

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÀNH PHẦN SÓNG HÀI BẬC CAO ĐẾN MẠNG ĐIỆN TRUNG TÍNH CÁCH LY 6 KV Ở CÁC MỎ LỘ THIÊN QUẢNG NINH

HÒ VIỆT BUN

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Email: hovietsun@hmg.edu.vn

## 1. Đặt vấn đề

Chạm đất một pha chiếm tỷ lệ từ 61÷85 % các sự cố trong mạng 6 kV ở các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh [1]. Đối với mạng trung tính cách ly, khi xảy ra chạm đất một pha, người ta thường dùng bảo vệ tác động chọn lọc khởi hành bị sự cố bằng cách sử dụng các tín hiệu cung cấp từ biến dòng và biến áp thứ tự không. Kinh nghiệm vận hành tại các trạm biến áp (TBA) mỏ đã chỉ ra rằng - Bảo vệ chạm đất nhiều khi không đảm bảo được tính chọn lọc khi xảy ra chạm đất ở các khởi hành có chứa nhiều bộ biến đổi điện từ công suất, máy biến áp (MBA) và động cơ điện. Một trong những lý do chính khiến cho hiệu quả của bảo vệ chạm đất thấp chính là ảnh hưởng của các thành phần sóng hài bậc cao: 5, 7, 11, 13 do các thiết bị kể trên gây nên khi xảy ra chạm đất một pha, làm sai các thông số chỉnh định và giảm độ nhạy của bảo vệ.

## 2. Nội dung và kết quả nghiên cứu

Ngày nay, có rất nhiều thiết bị và phương pháp để tính toán và xác định những yếu tố ảnh hưởng của các thành phần sóng hài trong trường hợp chạm đất một pha ở mạng trung tính cách ly 6 kV của các mỏ, dựa trên các phương pháp phân tích đơn giản và mô hình mạng điện với các thông số ảnh hưởng.

Sự xuất hiện của các sóng hài bậc cao ở mạng điện mỏ 6 kV được tạo ra bởi các MBA đó là dòng từ hóa phi tuyến. Giá trị cao nhất trong các dòng từ hóa tạo ra trong MBA là các sóng hài bậc 5, 7 và 11 [4]. Dòng từ hóa trong MBA 6/(0,4) kV nhận điện từ TBA chính thường có giá trị bằng 1÷2 % dòng điện định mức. Tuy nhiên, khi đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thành phần sóng hài bậc cao khi chạm đất một pha phải tính đến: Thành phần của tải tại các nút; Sự biến động về tải; Chế

độ vận hành; Dao động điện áp trong mạng và việc sử dụng các bộ biến đổi không điều khiển dùng diốt và các bộ chỉnh lưu có điều khiển dùng thyristors. Đối với các bộ chuyển đổi giá trị hiệu dụng của dòng điện hài hòa thứ "v" trong các đơn vị tương đối có thể được xác định một cách gần đúng từ biểu thức [4]:

$$I_{v*} = \frac{I_v}{I_1} \approx \frac{I_v}{I_{tai}} \approx \frac{1}{v}. \quad (1)$$

Trong tính toán thực tế (1), giá trị của dòng điện  $I_{v*}$  được đánh giá khoảng 10÷20 %. Trung bình, các giá trị tương đối của các dòng điện sóng hài được tạo ra bởi các bộ biến đổi có và không điều khiển được dùng cho các dòng tải tạo thành hài bậc 5 là ~20 %, cho bậc 7 là ~14 %, bậc 11 là ~9 %, bậc 13 là ~8 % [4]. Tuy nhiên, trong các dòng điện dung một pha có lỗi chạm đất, mức độ của sóng hài bậc 11 và 13 có thể cao hơn bậc 5 và 7. Sóng hài bậc cao được tạo ra bởi các van điều khiển không chỉ phụ thuộc vào dòng tải, mà còn phụ thuộc vào góc điều khiển "α" do hệ thống điều khiển pha xung và góc chuyển đổi "γ" (xem H.1).

Mức độ không ổn định của dòng điện hài bậc cao của các lỗi chạm đất một pha được tính bởi tham số [5]:

$$Z = \frac{I_{v\Sigma\max}}{I_{v\Sigma\min}} = \frac{\alpha_{\max} I_{C\Sigma}}{\alpha_{\min} I_{C\Sigma}} = \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}}. \quad (2)$$

Trong đó:  $\alpha_{\max}$ ,  $\alpha_{\min}$  - Tương ứng, mức lớn nhất và nhỏ nhất của các sóng hài bậc cao hơn đối với tổng dòng điện dung của mạng  $I_{C\Sigma}$ .

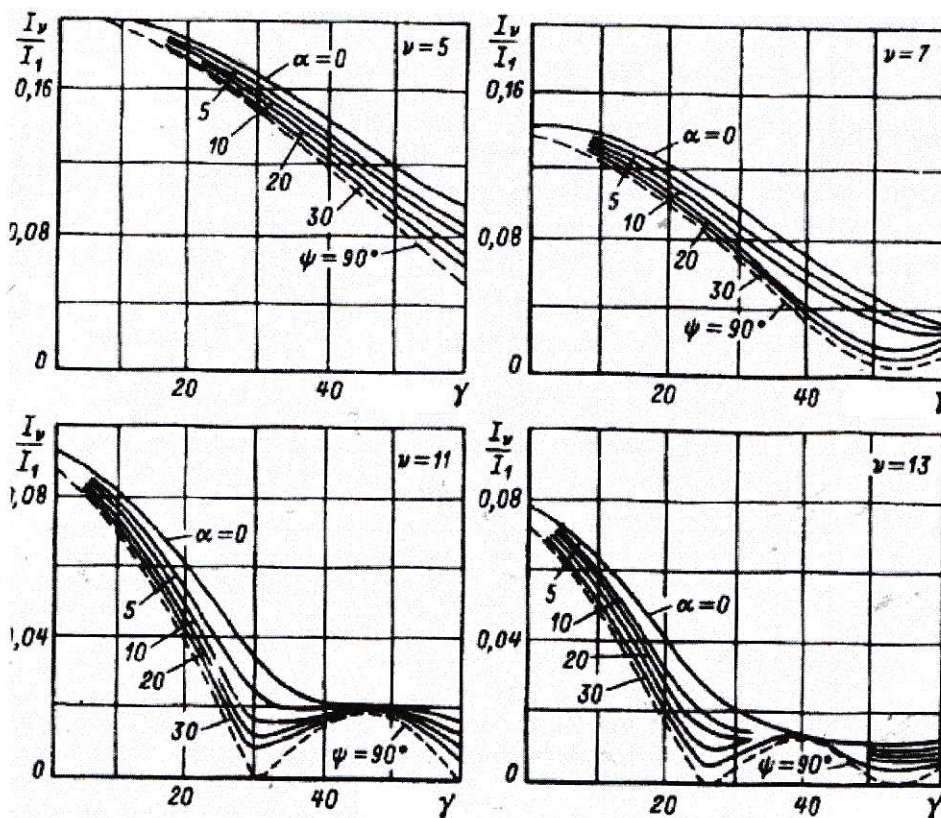
Từ sự phân tích phổ của điều hòa bậc cao khi dòng điện  $3I_0$  kết nối với thanh cái của đối tượng bảo vệ, tần số dao động lên đến 650 Hz được xác định trong quá trình chạm đất một pha, khi tính toán chỉnh định bảo vệ cho rơle chạm đất một pha

trong trường hợp này phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$I_{C.cd} \geq K_{at} \cdot 3I_{0i.v.max} = K_{at} \cdot \alpha_{max} I_{Ci} \quad (3)$$

Trong đó:  $K_{at}$  - Hệ số an toàn;  $3I_{0i.v.max}$  - Dòng điện lớn nhất của các thành phần sóng hài bậc cao

trong dòng điện  $3I_0$  khởi hành thứ i;  $\alpha_{max}$  - Mức độ sóng hài lớn nhất của dải tần số hoạt động của bảo vệ ( $\nu=5, 7, 11$  và  $13$ ) ở dòng điện chạm đất một pha với các lỗi ổn định trong mạng được quan sát.



H.1. Đường cong giá trị tương đối của các sóng hài bậc cao ở các van có điều khiển và không điều khiển [3]

Bảng 1. Tải điển hình ở các mỏ lộ thiên có chứa các nguồn sóng hài bậc cao [6]

| Thành phần tải ở các nút, % |                              |                             |                |             |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| Động cơ đồng bộ             | Động cơ không đồng bộ cao áp | Động cơ không đồng bộ hạ áp | Đèn chiếu sáng | Bộ biến đổi |
| 4                           | 7                            | 67                          | 15             | 7           |

Đại lượng  $I_{Ci}$  là dòng điện dung của khởi hành thứ i, được xác định:

$$I_{Ci} = 3 \cdot \omega \cdot C_{0i} \cdot U_f \quad (4)$$

Ở đây:  $C_{0i}$  - Điện dung của khởi hành được bảo vệ;  $\omega = 2\pi \cdot 50$ ;  $U_f$  - Điện áp pha của mạng.

Bảo vệ trên cơ sở không có sóng hài bậc cao độ nhạy được xác định  $K_n \geq 1,5$  được tính bởi (3), giá trị của  $I_{C.cd}$  cũng phải thỏa mãn điều kiện:

$$I_{C.cd} \geq I_{C.cd.min} \quad (5)$$

Ở đây:  $I_{C.cd.min}$  - Dòng điện nhỏ nhất để bảo vệ chạm đất tác động, được xác định bởi các đặc tính kỹ thuật của thiết bị bảo vệ và biến dòng  $3I_0$ .

Điều kiện (5) có thể được tính toán để chọn giá trị đặt cho khởi hành có chiều dài ngắn. Vấn đề

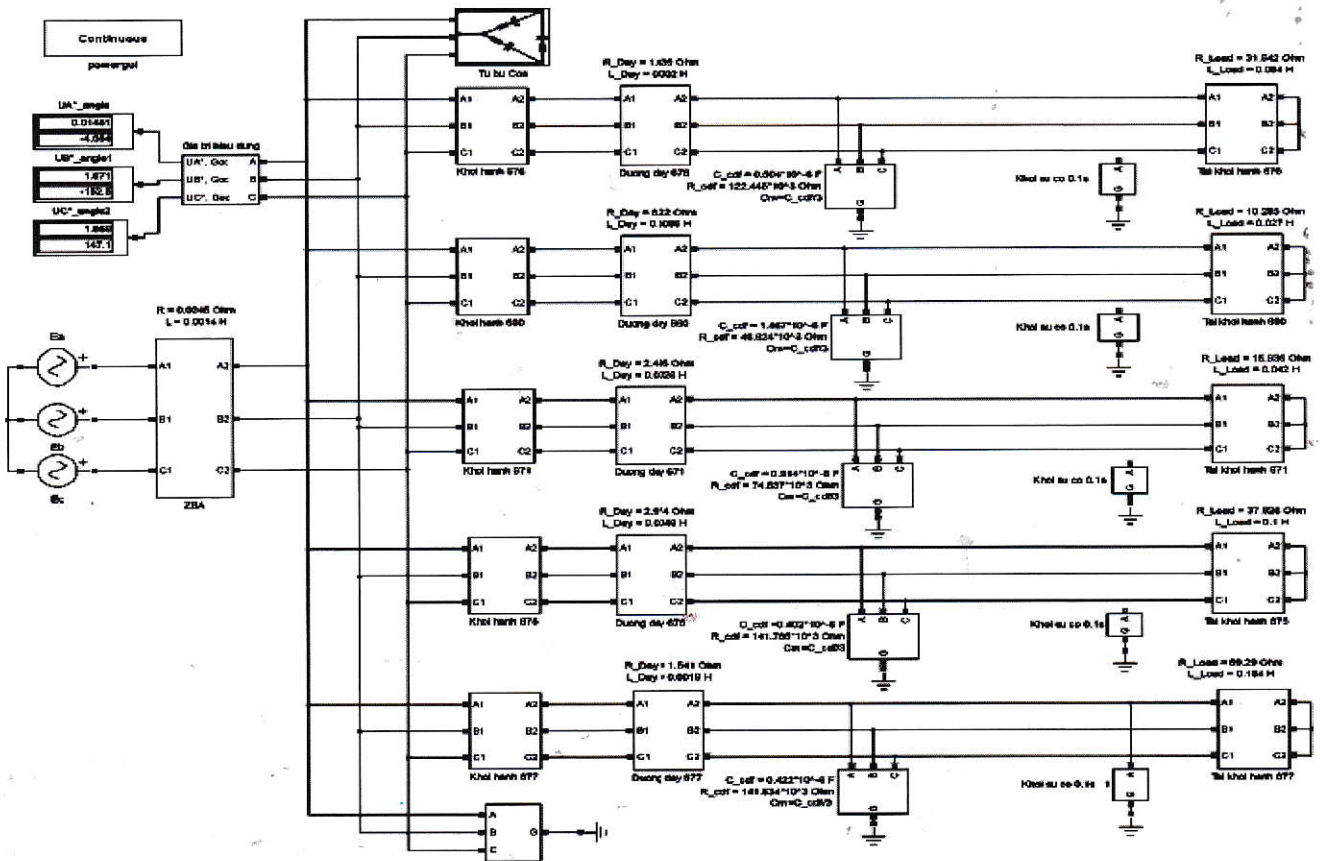
chính khi lựa chọn giá trị dòng điện theo (3) là ước tính mức độ lớn nhất có thể có của các giá trị lớn nhất của các sóng hài bậc cao trong dòng điện chạm đất một pha, giả định sau đây được chấp nhận  $I_{v.max} = \alpha_{max} \cdot I_{C\sum}$ .

Giá trị của  $\alpha_{v.max}$  cho các sóng hài bậc 5, 7, 11 và 13, được tính trong biểu thức:

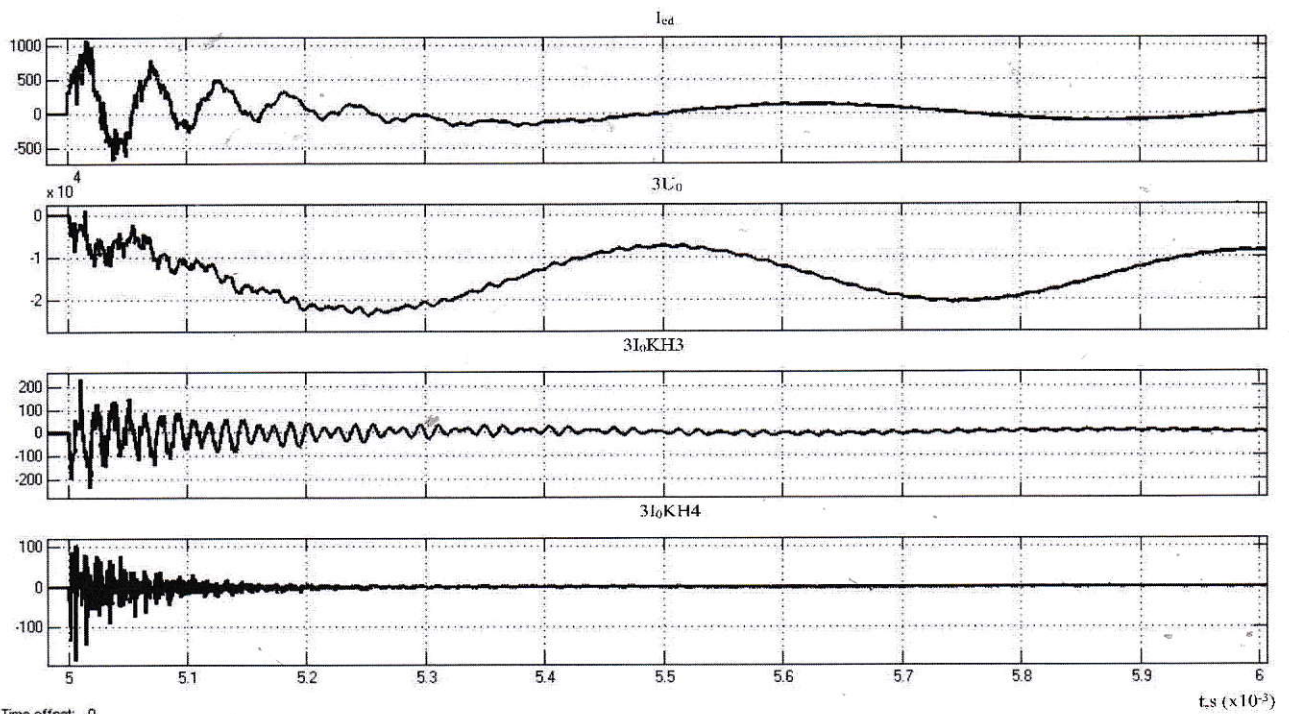
$$\alpha_{v.max} = \frac{I_{v.C.cd}}{K_{at} \cdot I_{Ci}} = \frac{I_{v.C.cd}}{K_{at} \cdot 0,1 I_{C\phi}} \quad (6)$$

Đối với các thành phần sóng hài bậc cao trong dải tần số lên đến 650 Hz có dòng hài ở các khởi hành không sự cố được xác định như sau:

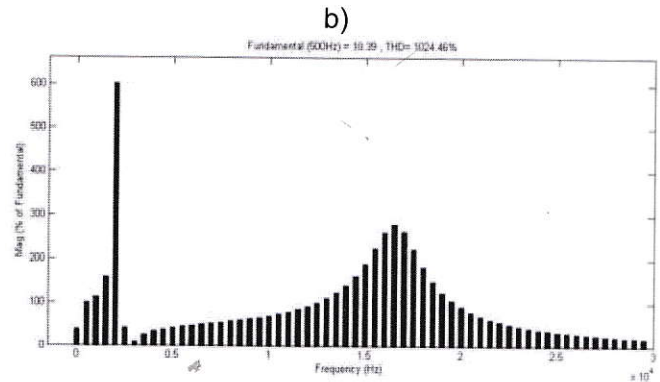
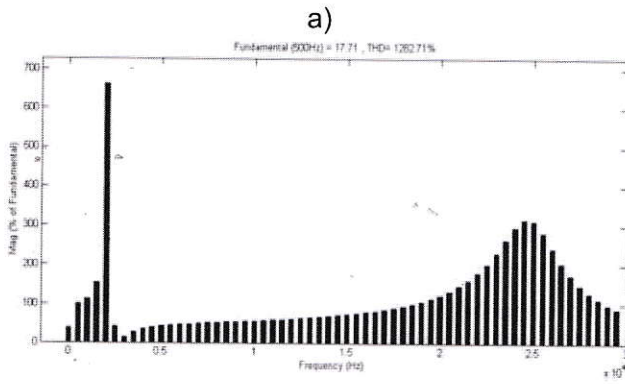
$$3I_{0.v.i} = 3C_{0i} (d/dt) \cdot u_{0.v} \quad (7)$$



H.2. Mô hình mạng 6 kV trung tính cách ly để ước lượng mức độ dòng điện sóng hài nhỏ nhất trong các lỗi chạm đất một pha



H.3. Dao động dòng điện tại vị trí chạm đất  $I_{cd}$ , điện áp  $3U_0$  trên thanh cái, dòng điện trong khởi hành không bị sự cố  $3I_0 KH3$  và  $3I_0 KH4$  khi chạm đất tại KH1 với  $I_{c2}=5 A$



H.4. Phân tích phổ sóng hài đặc trưng trên các khởi hành: a - KH3; b - KH4 khi có khởi hành KH1 chạm đất

Mức tối đa của thành phần sóng hài bậc cao khi chạm đất một pha theo GOST13109-97 [7] cho phép đối với mạng 6÷10 kV, giá trị của hệ số điện áp  $K_{U.v.TC}$  và hệ số tối đa cho phép  $K_{U.v}$  cho các thành phần hài hòa riêng lẻ  $v=5, 7, 11, 13$ , được xác định bằng biểu thức  $K_{U.v}=1,5 \cdot K_{U.dm}$  (Bảng 2).

Bảng 2.

| Bậc sóng hài "v" | 5 | 7   | 11 | 13 |
|------------------|---|-----|----|----|
| $K_{U.v.TC}$ , % | 4 | 3   | 2  | 2  |
| $K_{U.v}$ , %    | 6 | 4,5 | 3  | 3  |

Đối với các thành phần điện áp sóng hài bậc cao được xác định mức phổ biến tối đa của các sóng hài bậc cao trong dòng điện chạm đất một pha:

$$\alpha_{\max} = 100 \sqrt{\frac{(5K_{U5})^2 + (7K_{U7})^2 + (11K_{U11})^2 + (13K_{U13})^2}{(5K_{U5})^2 + (7K_{U7})^2 + (11K_{U11})^2 + (13K_{U13})^2}} \approx 65\% \quad (8)$$

Trong mạng 6 kV ở các mỏ lộ thiên nguồn sóng hài bậc cao chủ yếu tồn tại do nhiều yếu tố. Với các nguồn thành phần của sóng hài bậc cao dòng điện chạm đất một pha, trừ trường hợp các sóng hài bậc 5 và 7 chiếm một tỷ lệ đáng kể và thường bị chi phối bởi các sóng hài bậc 11 và 13. Mức tối đa của sóng hài bậc cao xác định bằng thực nghiệm có thể đạt giá trị từ 35÷40 % trở lên. Mức sóng hài lớn nhất khi chạm đất một pha, thu được trên cơ sở các phép đo thực trong các mạng cáp 6 kV:  $\alpha_{\max}=0,4$  [7].

Độ nhạy của bảo vệ chạm đất có kể đến sóng hài bậc cao khi chạm đất một pha được tính bằng biểu thức:

$$K_{n.i} = \frac{3I_{0.v.min}}{I_{c.d.i}} \leq \frac{\alpha_{min}(I_{C\Sigma} - I_{c.i})}{I_{c.d.i}} \cdot K_{n.min} \quad (9)$$

Trong đó:  $3I_{0.v.min}$  - Mức dòng điện nhỏ nhất khi có sóng hài đi qua  $3I_0$  của khởi hành thứ i chạm đất;  $\alpha_{min}$  - Mức độ tương đối nhỏ nhất của các sóng hài

bậc cao trong dòng điện một pha chạm đất ổn định trong mạng, khi tính giới hạn nhỏ nhất của sóng hài bậc cao  $\alpha_{min}=0,04$ ;  $K_{n.min}=1,5$  - Giá trị tối thiểu cho phép của hệ số độ nhạy đối với bảo vệ chạm đất dựa trên các sóng hài bậc cao.

Giá trị dòng điện dung nhỏ nhất của bảo vệ chạm đất khi có sóng hài bậc cao với  $I_{C\Sigma}=5A$ ,  $U=6$  kV thì:

$$I_{c.cd.min} \leq \frac{\alpha_{min} \cdot I_{C\Sigma.min}}{K_{n.min}} = \frac{0,04 \cdot 5}{1,5} = 0,13 A. \quad (10)$$

Từ (1) và (9), điều kiện để đảm bảo độ chọn lọc cho mạng điện 6 kV:

$$I_{c.i}^* = \frac{I_{c.i}}{I_{c0}} \leq \frac{1}{1 + \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{min}} K_{at} \cdot K_{n.min}} = \left( \frac{1}{1 + Z_{\max} K_{at} \cdot K_{n.min}} \right) \quad (11)$$

Trong đó:  $Z_{\max}$  - Tham số mô tả mức độ không ổn định của các thành phần sóng hài bậc cao trong dòng điện một pha chạm đất.

Từ (11) với  $K_{at}=1,5$ ;  $K_{n.min}=1,5$ ;  $\alpha_{\max}=0,4$  và  $\alpha_{min}=0,04$ , tính được:

$$I_{c.i}^* = \frac{I_{c.i}}{I_{c0}} \leq \frac{1}{1 + \frac{0,4}{0,04} \cdot 1,5 \cdot 1,5} \approx 0,043. \quad (12)$$

Tức là để đảm bảo điều kiện chọn lọc các bảo vệ chạm đất một pha về độ nhạy thì yêu cầu tối thiểu đối với dòng điện dung riêng trong các khởi hành không được vượt quá 4,3 % tổng dòng điện dung của mạng  $I_{C\Sigma}$ .

### 3. Kết luận

Từ những kết quả nghiên cứu trên đây, có thể rút ra một số kết luận sau đây:

➤ Đối với mạng chịu ảnh hưởng của sóng hài bậc cao, để lựa chọn chính xác giá trị cài đặt cho bảo vệ chạm đất, không cho phép chọn dòng điện dung riêng của phần tử được bảo vệ vì điều này

làm giảm độ chọn lọc và độ nhạy của bảo vệ rơle hoặc phải trang bị thêm bộ phận lọc thành phần lọc sóng hài bậc cao;

➤ Bảo vệ chạm đất một pha khi tính đến thành phần sóng hài bậc cao thì dòng điện dung của các khởi hành bảo vệ không được vượt quá 4,3 % tổng dòng điện dung của mạng;

➤ Đối với mạng cấp 6 kV, ở các khởi hành không thỏa mãn độ nhạy thì bắt buộc phải sử dụng bảo vệ rơle chạm đất một pha có định hướng dựa trên mối quan hệ của thành phần sóng hài bậc cao với dòng và điện áp thứ tự không. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hồ Việt Bun. Nghiên cứu đánh giá quá trình quá độ của điện áp khi xảy ra chạm đất một pha trong mạng điện trung tính cách ly 6 kV ở các mỏ lộ thiên vùng Quảng Ninh; Hội nghị Khoa học Kỹ thuật Mỏ Toàn quốc lần thứ XXIV, 592-595, 2014.

2. Vinokurova, T.Yu. Application of higher harmonics in protection against singlephase earth faults in resonant grounded cable networks of medium voltage / T.Yu. Vinokurova, O.A. Dobryagina, E.S. Shagurina, V.A. Shuin // Tagungsband zum Power and Energy Student Summit 2015. - Dortmund. - 2015 - S03.2.

3. Шуин В.А. Влияние электромагнитных переходных процессов на функционирование токовых защит от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ / В.А. Шуин, О.А. Сарбеева, Е.С. Чугрова // Вестник ИГЭУ. Вып. 4. - Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. - 2009. - С. 84-91.

4. Шуин, В.А. Расчеты высших гармоник в токе замыкания на землю на математических моделях компенсированных сетей 6-10 кВ / Т.Ю. Винокурова, В.А. Шуин, Е.С. Шагурина // Электроэнергетика глазами молодежи: науч. Тр. IV междунар. науч.-техн. конф. Т. 2.-Новочеркасск: Лик.- 2013.-С. 211-215.

5. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98 / Под ред. Б.Н. Неклепаева. - М.: НЦ «ЭНАС», 2004. - 152 с.

6. Вайнштейн, В.Л. Исследование высших гармоник тока замыкания на землю / В.Л. Вайнштейн // Промышленная энергетика. - № 1. - 1986. - С. 39-40.

7. ГОСТ 13109-97. Качество электрической сети в системах электроснабжения общего назначения; Утвержден: Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации,

метрологии и сертификации, 28.08.1998

**Ngày nhận bài:** 24/05/2019

**Ngày gửi phản biện:** 19/09/2019

**Ngày nhận phản biện:** 25/11/2019

**Ngày chấp nhận đăng bài:** 10/04/2020

**Từ khóa:** chạm đất một pha; mạng trung tính cách ly; sóng hài; độ nhạy rơle chạm đất

**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

**Tóm tắt:** Sự cố chạm đất một pha trong mạng điện 6 kV tại mỏ, có chứa sóng hài bậc cao (3, 5, 7, 9, 11 và 13) ảnh hưởng mạnh đến hoạt động của rơle bảo vệ và do đó hệ thống bảo vệ có thể không đúng chức năng. Nghiên cứu tiếp tục dựa trên các phép đo và mô phỏng dữ liệu thực tế, phân tích tác động của các loại sóng hài đã tìm ra giải pháp cải thiện độ nhạy, cũng như cải thiện tác động chính xác của hệ thống bảo vệ rơle.

**Study on the effect of high-harmonic components on the single-phase 6 kV isolation network in open mines in Quảng Ninh area**

### SUMMARY

A single-phase earth fault in the 6 kV electrical network at the mine, containing high-level harmonics (3, 5, 7, 9, 11 and 13) strongly affects to the operation of the protection relay and therefore the protection system may not function properly. The research results based on real data measurements and simulations, analyzing the effects of harmonic types have found a solutions to improve sensitivity, as well as improving the exact impact of relay protection system.



1. Không gì đẹp hơn sự thật. Boileau.

2. Ngoài ta ra không ai có thể hại ta được. Gandhi.

3. Sự học trang hoàng đời sống và làm cho ta yêu đời hơn. J. Viennot.

VTH sưu tầm