáng kể nếu dùng thiết bị nối ngắn mạch pha sự cố chạm đất);

- Điện năng mất do ngừng điện (tương tự điện năng mất do ngừng điện sẽ giảm khi dùng thiết bị nối ngắn mạch);

- Tổn thất kinh tế do mất điện.

1.1.5. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến độ tin cậy của lưới điện, các biện pháp nâng cao độ tin cậy

- Tổ chức tốt cấu trúc lưới điện, sơ đồ lưới điện có dự phòng cao có khả năng điều khiển linh hoạt từ xa hoặc tự động.

- Tổ chức tốt hệ thống quy hoạch, điều khiển vận hành và hệ thống quản lý. Trong quy hoạch phải chọn được cấu trúc tối ưu của lưới điện, không phải chỉ đơn thuần lựa chọn sơ đồ và các thiết bị lực mà phải lựa chọn cả hệ thống điều khiển, phải tiên liệu tiến bộ khoa học kỹ thuật vận dụng nó vào việc xây dựng cấu trúc của lưới điện trong tương lai. Trong vận hành phải xử lý nhanh nhất khi sự cố: ví dụ như khi xảy ra sự cố chạm đất chập chờn cần phải xử lý kịp thời: dùng thiết bị nối ngắn mạch pha sự cố để tăng điện áp dư, giảm thời gian ngừng cung cấp điện, sau 60s nếu hết thì hệ thống trở lại làm việc bình

thường, cắt khi không loại trừ được sự cố.

- Không ngừng nâng cao tay nghề của nhân viên vận hành và tạo điều kiện để họ làm việc tốt để tránh sai sót trong điều khiển vận hành.

- Dự báo chính xác phụ tải và thời tiết để có các biện pháp vận hành thích ứng giảm nguy cơ sự cố, mất điện.

Độ tin cậy là bài toán tối ưu có nghĩa là sẽ có mức tin cậy hợp lý dung hòa các yếu tố liên quan đến độ tin cậy như vốn đầu tư cho lưới điện, tổn thất do mất điện...

## **1.2. Các giải pháp nâng cao độ tin cậy, giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha ở các nước trên Thế giới**

1.2.1. Thiết bị giám sát trạng thái cách điện của mạng

1.2.2. Tối ưu chế độ trung tính của mạng

1. Bù dòng điện dung khi chạm đất một pha

2. Trung tính nối đất qua cuộn Peterson và điện trở mắc song song

3. Nối đất trung tính qua điện trở có trị số cao

4. Nối đất trung tính qua điện trở có trị số thấp

1.2.3. Phương pháp tự động mắc song pha sự cố chạm đất

1. Cơ sở lý thuyết xây dựng thiết bị xác định pha chạm đất

2. Thiết bị phản ứng với sự giảm giá trị tuyệt đối điện áp pha chạm đất (hay sự tăng trị tuyệt đối điện áp hai pha không chạm đất) [33,37,43, 48]

3. Thiết bị phản ứng với tổng (hoặc hiệu) vectơ điện áp chuẩn và điện áp thứ tự không

4. Thiết bị phản ứng với sự giảm điện áp chỉnh lưu của pha chạm đất

5. Thiết bị phản ứng với góc lệch pha giữa điện áp pha và điện áp thứ tự không

6. Thiết bị xác định pha chạm đất phản ứng theo hiệu số trị tuyệt đối giữa điện áp pha vượt trước và tổ hợp điện áp hai pha còn lại và điện áp thứ tự không

7. Thiết bị phản ứng theo hiệu trị tuyệt đối điện áp giữa pha vượt trước và pha chạm đất.

## **1.3. Các giải pháp nâng cao độ tin cậy, giảm thời gian ngừng cung**

## **cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha ở Việt Nam**

Năm 1986÷1988 đã tiến hành thiết kế, chế tạo và lắp đặt hệ thống role bảo vệ chọn lọc chạm đất một pha cho các khối hành 6kV của trạm biến áp trung gian 35/6 kV mỏ than Mạo Khê Quảng Ninh. Trong công trình này các tác giả đã sử dụng phương pháp lí thuyết trường điện từ để tính điện dung của mạng so với đất (bỏ qua ảnh hưởng điện dẫn của mạng so với đất), sau đó kết hợp với việc đo thực nghiệm để xác định dòng điện chạm đất của các khối hành và chỉnh định các role bảo vệ.

Năm 1994÷1996 [6] đã xác định các thông số điện dung C và điện dẫn G của mạng điện so với đất, dựa vào kết quả đo thực nghiệm đã xác định được quy luật thay đổi của điện dung C và điện dẫn G của mạng điện 6kV ở các mỏ Việt Nam, kết quả được mô tả như sau:

$$C = a_0 + a_1 \cdot N + a_2 \cdot L_{dqđ} + a_3 \cdot L_{cqđ}$$

$$G = b_0 + b_1 \cdot N + b_2 \cdot L_{dqđ} + b_3 \cdot L_{cqđ}$$

trong đó:  $a_0, a_1, a_2; b_0, b_1, b_2$  – hệ số thực nghiệm xác định trong điều kiện Việt Nam;  $L_{dqđ}, L_{cqđ}$  – chiều dài đường dây trên không và chiều dài cáp qui đổi về tiết diện  $50\text{mm}^2$ .

Năm 2015 [10] nghiên cứu đảm bảo điều kiện an toàn điện giật trong các mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V vùng Quảng Ninh theo sơ đồ mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch theo nguyên lý phản ứng với hiệu số trị tuyệt đối giữa điện áp pha vượt trước và tổ hợp điện áp hai pha còn lại và điện áp thứ tự không.

Năm 2016 [4] đã xây dựng được quan hệ thực nghiệm thể hiện mối quan hệ phụ thuộc giữa điện dung cách điện và điện dẫn cách điện của pha so với đất theo các thông số cấu trúc của mạng vùng Cẩm Phả - Quảng Ninh và đưa ra giải pháp mắc điện trở hạ áp vào cuộn tam giác hở của máy biến áp đo lường làm giảm quá điện áp khi chạm đất một pha.

Gần đây một số công trình nghiên cứu về vấn đề chạm đất một pha được thực hiện theo phương hướng: Lựa chọn giá trị và loại role hợp lý để bảo vệ chạm đất, nâng cao độ nhạy và tính chọn lọc [3-42]; Xây dựng các phương pháp xác định các thông số cách điện của mạng trung tính cách ly so với đất [4].

#### **1.4. Nhận xét chương 1**

- Đối với Việt Nam đặc biệt là các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh chưa có một công trình nào nghiên cứu chuyên sâu về nâng cao độ tin cậy cung cấp điện khi xảy ra sự cố chạm đất một pha trong mạng trung tính cách ly 6kV.

- Chưa có nghiên cứu nào tập trung theo hướng dự báo tình trạng cách điện của mạng điện trung tính cách ly ở các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh ứng với các trạng thái làm việc khác nhau của phụ tải khi nhiệt độ và độ ẩm thay đổi theo năm.

- Một số công trình trong và ngoài nước (từ năm 2016 trở về trước) đã sử dụng phương pháp đo thực nghiệm để xây dựng quan hệ phụ thuộc giữa các thông số cách điện của mạng (điện dung và điện dẫn) với cấu trúc mạng.

- Hiện nay do điều kiện biến đổi khí hậu đã thay đổi nhiều cùng với những biến đổi đột biến và sản lượng khai thác, điều kiện địa chất, kỹ thuật hiện đại đã thay đổi nhiều nên các kết quả nghiên cứu như trên không còn phù hợp.

- Các công trình nghiên cứu về giải pháp tự động mắc sơn khi chạm đất một pha đều được tính trong điều kiện điện trở cách điện lý tưởng, chỉ xét đến điện dung của mạng, chưa thỏa đáng trong điều kiện thực tế các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh.

- Xác định các quan hệ phụ thuộc dựa vào thực tế hiện tại theo cấu trúc và môi trường thực tế (nhiệt độ, độ ẩm) phù hợp với nhu cầu phát triển của xã hội.

- Giải pháp tự động nối ngắn mạch pha sự cố được coi là giải pháp cơ bản để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện khi xảy ra sự cố chạm đất một pha trong mạng trung tính cách ly 6kV.

- Nghiên cứu xây dựng cấu trúc thiết bị nối ngắn mạch pha chạm đất mạng 6kV mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh theo hệ số trị tuyệt đối giữa điện áp pha vượt trước và pha sự cố với cấu trúc đơn giản, số phần tử ít nhất mà vẫn đảm bảo độ nhạy cao, thời gian tác động nhanh mang tính cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.



## Chương 2

# XÁC ĐỊNH QUAN HỆ PHỤ THUỘC GIỮA CÁC THÔNG SỐ CÁCH ĐIỆN VỚI CÁC THÔNG SỐ CẤU TRÚC MẠNG VÀ MÔI TRƯỜNG MỎ LỘ THIÊN VÙNG QUẢNG NINH

## 2.1. Xác định các thông số cách điện của mạng điện 6kV mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh

2.1.1. Lựa chọn phương pháp đo

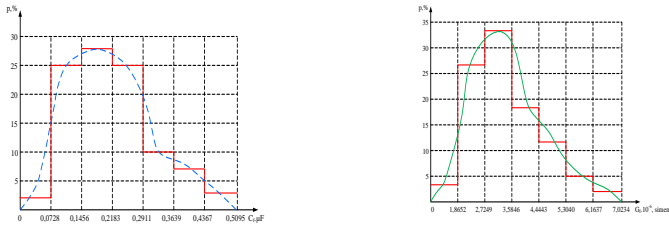
2.1.2. Xác định số lượng các phép đo cần thiết

2.1.3. Cơ sở lý thuyết xác định C và G

2.1.4. Đo thực nghiệm

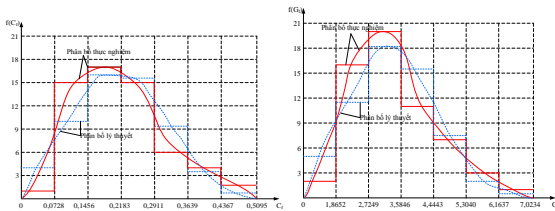
## 2.2. Xây dựng quan hệ phụ thuộc giữa điện dung cách điện $C_f$ và điện dẫn cách điện $G_f$ của mạng so với đất theo các thông số cấu trúc của mạng và môi trường

2.2.1. Tần suất xuất hiện điện dung C và điện dẫn G giữa cách điện pha - đất



**Hình 2.4.** Đồ thị tần suất xuất hiện điện dung  $C_f$  và điện dẫn  $G_f$  cách điện pha so với đất

2.2.2. Kiểm tra tính phân bố chuẩn của điện dung và điện dẫn cách điện



**Hình 2.5.** Đồ thị hàm phân bố chuẩn mật độ điện dung và điện dẫn đối với mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh

2.2.3. Quy đổi tiết diện đường dây trên không và cáp về tiết diện quy chuẩn

2.2.4. Tổng hợp kết quả tính toán

2.2.5. Xây dựng quan hệ phụ thuộc giữa điện dung cách điện  $C_f$  và điện dẫn cách điện  $G_f$  với môi trường và các thông số cấu trúc của mạng 6kV mở lộ thiên.

a) Phương trình mô tả mối quan hệ của điện dung cách điện  $C_f$

$$C_f = -0,45706 + 0,00555 \cdot D_a - 0,0005 \cdot T_d + 0,00594 \cdot N_{BA} + 0,01839 \cdot N_{dc} + 7,95 \cdot 10^{-6} \cdot L_{TK.qđ} + 0,00015 L_{C.qđ}, \mu F \quad (2.23)$$

b) Phương trình mô tả mối quan hệ điện dẫn cách điện  $G_f$

$$G_f = 0,5298 + 0,006064 \cdot D_a - 0,0042 \cdot T_d + 0,05288 \cdot N_{BA} + 0,064474 \cdot N_{dc} + 0,000144 \cdot L_{TK.qđ} + 0,001686 \cdot L_{C.qđ}, S \quad (2.24)$$

Dựa vào phương trình hồi quy nhận được cho thấy:

- Nếu số lượng động cơ  $N_{DC}$ , nhiệt độ  $T_d$ , độ ẩm  $D_a$ , chiều dài đường dây trên không  $L_{TK.qđ}$  và cáp  $L_{C.qđ}$  không thay đổi thì cứ tăng 1 máy biến áp  $N_{BA}$  sẽ làm cho điện dung và điện dẫn cách điện pha của mạng tăng ( $C_f$  tăng thêm  $0,00594 \mu F$ ;  $G_f$  sẽ tăng thêm  $0,05288 \cdot 10^{-6}$  Simen).

- Nếu số lượng máy biến áp  $N_{BA}$ , nhiệt độ  $T_d$ , độ ẩm  $D_a$ , chiều dài đường dây trên không  $L_{TK.qđ}$  và cáp  $L_{C.qđ}$  không thay đổi thì cứ tăng 1 động cơ điện  $N_{DC}$  sẽ làm cho điện dung và điện dẫn cách điện pha của mạng tăng ( $C_f$  tăng thêm  $0,01839 \mu F$ ;  $G_f$  sẽ tăng thêm  $0,064474 \cdot 10^{-6}$  Simen).

- Nếu số lượng động cơ  $N_{DC}$ , nhiệt độ  $T_d$ , độ ẩm  $D_a$ , máy biến áp  $N_{BA}$  và chiều dài đường cáp  $L_{C.qđ}$  không thay đổi thì cứ tăng thêm 1km đường dây trên không quy đổi  $L_{TK.qđ}$  điện dung và điện dẫn cách điện pha của mạng tăng ( $C_f$  sẽ tăng thêm  $7,95 \cdot 10^{-6} \mu F$ ;  $G_f$  sẽ tăng thêm  $0,000144 \cdot 10^{-6}$  Simen).

- Nếu số lượng động cơ  $N_{DC}$ , nhiệt độ  $T_d$ , độ ẩm  $D_a$ , máy biến áp  $N_{BA}$  và chiều dài đường dây trên không  $L_{TK.qđ}$  không thay đổi thì cứ tăng thêm 1km đường dây cáp quy đổi  $L_{C.qđ}$  điện dung và điện dẫn cách điện pha của mạng tăng ( $C_f$  sẽ tăng thêm  $0,00015 \mu F$ ;

- Điểm xuất phát của mô hình  $a_0 = -0,45706$  cho thấy các nhân

tổ khác ảnh hưởng đến điện dung cách điện pha của mạng  $C_f$  là  $0,45706 \mu\text{F}$ ;

- Điểm xuất phát của mô hình  $b_0=0,529854$  cho thấy các nhân tố khác ảnh hưởng đến điện dẫn cách điện pha của mạng  $G_f$  là  $0,529854 \cdot 10^{-6}$  Simen;

- Multiple  $C_f$  ( $R=0,908382$ ) và Multiple  $G_f$  ( $R=0,999701077$ ) cho thấy mối quan hệ giữa các biến là rất chặt chẽ;

-  $R^2=0,825157$  cho thấy trong 100% giá trị điện dung cách điện pha thì có 82,5157% ảnh hưởng là do số lượng máy biến áp, nhiệt độ  $T_d$ , độ ẩm  $D_a$ , động cơ, đường dây trên không và đường cáp, còn lại các yếu tố ngẫu nhiên và các yếu tố khác có ảnh hưởng không đáng kể.

-  $R^2=0,996182$  cho thấy trong 100% giá trị điện dẫn cách điện pha thì có 0,991515% ảnh hưởng là do số lượng máy biến áp, động cơ, nhiệt độ  $T_d$ , độ ẩm  $D_a$ , đường dây trên không và đường cáp, các yếu tố ngẫu nhiên và các yếu tố khác có ảnh hưởng không đáng kể.

-  $C_f: F = 41,68819306$  với xác suất *Significance F* =  $2,30721\text{E}-18$  nhỏ hơn xác suất ý nghĩa 0,02 nên phương trình hồi quy tuyến tính được chấp nhận.

-  $G_f: F = 1150,044$  với xác suất *Significance F* =  $2,9 \cdot 10^{-54}$  nhỏ hơn xác suất ý nghĩa 0,02 nên phương trình hồi quy tuyến tính được chấp nhận.

### 2.3. Nhận xét chương 2

- Lựa chọn phương pháp đo dùng 3 Vôn mét có nhiều ưu điểm nổi trội như đã phân tích ở trên để xác định điện dung  $C$  và điện dẫn pha của mạng so với đất là phù hợp.

- Xây dựng được quan hệ thực nghiệm giữa điện dung  $C_f$  và điện dẫn  $G_f$  cách điện của pha so với đất phụ thuộc vào các thông số môi trường (nhiệt độ, độ ẩm) và cấu trúc mạng mở lộ thiên vùng Quảng Ninh:

$$C_f = -0,45706 + 0,00555 \cdot D_a - 0,0005 \cdot T_d + 0,00594 \cdot N_{BA} + 0,01839 \cdot N_{dc} + 7,95 \cdot 10^{-6} \cdot L_{Tk.qđ} + 0,00015 L_{C.qđ}, \mu\text{F} \quad (2.23)$$

$$G_f = 0,5298 + 0,006064 \cdot D_a - 0,0042 \cdot T_d + 0,05288 \cdot N_{BA} + 0,064474 \cdot N_{dc} + 0,000144 \cdot L_{Tk.qđ} + 0,001686 \cdot L_{C.qđ}, S \quad (2.24)$$

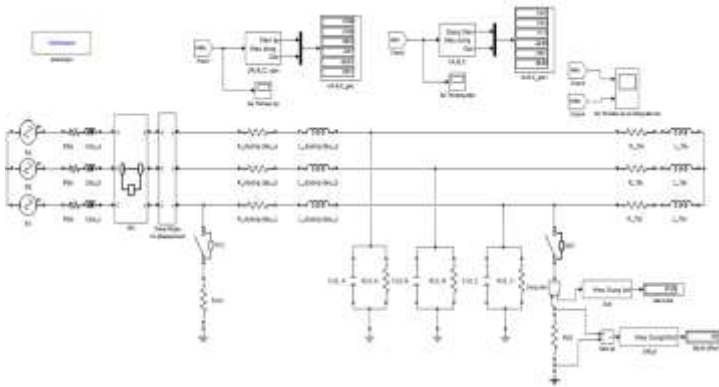
### Chương 3

## NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG THIẾT BỊ TỰ ĐỘNG PHÁT HIỆN VÀ NÓI NGẮN MẠCH PHA CHẠM ĐẤT ĐẢM BẢO AN TOÀN VÀ NÂNG CAO ĐỘ TIN CẬY CUNG CẤP ĐIỆN MẠNG 6kV MỎ LỘ THIÊN VÙNG QUẢNG NINH

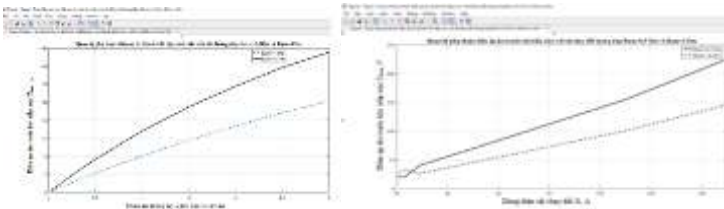
### 3.1. Điện áp dư và dòng chạm đất mạng 6kV mỏ lộ thiên khi nối ngắn mạch pha chạm đất

#### 3.1.1. Cơ sở lý thuyết

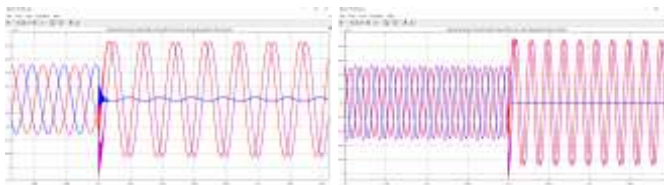
3.1.2. Mô phỏng quan hệ phụ thuộc giữa điện áp dư (trước khi tiếp xúc) trên pha chạm đất với dòng tải, chiều dài dây dẫn và điện trở ngắn mạch thay đổi trong mạng 6kV



**Hình 3.3.** Sơ đồ mô phỏng mạng 6kV khi có chạm đất 1 pha và khi đóng điện trở ngắn mạch  $R_{nm}$



**Hình 3.4.** Quan hệ phụ thuộc giữa điện áp dư (trước khi tiếp xúc) trên pha sự cố với chiều dài dây dẫn và dòng tải ứng với điện trở ngắn mạch  $R_{nm} = 0,5\Omega$  và  $4\Omega$  và  $l=3\text{km}$  [3].



**Hình 3.5** a- Điện áp trên thanh cái tại thời điểm chạm đất  $t=0,3s$  khi chưa đóng  $R_{nm}$  ; b- Điện áp trên thanh cái tại thời điểm chạm đất  $t=0,3s$  khi đóng  $R_{nm}=0,5\Omega$  với  $R_{cd}=4\Omega$ .

### 3.1.3. Nhận xét

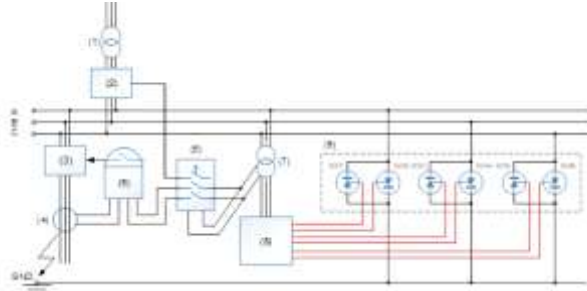
Chiều dài thực tế của mạng và khoảng cách từ điểm đặt thiết bị đóng tự động đến điểm chạm đất có thể tăng 2÷3 lần so với chiều dài giới hạn cho phép theo điều kiện an toàn khi không ngắt mạng. Khi đó điện áp tiếp xúc gây ra có thể đạt tới 100÷155V - khi chiều dài mạng thay đổi 0÷3km; 145÷225V - khi tải thay đổi 20÷150A. Sử dụng giải pháp mắc sun tự động nhiều vị trí kết hợp với giải pháp ngắt bảo vệ làm phức tạp hệ thống bảo vệ và mất tính ưu việt của thiết bị nối ngắn mạch là đảm bảo tính liên tục trong cấp điện.

Thiết bị bảo vệ tự động nối ngắn mạch dùng làm phương tiện nâng cao độ tin cậy cung cấp điện khi xảy ra chạm đất thay thiết bị tự động đóng dự phòng. Mặc dù điện áp dư tại vị trí chạm đất, có thể dao động trong giới hạn 20 - 225V, việc ứng dụng thiết bị bảo vệ tự động mắc sơn tác động nhanh để hạn chế dòng sự cố, đảm bảo khả năng phục hồi nhanh điện áp trên pha sự cố, không đánh bực cách điện ở các pha còn lại, làm giảm quá điện áp tại thời điểm chạm đất (từ 3-4 lần xuống 2,08 lần), dập tắt các tia lửa tại vị trí hỏng hóc, không làm gián đoạn cung cấp điện.

## 3.2. Nghiên cứu xây dựng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất mạng 6kV mở lộ thiên vùng Quảng Ninh

3.2.1. Các yêu cầu đối với thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất[33][37][51][66]

3.2.2. Cấu trúc của thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất[48, 52, 76]



**Hình 3.6.** Cấu trúc thiết bị phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất  
 1 - Máy biến áp; 2 - máy cắt; 3 - máy cắt bảo vệ; 4 - biến dòng; 5 - thiết bị bảo vệ chạm đất chọn lọc; 6 - bảo vệ dự trữ không chọn lọc; 7 - máy biến áp đo lường; 8 - mạch điều khiển bao gồm cả khối xác định pha sự cố; 9 - khối các thyristo nối ngắn mạch pha sự cố.

### 3.2.3. Cơ sở xây dựng thiết bị xác định pha chạm đất[48,50, 79]

3.2.3.1. Điện áp pha và điện áp thứ tự không khi xảy ra chạm đất một pha

3.2.3.2. Các nguyên lý xây dựng thiết bị xác định pha chạm đất

a) Theo sự giảm điện áp pha chạm đất (trong khi điện áp hai pha không chạm đất tăng);

b) Theo góc lệch pha giữa điện áp pha chạm đất và điện áp thứ tự không;

c) Theo hiệu số trị tuyệt đối giữa hai đại lượng điện, một là điện áp pha vượt trước, thành phần còn lại là tổ hợp điện áp của pha chạm đất pha chạm sau và điện áp thứ tự không.

d) Theo hiệu trị tuyệt đối của pha vượt trước và pha chạm đất.

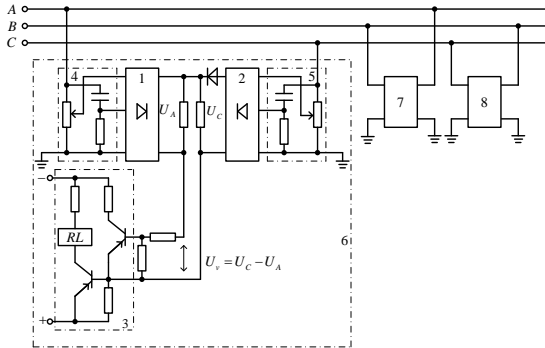
Phân tích các nguyên lý như đã nêu ở trên có thể nhận thấy rằng, nguyên lý a) có nhược điểm là độ nhạy không cao ( $1 \div 2k\Omega/\text{pha}$  trong mạng có  $C=1\mu\text{F}$ ). Nguyên lý b,c cho phép lựa chọn pha chạm đất với độ nhạy cao hơn nhưng có cấu trúc phức tạp. Nguyên lý d có cấu trúc đơn giản hơn với số phần tử ít nhất mà vẫn đảm bảo độ nhạy cao. Nội dung của nguyên lý d như sau[36]:

$$U_V(A) = |U_C| - |U_A| \quad (3.21)$$

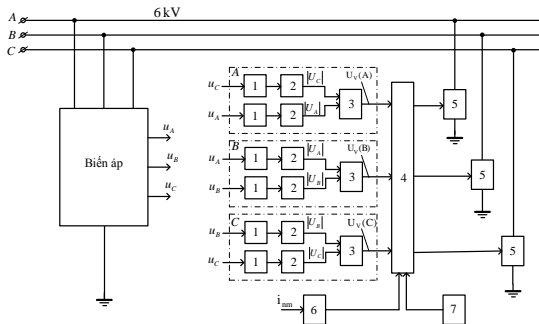
$$U_V(B) = |U_A| - |U_B| \quad (3.22)$$

$$U_V(C) = |U_B| - |U_C| \quad (3.23)$$

3.2.3.3. Sơ đồ khối thiết bị xác định pha chạm đất dựa trên hiệu trị số tuyệt đối giữa điện áp pha vượt trước và pha chạm đất



**Hình 3.8.** Sơ đồ khối thiết bị xác định pha chạm đất dựa trên hiệu trị số tuyệt đối giữa điện áp pha vượt trước và pha chạm đất  
**3.3. Xây dựng sơ đồ khối thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất**



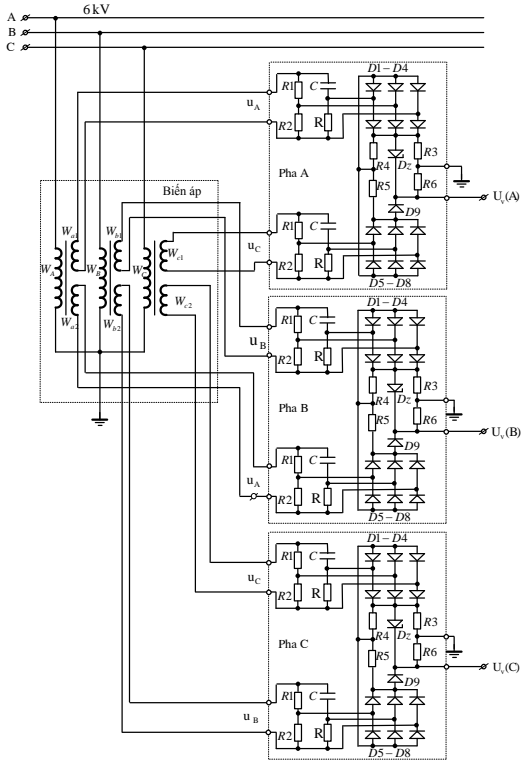
**Hình 3.10.** Sơ đồ khối thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất

3.3.1. Sơ đồ nguyên lý mạch phát hiện pha chạm đất (khối 1,2,3)

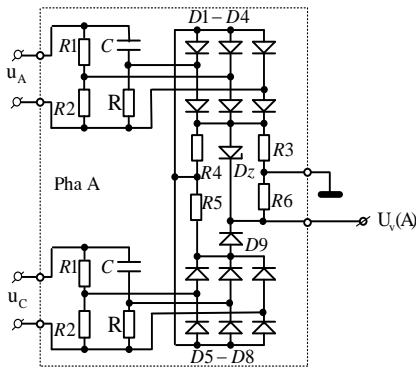
Sơ đồ nguyên lý mạch tự động phát hiện pha chạm đất trên hình

3.11.

Sơ đồ nguyên lý mô đun lấy tín hiệu cấp cho mạch điều khiển nối ngắn mạch pha A được mô tả trên hình 3.12.



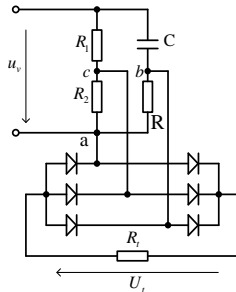
**Hình 3.11.** Sơ đồ nguyên lý mạch tự động phát hiện pha chạm đất



**Hình 3.12.** Sơ đồ nguyên lý modul lấy tín hiệu điều khiển nối ngắn mạch pha A

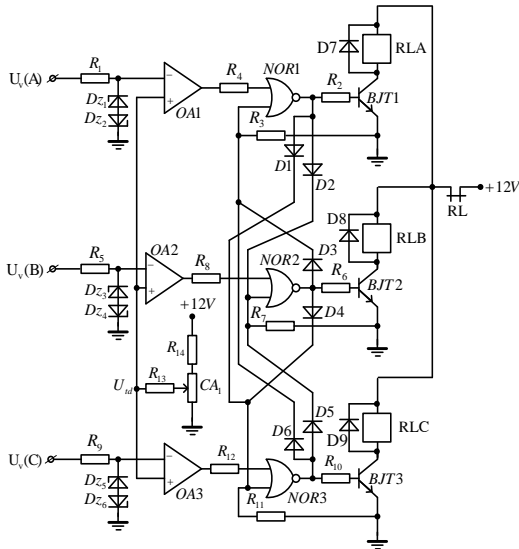


### 3.3.2. Bộ chuyển đổi 1 pha thành 3 pha lệch pha 60°



**Hình 3.13.** Bộ chuyển đổi một pha thành ba pha

### 3.3.3. Sơ đồ nguyên lý mạch khoá liên động giữa các pha (khối 4)

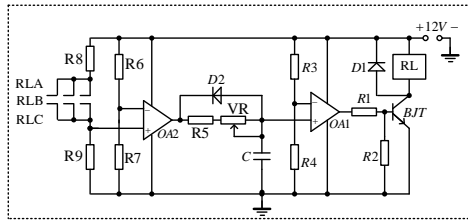


**Hình 3.14.** Sơ đồ nguyên lý mạch khoá liên động giữa các pha

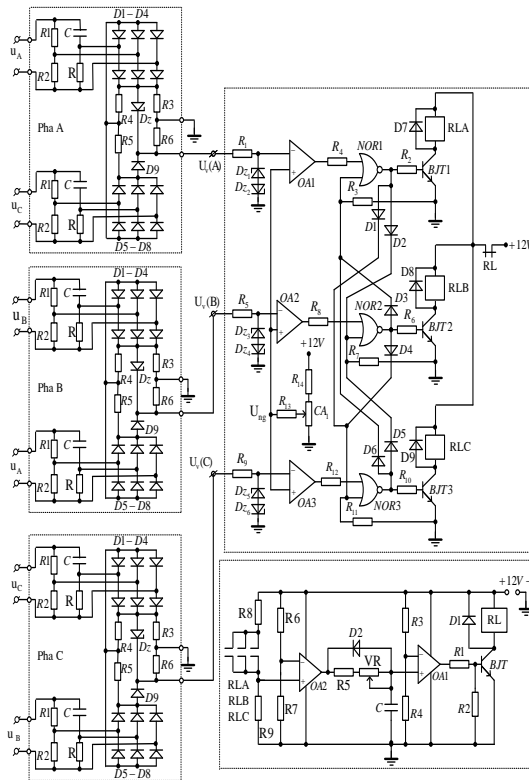
### 3.3.4. Sơ đồ nguyên lý mạch tự động điều khiển ngắt sau khi nối ngắn mạch 30-60s (khối 7)

Sơ đồ nguyên lý mạch tự động điều khiển ngắt sau khi nối ngắn mạch pha trên hình 3.15.

Tổng hợp sơ đồ nguyên lý các khối 1,2,3,4 và 7 của thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất như hình 3.16.



**Hình 3.15.** Sơ đồ nguyên lý mạch tự động điều khiển ngắt sau khi nối ngắn mạch

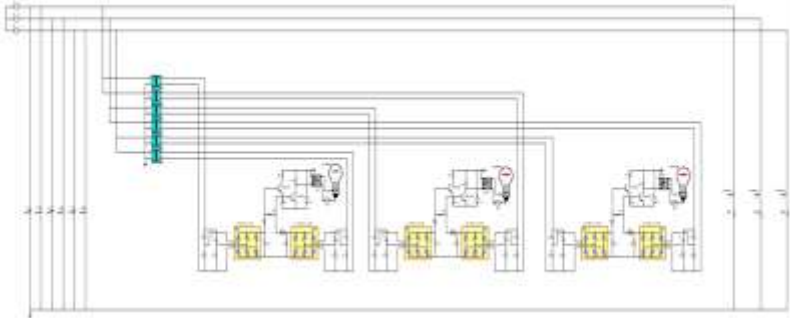


**Hình 3.16.** Sơ đồ nguyên lý các khối 1,2,3,4 và 7 của thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất

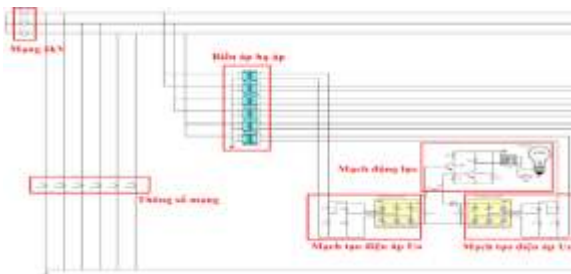
### 3.4. Mô phỏng mạch tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất

#### 3.4.1. Trước khi xảy ra chạm đất

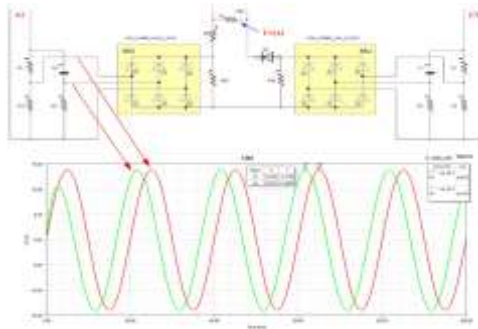
Sơ đồ nguyên lý mạch phát hiện pha chạm đất được thể hiện trên hình 3.17.



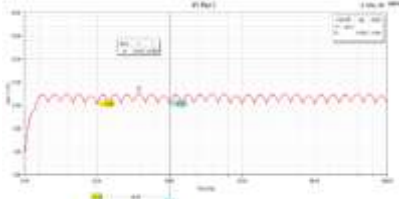
**Hình 3.17.** Mạch phát hiện pha chạm đất



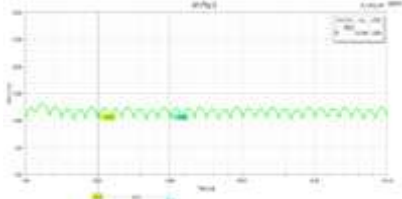
**Hình 3.18.** Mạch tạo điện áp  $U_v$  (A)



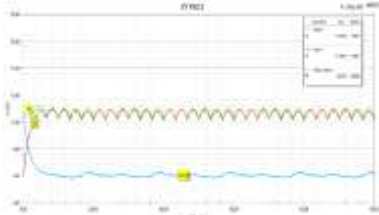
**Hình 3.21.** Sơ đồ mạch tạo điện áp  $U_{v(A)} = U_c - U_a$



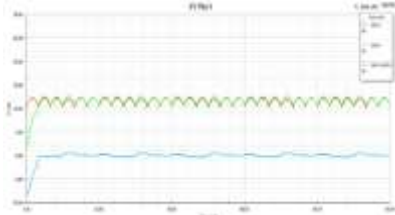
**Hình 3.22.** Dạng sóng điện áp pha UA sau chỉnh lưu cầu 3 pha (tần số 300Hz, biên độ: 11.6V, biên độ dao động điện áp đỉnh – đỉnh: ~ 2.2V)



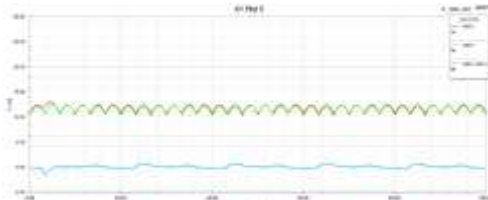
**Hình 3.23.** Dạng sóng điện áp pha UC sau chỉnh lưu cầu 3 pha (tần số 300Hz, biên độ: 11.6V, biên độ dao động điện áp đỉnh – đỉnh: ~ 2.26V)



**Hình 3.24.** Dạng sóng điện áp  $U_C, U_A$  và  $U_v(A) = U_C - U_A$  sau chỉnh lưu cầu 3 pha

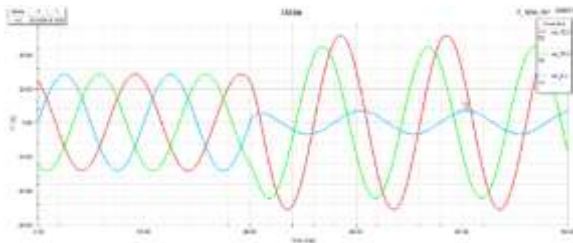


**Hình 3.25.** Dạng sóng điện  $U_A, U_B$  và  $U_v(B) = U_A - U_B$  sau chỉnh lưu cầu 3 pha



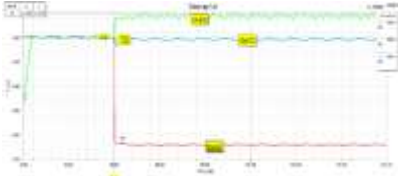
**Hình 3.26.** Dạng sóng điện áp  $U_B, U_C$  và  $U_v(C) = U_B - U_C$  sau chỉnh lưu cầu 3 pha

### 3.4.2. Sau khi xảy ra sự cố chạm đất pha A

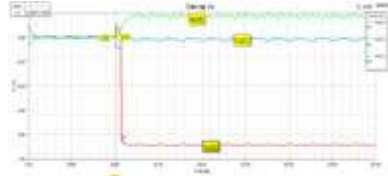


**Hình 3.27.** Điện áp 3 pha sau biến áp khi xảy ra sự cố chạm đất pha A ( $U_{rms}$  pha A giảm từ 20V xuống 4.7V)

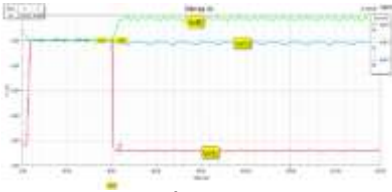
1. Trường hợp thay đổi góc pha đầu của điện áp lưới:



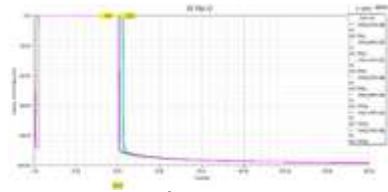
**Hình 3.30.** Đồ thị hiệu điện áp pha vượt trước và pha chậm đất ( $\psi = 60^\circ, t < 2 \text{ ms}$ )



**Hình 3.33.** Đồ thị hiệu điện áp pha vượt trước và pha chậm đất ( $\psi = 120^\circ, t < 4 \text{ ms}$ )

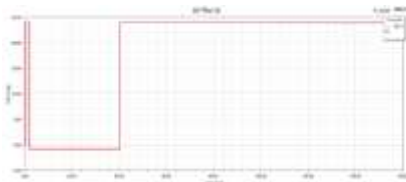


**Hình 3.35.** Đồ thị hiệu điện áp pha vượt trước và pha chậm đất ( $\psi = 180^\circ, t < 2 \text{ ms}$ )

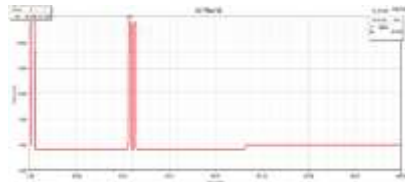


**Hình 3.37.** Đồ thị điện áp Ube của PNP2 khi xảy ra chạm đất

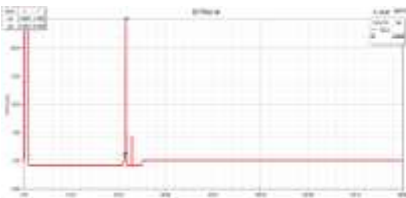
2. Trường hợp thay đổi điện trở chạm đất:



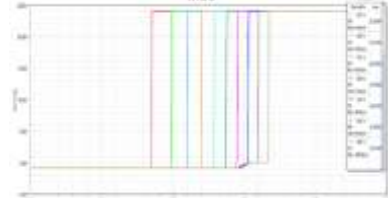
**Hình 3.39.** Đồ thị hiệu điện áp pha vượt trước và pha chậm đất ( $R = 0.65\text{k}\Omega; t = 0.61\text{ms}$ )



**Hình 3.44.** Đồ thị hiệu điện áp pha vượt trước và pha chậm đất ( $R = 11.46\text{k}\Omega; t = 2.68\text{ms}$ )

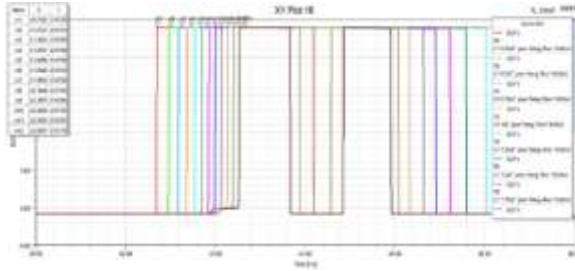


**Hình 3.46.** Đồ thị hiệu điện áp pha vượt trước và pha chậm đất ( $R = 15\text{k}\Omega; t = 3.1\text{ms}$ )



**Hình 3.47.** Đồ thị thể hiện điện áp ra trên tải cực C của PNP2 khi điện trở chạm đất thay đổi từ 1 đến 10kΩ

### 3. Trường hợp thay đổi điện dung của mạng:



**Hình 3.49.** Đồ thị điện áp ra trên tải cực C của PNP2 khi điện dung của mạng thay đổi từ 0.25 đến 3  $\mu\text{F}$ /1 pha

*Nhận xét:*

Khi điện dung và điện trở cách điện của mạng so với đất tương ứng:  $R = 292\text{k}\Omega/\text{pha}$ ,  $C = 0,261\mu\text{F}/\text{pha}$  với điện trở chạm đất có giá trị nhỏ hơn  $11,46\text{k}\Omega$  sẽ đảm bảo độ nhạy cần thiết - thiết bị sẽ tác động tin cậy và chắc chắn.

Thời gian phát hiện pha chạm đất khi chạm đất một pha qua điện trở  $1\text{k}\Omega$  là  $t < 3\text{ms}$ .

Thời gian tác động nổi ngắn mạch pha chạm đất là  $t < 10\text{ms}$ .

#### 3.4. Nhận xét chương 3

Thiết bị bảo vệ tự động nổi ngắn mạch là phương tiện nâng cao độ tin cậy cung cấp điện khi xảy ra chạm đất thay cho thiết bị tự động đóng dự phòng. Mặc dù điện áp dư tại vị trí chạm đất, có thể dao động trong giới hạn 20-225V, việc ứng dụng thiết bị bảo vệ tự động mắc sơn tác động nhanh để hạn chế dòng sự cố, đảm bảo khả năng phục hồi nhanh điện áp trên pha sự cố, không đánh bực cách điện ở các pha còn lại, làm giảm quá điện áp tại thời điểm chạm đất (từ 3-4 lần xuống 2,08 lần), dập tắt các tia lửa tại vị trí hỏng hóc, không làm gián đoạn cung cấp điện.

Kết quả mô phỏng cho thấy mạch tự động phát hiện và nổi ngắn mạch pha chạm đất đảm bảo được các yêu cầu đặt ra: Đảm bảo độ nhạy, tin cậy và tác động nhanh.

**Chương 4**  
**XÂY DỰNG MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM THIẾT BỊ TỰ ĐỘNG**  
**PHÁT HIỆN VÀ NỐI NGẮN MẠCH PHA CHẠM ĐẤT**  
**TRONG PHÒNG THÍ NGHIỆM**

**4.1. Thiết kế và mô phỏng mô hình thiết bị thực nghiệm trong phòng thí nghiệm**

4.1.1. Lựa chọn sơ đồ nguyên lý

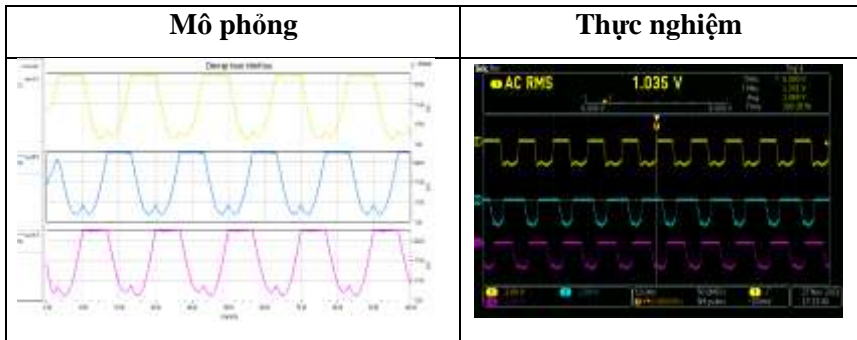
4.1.2. Mô hình mô phỏng

4.1.3. Thiết kế và chế tạo mạch tự động phát hiện pha chạm đất

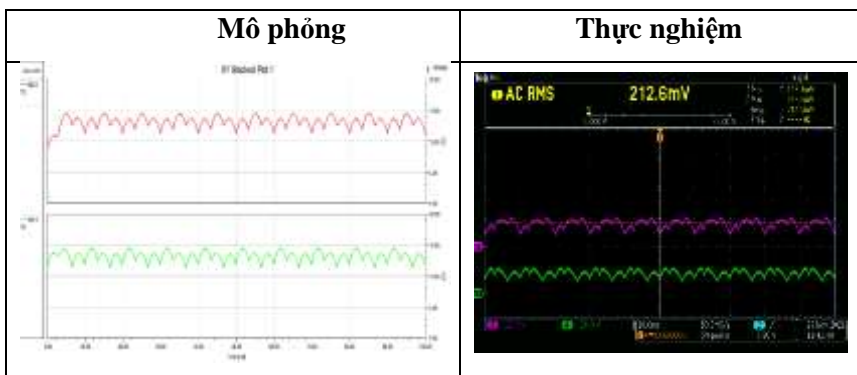
**4.2. Thử nghiệm tại phòng thí nghiệm**

4.2.1. Giới thiệu về mô hình thử nghiệm

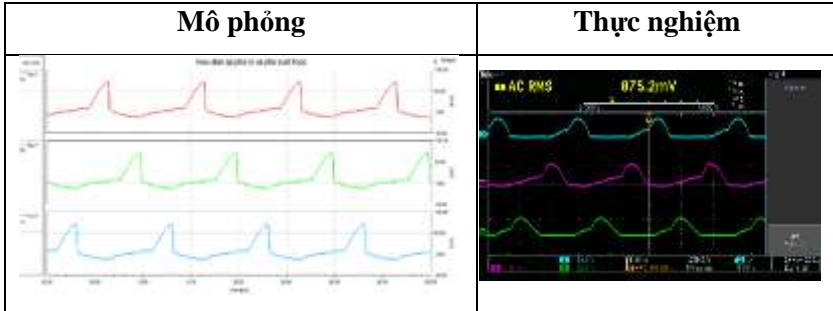
4.2.2. Các kết quả thử nghiệm



**Hình 4.11.** Tín hiệu trước chỉnh lưu



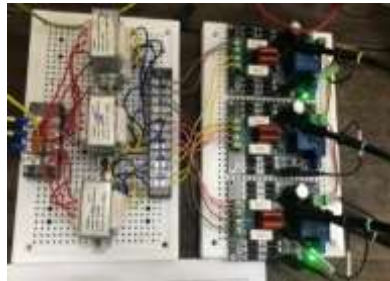
**Hình 4.12.** Tín hiệu sau chỉnh lưu của mỗi pha



**Hình 4.13.** Tín hiệu hiệu điện áp giữa các pha khi không có sự cố

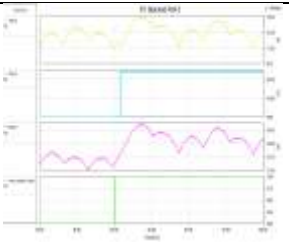



**Hình 4.16.** Dạng sóng đo được khi thử chạm đất pha A

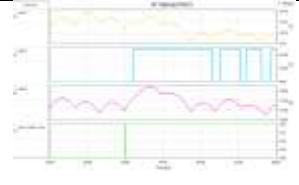

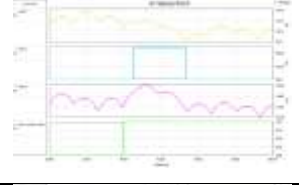

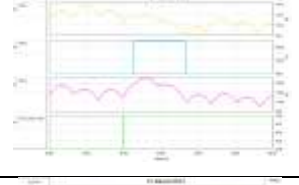

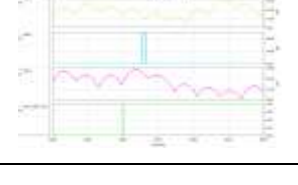
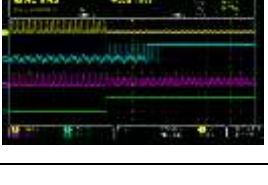


**Hình 4.15.** Hình ảnh thể hiện chạm đất pha B

**Bảng 4.3.** Kết quả thực nghiệm xác định thời gian phát hiện pha chạm đất.

ST T	Điện trở rò ( $\Omega$ )	Đồ thị dạng sóng		Thời gian phát hiện (ms); kết luận
		Mô phỏng Yêu cầu thời gian tác động $\leq 2ms$ do trong mô phỏng không có phần tử $R_{or\ le}$	Thực nghiệm Yêu cầu thời gian tác động của $R_{or\ le} \leq 10ms$	
1	10			10 Đạt



2	20			10 Đạt
3	26			10 Đạt
4	27			10 Tác động không chắc chắn
5	30			Không phát hiện được pha chạm đất

### 4.3. Nhận xét

- Các dạng sóng mô phỏng và thực nghiệm là tương tự. Sự sai lệch do sai số linh kiện, các điện trở và tụ điện trong thực tế có sai số  $\pm 5\%$ , trong khi đó các linh kiện mô phỏng là lý tưởng.

- Mạch có khả năng phát hiện pha chạm đất

- Đối với mạng quy đổi từ điện áp 6kV sang 400VAC, mạch có khả năng phát hiện pha rò với điện trở rò không quá  $26.6\Omega$  và tác động đến rơ le với tổng thời gian không vượt quá 10ms.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### I. Kết luận

Luận án là công trình nghiên cứu đầu tiên ở các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh nhằm đảm bảo điều kiện an toàn và nâng cao độ tin cậy cung cấp điện làm giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha nhất là khi chạm đất chập chờn ở các mạng điện 6kV. Những kết quả nghiên cứu là:

1. Tổng quan về các giải pháp nâng cao độ tin cậy – giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha.

2. Xây dựng được quan hệ thực nghiệm giữa điện dung  $C_f$  và điện dẫn  $G_f$  cách điện của pha so với đất phụ thuộc vào các thông số môi trường (nhiệt độ, độ ẩm) và cấu trúc của mạng mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh (số lượng máy biến áp, động cơ cao áp, chiều dài quy đổi đường dây trên không và cáp):

$$C_f = -0,45706 + 0,00555.D_a - 0,0005.T_d + 0,00594.N_{BA} \\ + 0,01839.N_{dc} + 7,95.10^{-6}.L_{Tk.qđ} + 0,00015L_{C.qđ}, \mu F \\ G_f = 0,5298 + 0,006064.D_a - 0,0042.T_d + 0,05288.N_{BA} \\ + 0,064474.N_{dc} + 0,000144.L_{Tk.qđ} + 0,001686.L_{C.qđ}, S$$

Dựa vào các quan hệ thực nghiệm nhận được để mô phỏng trạng thái làm việc thực tế của mạng, rút ra những kết luận xác đáng nâng cao độ tin cậy giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi chạm đất, nhất là khi chạm đất chập chờn.

3. Nghiên cứu lựa chọn giải pháp tự động phát hiện pha chạm đất; xây dựng sơ đồ cấu trúc thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất đảm bảo an toàn, nâng cao độ tin cậy cung cấp điện giảm thời gian ngừng cung cấp điện khi xảy ra chạm đất mạng 6kV mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh.

4. Mô phỏng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất đảm bảo an toàn, giảm dòng sự cố, giảm tia lửa hồ quang tại điểm chạm đất chập chờn: tăng điện áp dư ở pha chạm đất, giảm quá áp ở các pha không sự cố làm tăng độ bền cách điện; giảm thời gian ngừng cung cấp điện, giảm số lần đóng ngắt, tăng độ tin cậy cung cấp điện.

5. Nghiên cứu xây dựng thiết bị tự động phát hiện và nối ngắn mạch pha chạm đất cho các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh trong phòng thí nghiệm.

**II. Phương hướng nghiên cứu tiếp theo:** hoàn thiện thiết bị để có thể ứng dụng trong thực tế và thương mại hóa sản phẩm.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN

1. Hồ Việt Bun, Trần Quốc Hoàn (2018), “*Nghiên cứu giải pháp nâng cao độ tin cậy cung cấp điện khi chạm đất một pha trong mạng trung tính cách ly 6kV ở các mỏ vùng Quảng Ninh*”. Tuyển tập báo cáo, Hội nghị khoa học kỹ thuật mỏ toàn quốc lần thứ XXVI, tháng 8 năm 2018, trang 328-330.
2. Trần Quốc Hoàn, Nguyễn Anh Nghĩa, Hồ Việt Bun (2019), “*Nghiên cứu nâng cao độ tin cậy cung cấp điện khi xảy ra chạm đất một pha trong mạng 6kV mỏ lộ thiên*”. Tạp chí Công nghiệp mỏ, số 2 -2019, trang 51-55.
3. Tran Quoc Hoan, Ho Viet Bun, Nguyen Anh Nghia (2020), “*Research on building for dependence of insulation parameters of the 6kV grid with the enviroment and structural parameters of open-pit mines in the Quang Ninh area*”. International Journal of Engineering Technologies and Management Research, page (56-63).
4. Trần Quốc Hoàn, Nguyễn Anh Nghĩa, Hồ Việt Bun (2021), “*Research on designing a detectable circuit of the earth-fault phase in order to enhance power supply reliability of the 6kv grid of open-pit mines, Quang Ninh area*”. Hội nghị Khoa học toàn quốc về Cơ khí – Điện – Tự động hóa (MEAE 2021), trang 100-104.
5. Tran Quoc Hoan, Nguyen Anh Nghia, Ho Viet Bun (2022), “*Phase Earth-Fault Short-Circuit Automatically Connecting and Detecting Device Solution to Enhance the Reliability of 6KV Grid Power Supply in Open-Pit Mines in Quang Ninh Area-Vietnam*”. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), page (208-212).