

MÔ PHỎNG CHỨC NĂNG BẢO VỆ SO LỆCH ỨNG DỤNG TRONG GIẢNG DẠY HỌC PHẦN BẢO VỆ RƠLE**SIMULATION OF DIFFERENTIAL PROTECTION FOR TEACHING RELAY PROTECTION MODULE****Vũ Thị Thu Nga, Vũ Thị Anh Thơ**

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 01/8/2024, Ngày chấp nhận đăng: 18/10/2024, Phản biện: TS. Lê Thị Minh Châu

Tóm tắt:

Bảo vệ rơle có vai trò quan trọng trong việc phát hiện và loại trừ sự cố trên hệ thống điện, giúp hạn chế thiệt hại do sự cố gây ra, đảm bảo quá trình vận hành tin cậy của hệ thống điện. Bảo vệ so lệch là loại bảo vệ rơle làm việc có độ tin cậy cao, có tính chọn lọc tuyệt đối và thường được sử dụng làm bảo vệ chính cho máy phát điện, máy biến áp, động cơ, thanh góp... và những phần tử quan trọng trong hệ thống điện. Bài báo đề cập việc đánh giá quá trình làm việc của bảo vệ so lệch cho phần tử trong hệ thống điện, từ khâu thiết kế đến hiệu quả làm việc của rơle. Mô hình hóa và mô phỏng cho phép thực hiện các bước thiết kế, thử nghiệm, kiểm tra và đánh giá quan trọng hiệu quả làm việc của các bảo vệ rơle. Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày mô hình mô phỏng chức năng bảo vệ so lệch sử dụng cho bảo vệ máy biến áp trong hệ thống lưới phân phối bằng Matlab/Simulink. Sự làm việc của bảo vệ rơle so lệch sẽ được mô phỏng khi xuất hiện các sự cố ở trong và ngoài phạm vi bảo vệ.

Từ khóa:

Bảo vệ rơle, bảo vệ so lệch, mô phỏng sự cố, bảo vệ máy biến áp, bảo vệ hệ thống điện.

Abstract:

Relay protection plays an important role in detecting and eliminating incidents in the power system to reduce damage caused by incidents, ensuring reliable operation of the network. Differential protection is a type of relay protection that works with high reliability and absolute selectivity, which is often used as main protection for generators, transformers, motors, busbars... and other important elements in the power system. This article refers to the working evaluation of differential protection for various system elements from the design to working efficiency of the relay. The modelisation and simulation allows to realize important steps in designing, testing, verifying and evaluating the performance of relay protection. In this research, the author presents a simulation model of the differential protection function used to protect transformers in the distribution grid system using Matlab/Simulink. The working of the differential relay protection will be simulated when incidents occur inside and outside the protection range.

Keywords:

Relay protection, differential protection, fault simulation, transformer protection, power system protection.

1. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển của xã hội, hệ thống điện ngày càng trở nên quan trọng trong việc cung

cấp điện cho các phụ tải điện đối với công nghiệp và sinh hoạt. Tuy nhiên, hệ thống điện có quy mô mang tính quốc gia trải dài khắp đất nước nên xác suất xảy ra sự cố trong quá trình

vận hành là rất lớn do nhiều nguyên nhân khác nhau như: thiên tai, sự cố bên ngoài, hệ thống vận hành sai do sơ suất của người vận hành,... Các sự cố có thể dẫn đến hư hỏng thiết bị, gián đoạn quá trình cung cấp điện đến phụ tải, phát sinh chi phí đáng kể để thay thế, sửa chữa thiết bị và gián đoạn sản xuất.

Những hậu quả có thể dẫn đến từ sự cố trên hệ thống điện đòi hỏi cần phải có hệ thống thiết bị phát hiện và loại trừ nhanh chóng các phần tử bị sự cố ra khỏi hệ thống điện, đó là hệ thống bảo vệ role. Hệ thống bảo vệ role làm việc bằng cách theo dõi liên tục các thông số của hệ thống điện và ghi nhận mọi bất thường có thể phát sinh. Khi xuất hiện thông số bất thường trên hệ thống, role sẽ cô lập phần tử bị sự cố, ngăn ngừa gây thiệt hại thêm cho các phần tử lân cận, khôi phục hệ thống trở về trạng thái ổn định và an toàn.

Nghiên cứu sự làm việc tin cậy của role thực hiện trên các hệ thống thực tế rất nguy hiểm và đòi hỏi chi phí cao. Do vậy, sử dụng các hệ thống mô phỏng là rất quan trọng và cần thiết, cho phép thử nghiệm và tối ưu hóa các sơ đồ bảo vệ role cho từng đối tượng được bảo vệ một cách an toàn, phù hợp và được kiểm soát. Thông qua mô phỏng, kỹ sư có thể đánh giá tính hiệu quả của các sơ đồ bảo vệ khác nhau trong việc phát hiện và cách ly sự cố, cũng như tối ưu hóa cài đặt thông số và cấu hình theo các điều kiện cụ thể của hệ thống điện. Từ đó, việc nghiên cứu hệ thống bảo vệ role, thiết kế, tối ưu hóa và đánh giá các sơ đồ bảo vệ được dễ dàng hơn và giảm được chi phí thử nghiệm thực tế trên hệ thống, đồng thời đảm bảo hệ thống điện vận hành an toàn, tin cậy.

Hiện, có rất nhiều nghiên cứu ứng dụng các phần mềm mô phỏng bảo vệ role như CAdE Simu, EMTP, ETAP, PowerFactory [1]. Trong trường học và khu công nghiệp, các công cụ mô phỏng dựa trên Matlab/Simulink [2], [3] đang trở nên phổ biến cho các ứng dụng mô phỏng kỹ thuật điện. Phần mềm mô phỏng này cho phép xây dựng các mô hình chi tiết của hệ thống điện và hệ thống bảo vệ role, hỗ trợ kỹ sư phân tích hiệu quả khả năng làm việc của hệ thống bảo vệ trong các điều kiện sự cố khác nhau. T. R. Chelliah và đồng nghiệp [4] đã mô tả việc triển khai Matlab/Simulink về phối hợp các role quá dòng có hướng sử dụng mô hình thử nghiệm 3 thanh góp và 4 thanh góp. Những mô hình mô phỏng này được phát triển để hỗ trợ và nâng cao các khóa học về bảo vệ hệ thống điện ở cấp đại học, giúp sinh viên có được sự hiểu biết rõ ràng về chủ đề này. Nghiên cứu [5] đã sử dụng Matlab/Simulink mô phỏng sự làm việc của role bảo vệ quá dòng cho đường dây cao áp 230kV được xây dựng trên cơ sở mô hình toán học theo tiêu chuẩn IEC 60255 và IEEE C37.112-1996. G. Rajitha và cộng sự [6] đã mô phỏng, phân tích và nghiên cứu hoạt động của role quá dòng trong các điều kiện sự cố khác nhau tác động lên đường dây phân phối sử dụng Matlab/Simulink. Nghiên cứu [7] đề cập đến việc mô hình hóa và mô phỏng role quá có thời gian với đặc tính thời gian phụ thuộc bằng phần mềm Matlab/Simulink. Mô hình đã phát triển và được thử nghiệm với sự cố một đường dây nối đất và sự cố pha-pha với các vị trí sự cố và điện trở sự cố khác nhau để đánh giá các bộ phát hiện pha và đất trong việc cảm nhận dòng điện sự cố. Kết quả mô phỏng cho thấy tính

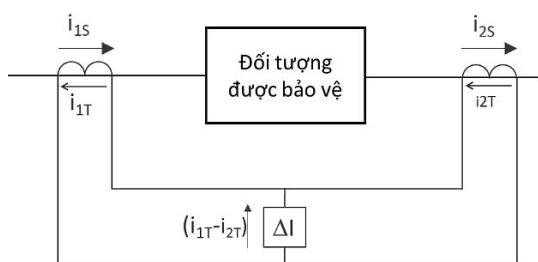
khả thi của phần mềm được sử dụng để phát triển mô phỏng bảo vệ rơle.

Trong nghiên cứu này, tác giả xây dựng mô hình mô phỏng cho bảo vệ so lệch bảo vệ máy biến áp sử dụng phần mềm Matlab/Simulink. Mô hình được mô phỏng thử nghiệm với nhiều điều kiện sự cố khác nhau ở bên trong và ngoài phạm vi bảo vệ của rơle, để đánh giá quá trình làm việc của rơle so lệch. Kết quả mô phỏng được phân tích ở những phần tiếp theo để thấy được tính khả thi của mô hình và có thể ứng dụng trực quan trong quá trình giảng dạy học phần Bảo vệ rơle trong chương trình đào tạo ngành Công nghệ Kỹ thuật điện, điện tử của Trường Đại học Điện lực.

2. BẢO VỆ SO LỆCH

2.1. Nguyên lý làm việc

Role so lệch dòng điện làm việc dựa trên nguyên tắc so sánh véc tơ dòng điện ở hai đầu phần tử được bảo vệ. Khi độ chênh lệch dòng điện giữa hai đầu vượt ngưỡng giá trị dòng điện khởi động định trước, bảo vệ sẽ tác động [8]. Nguyên lý bảo vệ so lệch được thể hiện như trong Hình 1.



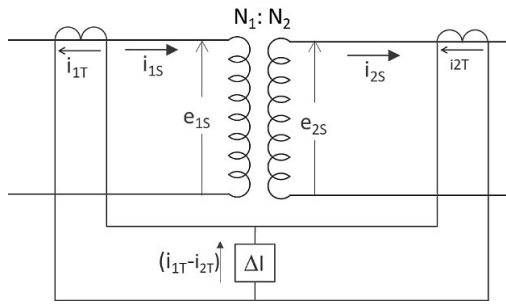
Hình 1. Nguyên lý bảo vệ so lệch dòng điện đơn giản

Đối tượng được bảo vệ trong sơ đồ có thể là đường dây truyền tải, máy biến áp lực, máy phát điện hoặc hệ thống thanh góp. Dòng điện so lệch qua rơle được xác định là hiệu dòng điện thứ cấp các máy biến dòng:

$$i_{SL} = i_{1T} - i_{2T} \quad (1)$$

Trong trường hợp sử dụng các máy biến dòng điện lý tưởng, trong chế độ làm việc bình thường và ngắn mạch ngoài, dòng điện so lệch có giá trị bằng 0. Ngược lại, khi có ngắn mạch trong vùng bảo vệ là vùng giới hạn bởi các biến dòng, dòng so lệch có giá trị lớn và bảo vệ so lệch được chỉnh định tác động cắt, tách phần tử sự cố ra khỏi hệ thống điện. Bảo vệ so lệch được đánh giá cao về khả năng tác động nhanh, khả năng chọn lọc tuyệt đối với các sự cố trong vùng bảo vệ và độ nhạy đảm bảo và nhiều chức năng so lệch khác nhau được triển khai nhằm tối ưu hóa hoạt động cho các đối tượng bảo vệ khác nhau: bảo vệ so lệch có hãm, bảo vệ so lệch tổng trở cao, bảo vệ so lệch góc pha... Nhờ vậy, bảo vệ so lệch được ứng dụng làm bảo vệ chính cho các thiết bị điện quan trọng trên lưới điện: máy phát điện, máy biến áp, hệ thống thanh góp, đường dây cao áp và siêu cao áp...

Trong bài báo này, đối tượng bảo vệ được xem xét là một máy biến áp phân phối. Trong trường hợp tổng quát, sơ đồ bảo vệ so lệch máy biến áp một pha hai cuộn dây có thể được thể hiện như Hình 2 [9].



Hình 2. Bảo vệ so lệch máy biến áp

Trong trạng thái làm việc bình thường, máy biến áp luôn đảm bảo quan hệ:

$$N_1 i_{1S} = N_2 i_{2S} \quad (2)$$

Trong đó, N_1 , N_2 lần lượt là số vòng dây các phía của máy biến áp. Thay thế dòng điện sơ cấp của các biến dòng bằng dòng điện thứ cấp, phương trình (2) trở thành:

$$N_1 n_1 i_{1T} = N_2 n_2 i_{2T} \quad (3)$$

Với n_1 và n_2 là các tỉ số biến đổi tương ứng của các máy biến dòng điện. Nếu có thể lựa chọn được tỉ số biến đổi phù hợp cho các máy biến dòng đảm bảo quan hệ thì trong trạng thái làm việc bình thường luôn có:

$$i_{1T} - i_{2T} \quad (4)$$

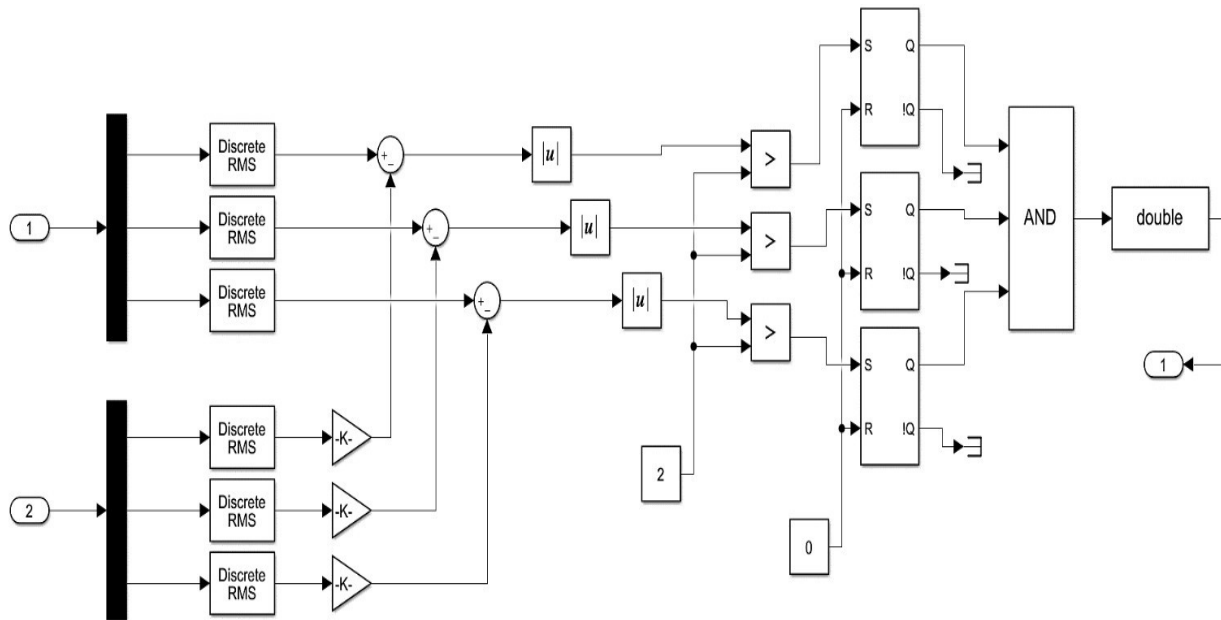
Tuy nhiên, đạt được điều kiện này không dễ do cách máy biến dòng điện được chế tạo công nghiệp và không điều chỉnh được tỉ số vòng dây. Điều này dẫn đến ngay cả trong trạng thái làm việc bình thường dòng điện so lệch. Điểm này ảnh hưởng đến việc tính toán thông số khởi động bảo vệ. Ngoài ra, bảo vệ so lệch cho máy biến áp còn bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác:

- Dòng điện từ hóa khi đóng máy biến áp;
- Các thành phần sóng hài trong dòng từ hóa đóng máy biến áp;
- Dòng từ hóa xâm nhập khi loại trừ các sự cố bên ngoài bởi các bảo vệ khác;
- Quá kích từ máy biến áp;
- Bảo hòa mạch từ các máy biến dòng.

Để hạn chế các ảnh hưởng trên, thông thường để bảo vệ cho máy biến áp người ta sử dụng bảo vệ so lệch dòng điện có hãm và hãm sóng hài bậc hai. Tương tự, khi triển khai mô hình hóa và mô phỏng chức năng bảo vệ so lệch máy biến áp cũng cần quan tâm đến các yếu tố này để có thể mô phỏng và đánh giá chính xác sự làm việc của bảo vệ.

2.2. Mô-đun Matlab/Simulink cho role so lệch

Từ nguyên lý làm việc của role so lệch, mô-đun role được xây dựng sử dụng phần mềm mô phỏng Matlab/Simulink cho mạch điện 3 pha (Hình 3) gồm 2 đầu vào I_{n1} và I_{n2} tương ứng với 2 giá trị dòng vào role của 2 đầu đối tượng được bảo vệ. Vì máy biến áp có điện áp hai phía là khác nhau nên tại đầu vào I_{n2} , đặt thêm khối Gain để bằng tỷ lệ giữa điện thứ cấp/điện áp sơ cấp của máy biến áp nhằm cân bằng dòng điện ở hai phía của máy biến áp ở chế độ làm việc bình thường. Hai tín hiệu đầu vào được đưa vào khối so sánh biên độ để thấy được sự khác biệt giữa hai tín hiệu đầu vào. Hệ thống điều khiển



Hình 3. Mô-đun mô phỏng rơ le so lệch

role dựa trên hệ điều hành kỹ thuật số. Toán tử quan hệ được sử dụng để so sánh dòng điện đầu vào với dòng điện cài đặt mong muốn. Đầu ra của toán tử quan hệ được kết nối với bộ Flip Flop SR. Logic của bộ Flip Flop SR được thể hiện trong bảng logic (Bảng 1).

Bảng 1. Bảng tín hiệu logic của khối Flip-Flop

S	R	Q	Trạng thái
0	0	Trạng thái trước đó	Không thay đổi
0	1	0	Cài đặt lại
1	0	1	Cài đặt
1	1	x	Không cho phép

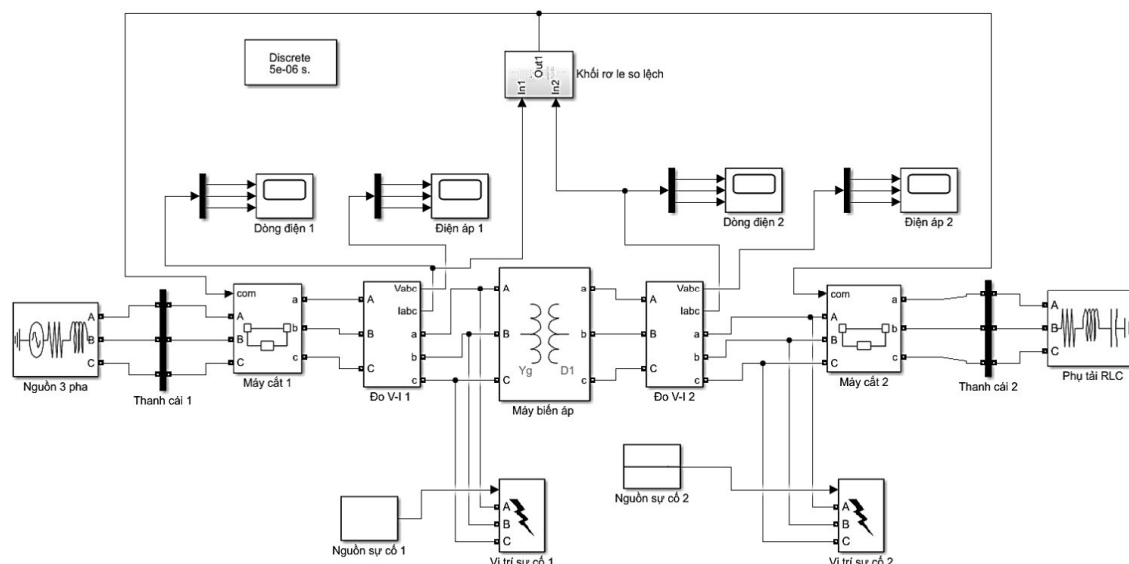
Để máy cắt ngắt mạch, tất cả đầu vào “R” của lip- lop phải được kết nối với '0'. Tất cả đầu vào 'S' phải được kết nối với đầu ra của các toán tử quan hệ. Khi xảy ra lỗi, toán tử quan hệ sẽ trở thành 1 và với đầu vào 'R' bằng 0, đầu ra lip- lop (Q) sẽ trở thành 1 (SET-cài đặt), tín hiệu của 3 pha sẽ được qua bộ logic AND sẽ được gửi đến máy cắt thực hiện trip (cắt).

3. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

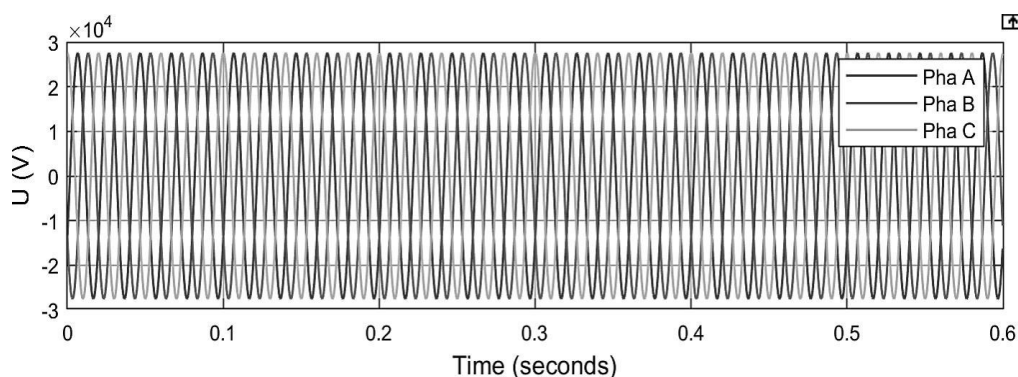
3.1. Đối tượng và sơ đồ mô phỏng

Mô phỏng sự làm việc của role so lệch bảo vệ cho máy biến áp được thực hiện trên mạch điện có các thông số:

- Nguồn điện 3 pha có cấp điện áp 10kV;



Hình 4. Sơ đồ mô phỏng bảo vệ máy biến áp sử dụng rơle so lệch

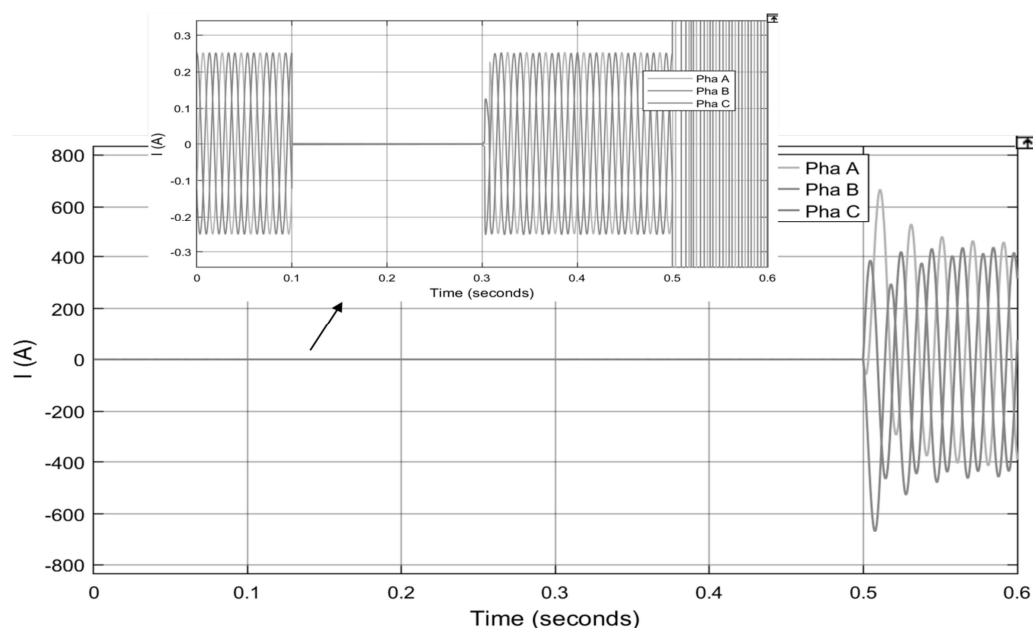


Hình 5. Điện áp 3 pha khi hệ thống điện làm việc bình thường

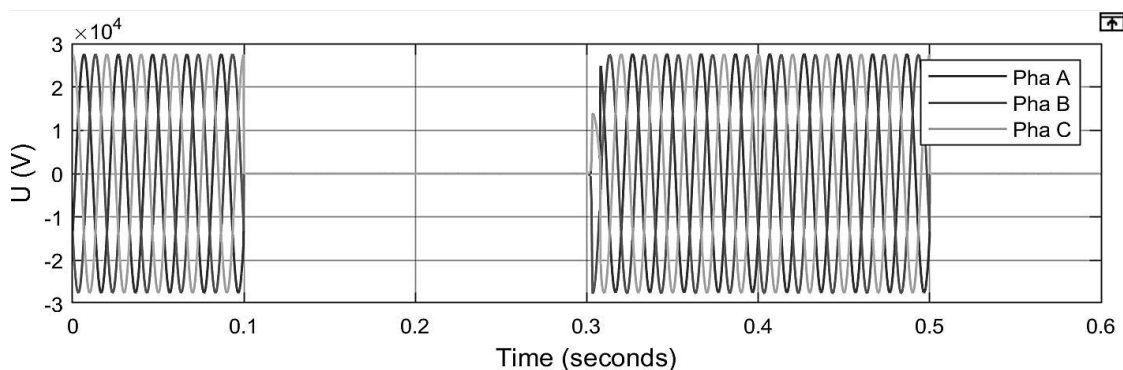
- Máy biến áp 3 pha 2 cuộn dây, tổ nối dây Y/ Δ , điện áp 10/35kV;
- Phụ tải điện RLC mắc nối tiếp.

Sơ đồ mô phỏng chức năng làm việc của bảo vệ máy biến áp sử dụng rơle so lệch được xây dựng thể hiện trong Hình 4. Đầu vào I_{n1} và I_{n2} được kết nối với thiết bị đo V-I của 2 phía máy biến áp, đầu ra (out) gửi tín hiệu đến 2 máy cắt

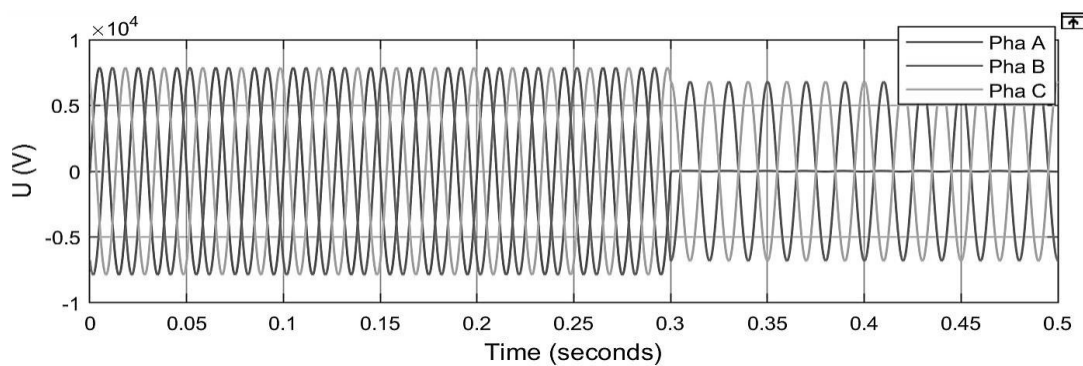
thực hiện trip khi có sự cố trong phạm vi bảo vệ. Phạm vi bảo vệ của rơle so lệch cho máy biến áp được giới hạn trong phạm vi giữa hai thiết bị đo dòng/áp V-I. Mô phỏng được thực hiện ở các trạng thái khác nhau của mạch điện: mạch điện làm việc bình thường, sự cố ngắn xuất hiện ngoài phạm vi bảo vệ và sự cố ngắn mạch xuất hiện trong phạm vi bảo vệ.



Hình 6. Dòng điện 3 pha khi có ngắn mạch từ 0,1-0,3 giây trong phạm vi bảo vệ và ngắn mạch từ 0,5 giây ngoài phạm vi bảo vệ của bảo vệ so lệch



Hình 7. Điện áp 3 pha khi có ngắn mạch từ 0,1-0,3 giây trong phạm vi bảo vệ và ngắn mạch từ 0,5 giây ngoài phạm vi bảo vệ của bảo vệ so lệch



Hình 8. Điện áp 3 pha khi ngắn mạch chạm đất pha A trong phạm vi bảo vệ tại thời gian 0,3 giây

3.2. Kết quả và phân tích

Nghiên cứu phân tích quá trình làm việc của sơ đồ mô phỏng chức năng bảo vệ role so lệch được thực hiện ở trường hợp hệ thống làm việc bình thường và xảy ra sự cố.

Trường hợp 1: Không xuất hiện sự cố trên hệ thống điện (tín hiệu sự cố tại 2 vị trí sự cố 1 và 2 bằng 0). Kết quả mô phỏng được thể hiện trên Hình 5. Giá trị điện áp trên cả 3 pha đều ở dạng hình sin lệch pha nhau 120°, không có sự biến động trong quá trình làm việc.

Trường hợp 2: xảy ra sự cố ngắn mạch 3 pha trong phạm vi bảo vệ từ 0,1 đến 0,3 giây (vị trí sự cố 1); sau đó xảy ra sự cố ngoài phạm vi bảo vệ từ 0,5 giây (vị trí sự cố 2). Theo nguyên lý làm việc của bảo vệ so lệch, khi xảy ra sự cố trong phạm vi bảo vệ role sẽ tác động cắt máy cắt ở 2 đầu máy biến áp. Do vậy, tại khoảng thời gian từ 0,1 - 0,3 giây, role so lệch sẽ tác động vào máy cắt hai đầu của máy biến áp để cắt loại bỏ sự cố. Do máy cắt nhận được tín hiệu cắt nên giá trị dòng điện và điện áp trong khoảng thời gian đó là 0 (Hình 6, 7). Sau thời gian 0,3 giây sự cố được loại trừ, hệ thống được khôi phục nên giá trị dòng điện và điện áp được khôi phục trở lại trạng thái làm việc bình thường. Tiếp theo, tại thời gian 0,5 giây sự cố xảy ra ở ngoài phạm vi bảo vệ, giá trị dòng điện trong mạch tăng mạnh nhưng role so lệch không tác động, do vậy, dòng điện sau 0,5 giây trên hệ thống không về giá trị 0 (Hình 6). Như vậy, mô-đun role bảo vệ so lệch được mô phỏng bằng phần mềm Matlab/Simulink tác động đúng theo nguyên lý làm việc của role.

Trường hợp 3: Ngắn mạch 1 pha chạm đất (pha A-đất) trong phạm vi bảo vệ (vị trí 1) tại thời gian 0,3 giây. Kết quả mô phỏng được thể hiện trên Hình 8. Trong trường hợp này chỉ có pha A bị sự cố mới được ngắt mạch bởi role, các pha khác (B, C) role không tác động mở máy cắt. Do vậy, giá trị điện áp của pha A sẽ có giá trị bằng 0 từ thời điểm 0,3 giây, các pha còn lại có giá trị điện áp khác 0.

4. KẾT LUẬN

Mô phỏng sự làm việc của role so lệch sử dụng phần mềm Matlab/Simulink có kết quả khá tin cậy đối với các loại sự cố xuất hiện ở các vị trí khác nhau trên hệ thống điện. Tại thời điểm xảy ra sự cố 3 pha, máy biến áp sẽ được tách ra khỏi hệ thống bởi tín hiệu của role so lệch tác động lên máy cắt ở hai phía máy biến áp. Trong trường hợp một pha bị sự cố thì chỉ pha đó sẽ được role tác động cắt máy cắt. Trường hợp sự cố xảy ra ngoài phạm vi bảo vệ, role sẽ không gửi tín hiệu đến máy cắt để tác động cắt máy biến áp ra khỏi hệ thống. Kết quả thu được từ các nghiên cứu mô phỏng chứng minh rằng mô-đun của role so lệch làm việc tin cậy cho bảo vệ máy biến áp trên hệ thống điện.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả gửi lời cảm ơn tới Trung tâm LAPLACE (Toulouse, Pháp) đã hỗ trợ sử dụng công cụ mô phỏng trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Mladen Kezunovic, Jinfeng Ren and Saeed Lotfifard, *Design, Modeling and Evaluation of Protective Relays for Power Systems*, Springer. 2016.
- [2]. Andreev M. V., Sulaymanov A. O., and Gusev A. S., "Simulation of differential protections of transformers in power systems," *Conf. Dev. Power Syst. Prot. DPSP 2016*, 2016.
- [3]. N. S. Jadhav and A. Thorat, "Design of a differential relay for 1000-kV transmission line using MATLAB," *Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain.*, 2013.
- [4]. T. R. Chelliah and S. Allamsetty, "Coordination of Directional Over-Current Relays using MATLAB/Simulink and their integration into undergraduate Power System protection courses," *10th Int. Conf. Adv. Power Syst. Control Oper. Manag. APSCOM 2015*, pp. 1–7, 2015, doi: doi: 10.1049/ic.2015.0295.
- [5]. Vo Tien Dung*, Thai Huu Nguyen, Tran Duy Trinh, "Modeling of relay protection of electric power system using Matlab/Simulink," *Vietnam J. Sci. Technol.*, vol. 62, no. 2, pp. 346–358, 2024, doi: <https://doi.org/10.15625/2525-2518/18250>.
- [6]. G. Rajitha, Shiva Chandanala, Nikhil Reddy Kurre, Shiva and Simha Manupati, "Fault Analysis Using Over Current Relay in MATLAB Simulink," *Int. J. Sci. Res. Eng. Trends*, pp. 1–6, 2023.
- [7]. N. H. Hussin et al, "Modeling and simulation of inverse time overcurrent relay using Matlab/Simulink," *IEEE Int. Conf. Autom. Control Intell. Syst. I2CACIS*, pp. 40–44, 2016, doi: 10.1109/I2CACIS.2016.7885286.
- [8]. J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin, *Protective Relaying: Principles and Applications*, CRC Press. 2007.
- [9]. Stanley H. Horowitz, Arun G. Phadke, *Power System Relaying*, Wiley. 2008.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Vũ Thị Thu Nga** tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2007 tại Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2014 tại Đại học Toulouse III (Paul Sabatier) – Pháp. Tác giả được công nhận chức danh Phó Giáo sư năm 2023 và hiện là giảng viên Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: Tích điện không gian, HVDC, vật liệu cách điện, kỹ thuật điện cao áp, rơle và tự động hóa trong hệ thống điện.



Tác giả **Vũ Thị Anh Thơ** tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện năm 2006, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2007 tại Viện Bách Khoa quốc gia Grenoble – Pháp; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2011 tại Đại học Grenoble – Pháp. Hiện, tác giả là giảng viên Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: Phóng điện cục bộ, vật liệu cách điện, rơle và tự động hóa trong hệ thống điện, dự báo công suất và dự báo phụ tải.