

DOI: 10.70993/TCDN.2026.3(27).59-65

NGHIÊN CỨU PHỐI HỢP BẢO VỆ QUÁ DÒNG ĐIỆN TRONG TRẠM BIẾN ÁP 35/6KV Ở CÁC XÍ NGHIỆP MỎ KHI SỬ DỤNG PHẦN MỀM ETAP

Hồ Việt Bun¹

Ngày nhận bài: 25/03/2026; Gửi phản biện: 02/04/2026; Duyệt đăng: 13/04/2026

Tóm tắt: Để đảm bảo hệ thống cung cấp điện mỏ được hoạt động tin cậy, an toàn thì việc phối hợp các bảo vệ trong trạm biến áp 35/6kV ở các xí nghiệp mỏ là rất quan trọng vì giúp ích cho việc loại trừ đúng các đối tượng cần được bảo vệ ở các chế độ làm việc không bình thường và sự cố. Trong thực tế để thực hiện phối hợp các bảo vệ quá dòng điện trong trạm biến áp được thực hiện bởi việc thiết lập phân cấp thời gian tác động của role ở các tủ phân phối (tủ khởi hành) nhưng để kiểm tra chắc việc phối hợp bảo vệ là rất khó khăn. Bởi vậy việc nghiên cứu sử dụng phần mềm Etap mô phỏng lại sơ đồ nguyên lý trạm biến áp 35/6kV và cài đặt thông số bảo vệ quá dòng, kết quả mô phỏng cho phép kiểm tra được sự phối hợp các bảo vệ quá dòng rất đơn giản trong điều kiện sự cố giúp ích cho việc thiết kế và vận hành thực tế ở trạm biến áp.

Từ khóa: *Etap, mô phỏng, trạm biến áp 35/6kV, bảo vệ quá dòng điện*

Abstract: To ensure the reliable and safe operation of the mine's power supply system, the coordination of protective devices in the 35/6kV substations at mining enterprises is very important, as it helps correctly isolate the objects that need protection under abnormal operating conditions and faults. In practice, the coordination of overcurrent protection in substations is carried out by setting up a time hierarchy for the relay actions in the distribution cabinets (starting cabinets). However, verifying the accuracy of this coordination is quite difficult. Therefore, studying the use of Etap software to simulate the single-line diagram of the 35/6kV substation and to configure the parameters of the overcurrent protection relays allows the coordination of overcurrent protection to be checked easily under fault conditions, which is useful for both design and actual operation of the substation.

Keywords: *Etap, simulation, 35/6kV transformer substations, overcurrent protection*

1. Đặt vấn đề

Trong quá trình vận hành ở các trạm biến áp xí nghiệp mỏ nhiều khi gặp sự cố ở các phụ tải thuộc khởi hành cung cấp từ trạm biến áp 35/6kV đúng ra bảo vệ ở các phụ tải sẽ tác động nhưng nhiều khi bị vượt cấp dẫn đến bảo vệ ở tủ khởi hành hoặc tủ đầu vào tác động dẫn đến ngừng cung cấp điện cho toàn bộ khởi hành hoặc phân đoạn làm gián đoạn quá trình sản xuất. Nên mục đích của việc phối hợp bảo vệ là xác định đúng phần tử (phụ tải) bị sự cố để tác động loại trừ và tránh làm ảnh hưởng đến khả năng làm việc của các phụ tải khác [1]. Bởi vậy khi thiết kế, chỉnh định giá trị cài đặt bảo vệ role trong thực tế đòi hỏi phải tính toán, thí nghiệm hiệu chỉnh hoặc dùng phương pháp pháp mô phỏng, chạy thử nghiệm sơ đồ để đánh giá sự phối hợp của các role bảo vệ được sử dụng trong sơ đồ. Ứng dụng phần mềm Etap chuyên về phân tích, mô phỏng, giám sát, điều khiển, tối ưu hóa và tự động hóa các hệ thống điện đặc biệt có khả năng đánh giá sự phối hợp các bảo vệ quá dòng điện trong trạm biến áp một cách hiệu quả thông qua các vị trí sự cố trong sơ đồ cung cấp điện [2].

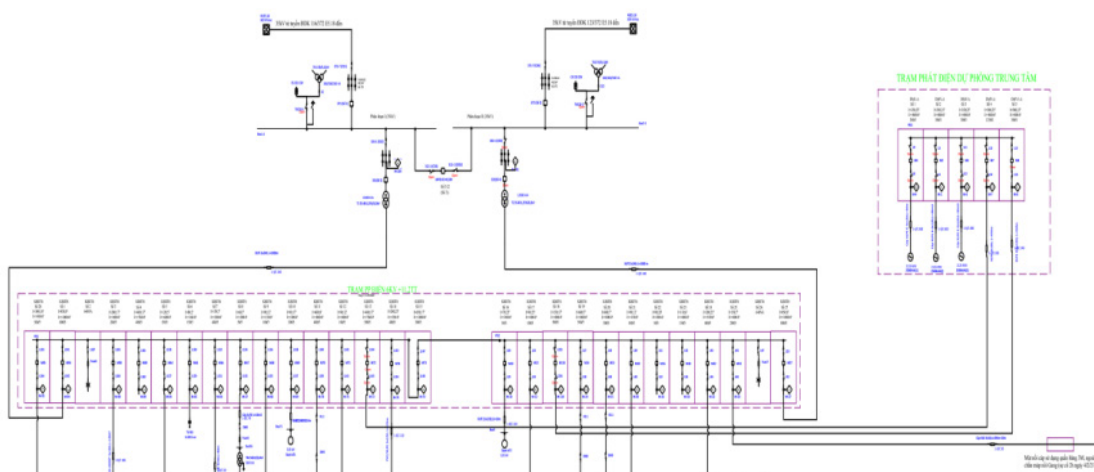
1. Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Email: hoviebun@gmail.com

2. Tổng quan nghiên cứu

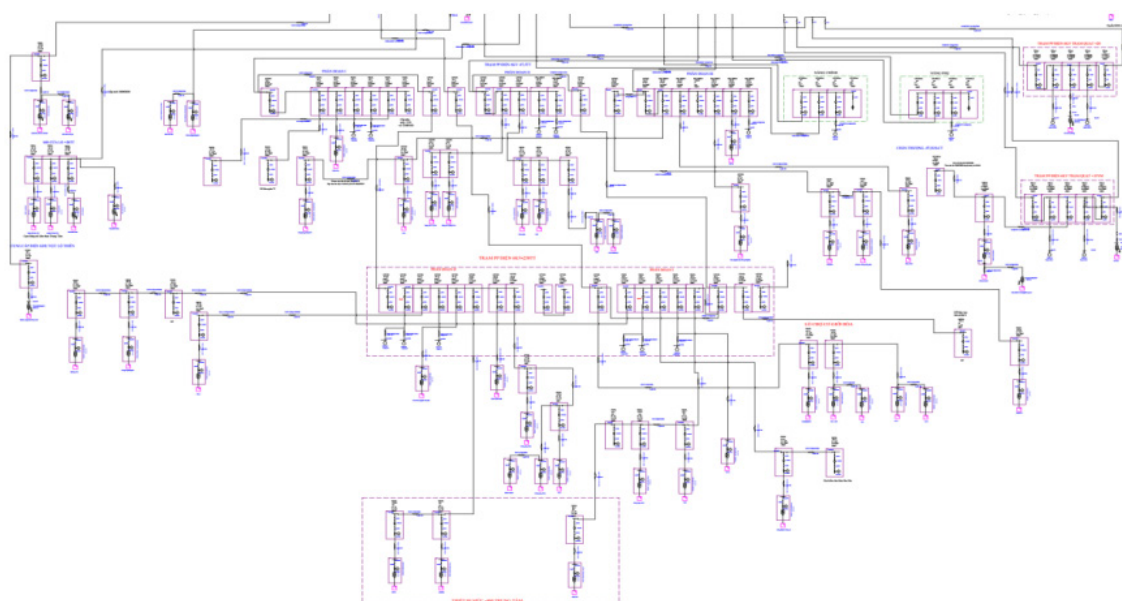
2.1. Mô phỏng sơ đồ nguyên lý trạm biến áp 35/6kV

Dựa vào sơ đồ nguyên lý hiện trạng của trạm biến áp 35/6kV và mạng điện cao áp của toàn xí nghiệp mở kết hợp với các phần tử mô phỏng có sẵn trong phần mềm Etap như: Nguồn, thiết bị đóng cắt, máy biến áp, đường dây trên không và cáp, các phần tử bảo vệ ... kết nối lại thành sơ đồ nguyên lý trạm biến áp 35/6kV hình 1, mạng điện áp cao áp của toàn xí nghiệp mở hình 2 và nhập thông số kỹ thuật của các trang thiết bị trong sơ đồ hiện trạng vào phần mềm mô phỏng [3].

Hình 1. Sơ đồ mô phỏng trạm biến áp 35/6kV của xí nghiệp mở



Hình 2. Sơ đồ mô phỏng phía các khởi hành 6kV

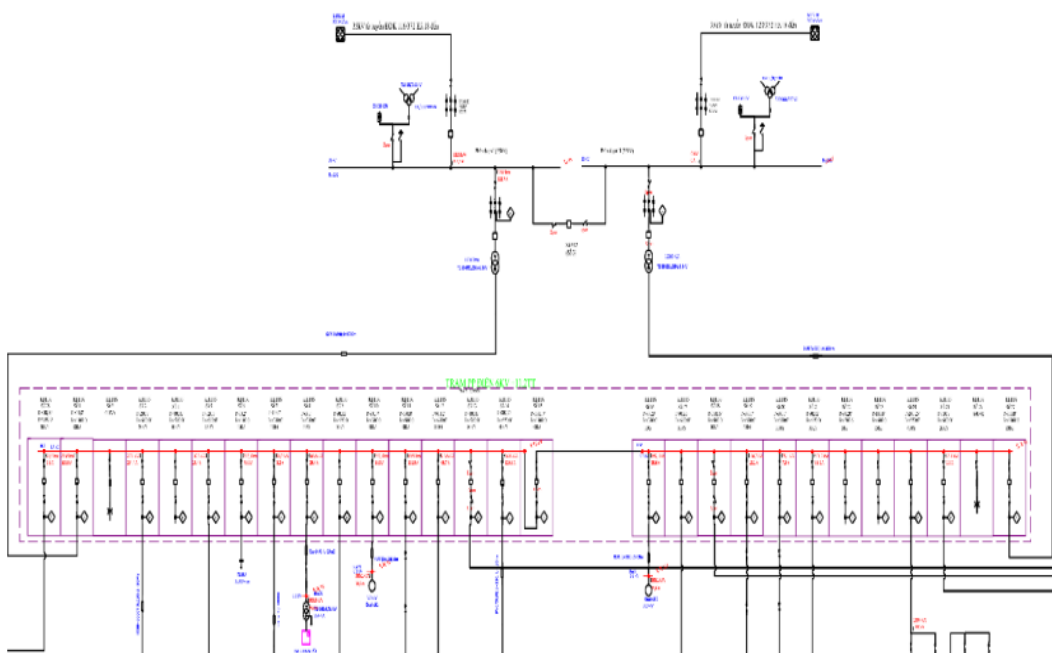


2.2. Mô phỏng chế độ làm việc bình thường của trạm biến áp 35/6kV

Sử dụng module phân bố công suất (Load Flow) trong phần mềm etap [4], [5]. Chạy phân tích phân bố công suất, trên sơ đồ mô phỏng một sợi hình 1 của Etap những giá trị ở hình 2 (được thiết lập để hiển thị hoặc không hiển thị) như dòng công suất tại các nút, phần trăm điện áp và góc pha điện áp nút, ...ngoài ra còn hiển thị những cảnh báo bằng màu dựa vào những giới hạn cảnh báo được thiết lập. Việc hiển thị số liệu một cách trực quan giúp cho việc vận hành trạm biến áp 35/6kV ở các xí nghiệp mở trở nên dễ dàng hơn và nhận diện những thay đổi có khả năng gây ảnh hưởng chế độ làm việc của hệ thống.

Ngoài ra việc chạy phân bố công suất trên phần mềm còn cài đặt các thông số tính toán bảo vệ dòng điện trong các tủ ở trạm biến áp từ đó giúp cho việc kiểm tra lại thông số cài đặt và phối hợp bảo vệ trong trạm biến áp khi cho chạy trên phần mềm.

Hình 3. Kết quả vận hành trạm biến áp 35/6kV khi mô phỏng chế độ làm việc bình thường



3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Bảo vệ quá dòng điện được sử dụng trong sơ đồ nguyên lý trạm biến áp là loại bảo vệ đơn giản và hiệu quả nhất, được áp dụng rộng rãi trong mọi mạng điện với chức năng chính là chống các hiện tượng ngắn mạch, kể cả ngắn mạch chạm đất xảy ra trong hệ thống điện [6,7]. Để đảm bảo tính chọn lọc của bảo vệ có thể thực hiện theo 2 nguyên lý: bảo vệ quá dòng có thời gian duy trì và bảo vệ quá dòng tác động tức thời chính định theo dòng ngắn mạch ngoài. Bảo vệ quá dòng có vùng tác động thay đổi phụ thuộc vào tình trạng sự cố và chế độ làm việc của mạng điện, do đó có thể sẽ có một số phần nào đó của đối tượng không được bảo vệ. Để hạn chế điều đó thường kết hợp các bảo vệ khác nhau và các bảo vệ quá dòng thường được bố trí sao cho các vùng tác động của nó lấn sang các vùng của bảo vệ khác và được kiểm tra bằng cách sử dụng module phối hợp các thiết bị bảo vệ (Star-Protection&Coordination) trong phần mềm etap [4,5].

Việc phối hợp bảo vệ được thực hiện theo hai cách sau:

a) Mô phỏng phối hợp bảo vệ với đặc tính thời gian độc lập

Việc phối hợp thời gian tác động của các bảo vệ có đặc tính độc lập tương đối đơn giản, trước hết cần chọn thời gian khởi động cho bảo vệ xa nguồn nhất, sau đó thêm vào một số gia thời gian

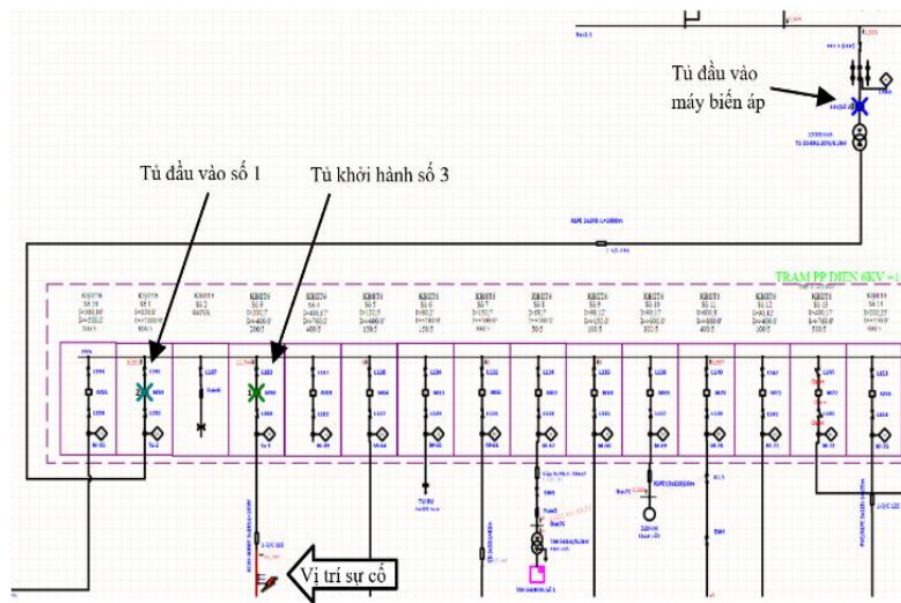
cho các bảo vệ gần hơn đủ để đảm bảo độ chọn lọc cần thiết, tức là [8,9]:

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t$$

Δt gọi là cấp chọn lọc về thời gian.

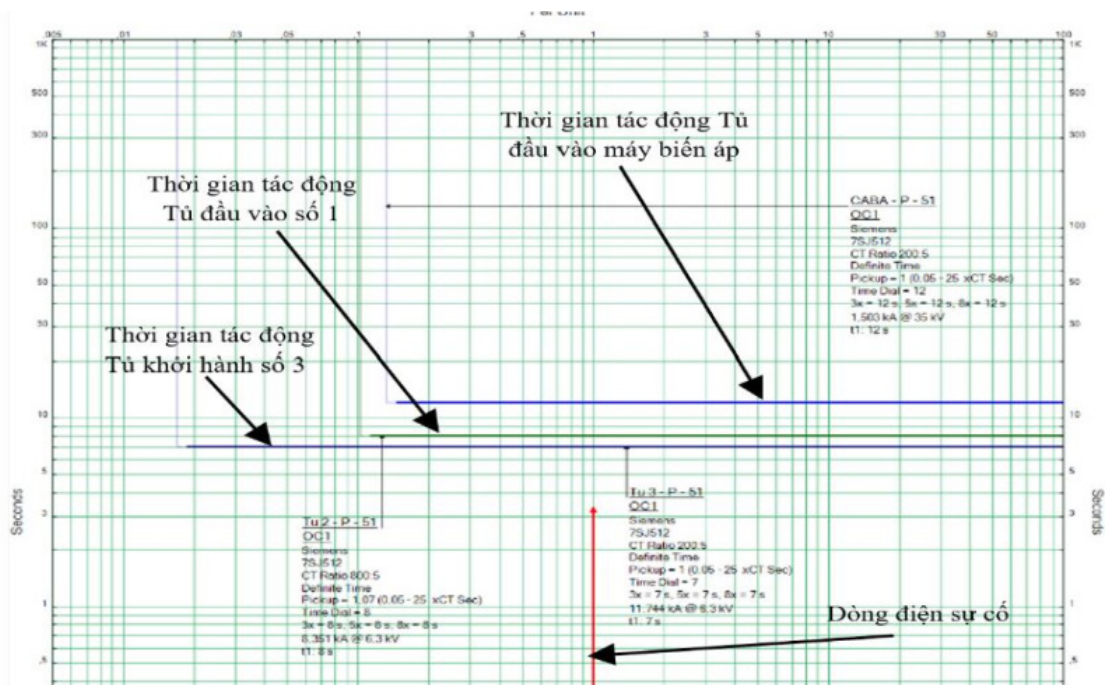
Sau khi cài đặt các thông số vào rơle ở các tủ đầu vào, tủ khởi hành cùng với các cấp thời gian. Chạy sơ đồ mô phỏng giả sử cho sự cố tại tủ khởi hành số 3 trên sơ đồ mô phỏng nhận thấy sự phối hợp bảo vệ theo đúng từng cấp tác động 1->2->3 như thể hiện các số trên hình 4.

Hình 4. Mô phỏng kiểm tra sự phối hợp bảo vệ quá dòng điện khi sự cố



Dựa trên đặc tính thời gian độc lập của rơle tại 3 tủ như hình 5 cho thấy bảo vệ tác động đảm bảo tính chọn lọc.

Hình 5. Bảo vệ rơle quá dòng điện với đặc tính thời gian độc lập



b) Mô phỏng phối hợp bảo vệ với đặc tính thời gian phụ thuộc giới hạn

Hiện nay các phương pháp tính toán chỉnh định rơ le quá dòng với đặc tính thời gian phụ thuộc đa dạng về chủng loại và tiêu chuẩn nhưng thông thường hay chọn đặc tính thời gian phụ thuộc theo chuẩn đường cong của IEC [8,10]:

$$t = \frac{K \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha} + L$$

Trong đó: t - thời gian hoạt động của rơ le, s;

I_s - dòng điện khởi động của rơ le, A;

I - dòng điện ngắn mạch, A;

k - bội số thời gian;

L - hằng số.

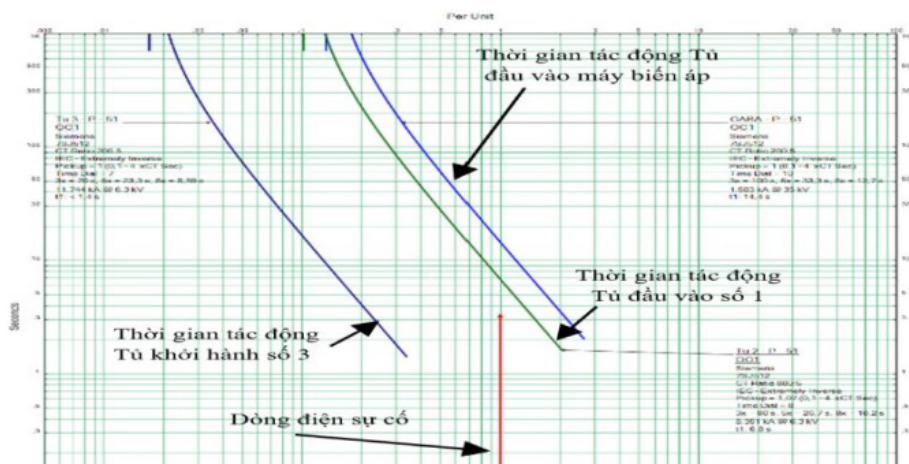
Các tham số α và β được dùng để xác định độ dốc đặc tính của rơ le và hằng số L theo tiêu chuẩn IEC của rơ le quá dòng được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Các tham số của rơ le quá dòng theo tiêu chuẩn IEC

Đặc tính	α	β	L
Đốc chuẩn	0,02	0,14	0
Rất dốc	1	13,5	0
Cực dốc	2	80	0

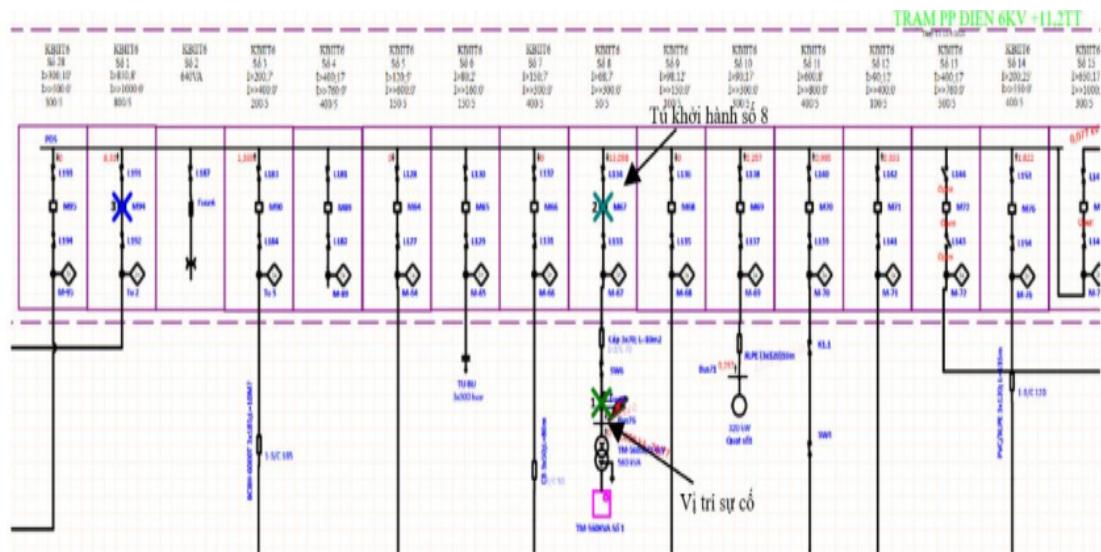
Sau khi cài đặt rơ le với đặc tính phụ thuộc dốc chuẩn [11,12] và chạy mô hình mô phỏng như hình 4 và cho thấy sự phối hợp bảo vệ như trường hợp đặc tính dốc lập. Dựa trên đặc tính phụ thuộc dốc chuẩn của rơ le tại 3 tủ và kết quả phối hợp bảo vệ trên cho thấy bảo vệ tác động đảm bảo tính chọn lọc.

Hình 6. Bảo vệ rơ le quá dòng điện với đặc tính phụ thuộc

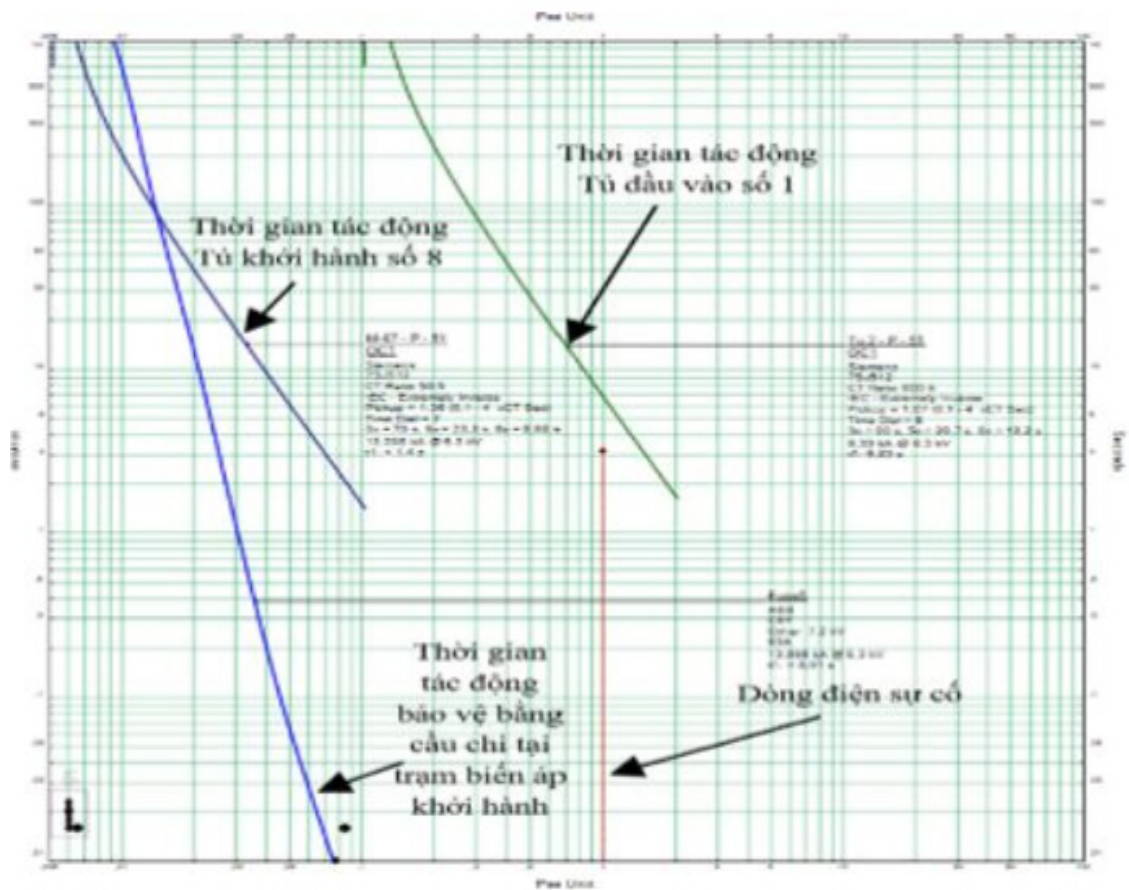


+ Chạy mô phỏng kiểm tra sự phối hợp bảo vệ ở một khởi hành cung cấp điện cho một máy biến áp có bảo vệ bằng cầu chì ở phía cao áp trên hình 7. Kết quả mô phỏng khi sự cố xảy ra trên thanh cái máy biến áp phía 6,3kV cho thấy sự phối hợp của các bảo vệ theo đúng từng cấp tác động 1->2->3 như thể hiện các số trên hình 7 đảm bảo tính chọn lọc cũng như trên đặc tính tác động của bảo vệ rơ le quá dòng điện và cầu chì trên hình 8.

Hình 7. Kiểm tra sự phối hợp bảo vệ quá dòng điện khi sự cố tại thanh cái máy biến áp phân xưởng



Hình 8. Đặc tính tác động của bảo vệ rơle quá dòng điện và cầu chì



4. Kết luận và kiến nghị

Phối hợp bảo vệ quá dòng điện trong trạm biến áp 35/6kV có ý nghĩa hết sức quan trọng để đảm bảo loại trừ đúng khởi hành bị sự cố tránh hiện tượng bị cắt vượt cấp góp phần nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cho xí nghiệp mỏ.

Khi sử dụng phần mềm Etap giúp cho nhà vận hành, thiết kế cài đặt thử các thông số tính toán của bảo vệ quá dòng sau đó tiến hành chạy mô phỏng kiểm tra sự cố tại vị trí bất kỳ trên sơ đồ cung cấp điện của trạm biến áp để kiểm tra khả năng cắt phối hợp của các bảo vệ đặc biệt là bảo vệ quá dòng điện.

Ứng dụng phần mềm Etap trong mô phỏng toàn bộ sơ đồ nguyên lý cung cấp điện chi tiết của trạm biến áp 35/6kV giúp ích cho việc quản lý vận hành, kiểm tra các thông số kỹ thuật của mạng điện được thuận tiện và nhanh chóng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Atsever, M. B., Karacasu, O., & Hocaoglu, M. H. (2021). Optimal overcurrent relay coordination in distribution networks. *Proceedings of the 56th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*.
2. Bayliss, C. R., & Hardy, B. J. (2007). *Transmission and distribution electrical engineering* (3rd ed.). Newnes.
3. Chen, Y., Wang, Z., & Li, Q. (2021). Scalability of protective relay technologies in industrial applications. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 15(2), 42–50.
4. Gers, J. M., & Holmes, E. J. (2004). *Protection of electricity distribution networks* (2nd ed.). The Institution of Electrical Engineers.
5. Hồ Việt Bun. (2025). Nghiên cứu ứng dụng phần mềm ETAP trong thiết kế, kiểm tra, quản lý và vận hành mạng cấp điện trong các xí nghiệp mỏ. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, (3), 34–40.
6. Kim, H., Cho, S., & Lee, J. (2020). Fault protection in power networks: The role of overcurrent relays in modern grid infrastructures. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105620.
7. Nguyễn Nhân Bồn, Lê Văn Đại. (2020). *Ứng dụng phần mềm ETAP trong công nghệ lưới điện thông minh*. Nxb Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
8. Operation Technology, Inc. (2019). *ETAP demo getting started*.
9. Shaikh, S., Shaikh, S., Soomar, A. M., & Shah, S. H. H. (2023). Coordination of protective relays in the substation. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 14(3), 1471–1478.
10. Thamir, A.-W., & Obied, Y. M. (2021). Protection coordination of 33/11 kV power distribution substation in Iraq. *Engineering and Technology Journal*, 39(5A), 723–737.
11. Trần Quang Khánh. (2024). *Bảo vệ role và tự động hóa hệ thống điện* (Quyển 1). Nxb Bách Khoa Hà Nội.
12. Võ Ngọc Điều. (Chủ biên). (2017). *ETAP và ứng dụng trong phân tích hệ thống điện*. Nxb Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.