

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG RƠ LÊ KỸ THUẬT SỐ CỦA SIEMENS 7UT613
BẢO VỆ SO LỆCH CHO MÁY BIẾN ÁP LỰC
Simulation Study of the Siemens 7UT613 Differential
Protection Relay for Power Transformer

Nguyễn Thị Thùy Dung^{1,*}

Tóm tắt:

Hệ thống bảo vệ máy biến áp bao gồm nhiều loại bảo vệ khác nhau trong đó bảo vệ so lệch sử dụng là bảo vệ chính. Bảo vệ so lệch máy biến áp phải thỏa mãn tiêu chí vừa có độ nhạy cao để bảo vệ máy biến áp khỏi các sự cố, vừa đảm bảo tính chọn lọc để tránh những tác động nhằm gây mất điện. Bài báo trình bày việc nghiên cứu thiết lập mô hình và đánh giá đặc tính làm việc của rơ le kỹ thuật số 7UT613 của hãng Siemens bảo vệ máy biến áp 3 pha 220/110/35 kV dựa trên phần mềm Matlab/Simulink. Việc mô phỏng được tiến hành trong các trường hợp máy biến áp vận hành bình thường, ngắn mạch phía 220 kV, 110 kV, 35 kV và ngắn mạch phía phụ tải. Kết quả đưa ra phân tích, đánh giá bao gồm dòng điện của các cuộn dây cao áp, trung áp và hạ áp đưa vào rơ le; dòng so lệch và dòng hãm; tín hiệu từ khối hãm hài và khối Trip của rơ le.

Từ khóa: Bảo vệ so lệch, Máy biến áp, Matlab/Simulink, 7UT613

Abstract:

The transformer protection system includes many different types, in which differential protection is the main protection. Differential protection of the transformer must satisfy the criteria of both having high sensitivity to protect the transformer from incidents and ensuring selectivity to avoid erroneous impacts that cause power outages. This paper presents the research to establish a model and evaluate the working characteristics of Siemens digital relay 7UT613 to protect the three-phase

transformer 220/110/35 kV based on Matlab/Simulink. On that basis, it can be adjusted to improve the accurate and reliable operation of the transformer differential protection relay when a fault occurs inside the protection zone. The simulation is conducted in the cases of normal transformer operation, transformer surge, short circuits on the 220 kV, 110 kV, 35 kV sides and short circuits on the load side. The results of analysis and evaluation include the current of the high voltage, medium voltage and low voltage coils fed into the relay; differential current and braking current; signal from the harmonic block and the Trip block of the relay.

Keywords: Differential protection, Transformer, Matlab/Simulink, 7UT613

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Ở Việt Nam cũng như trên thế giới, bảo vệ so lệch cho máy biến áp ngày nay thường sử dụng rơ le bảo vệ so lệch của các hãng thiết bị điện lớn như ABB, Siemens, Schneider, Sel, GE ... Công việc nghiên cứu nắm bắt các thông số kỹ thuật và công nghệ của rơ le nhằm đáp ứng yêu cầu vận hành là một nhiệm vụ của người làm công tác kỹ thuật cũng như nghiên cứu. Bên cạnh việc nghiên cứu lý thuyết, nguyên lý làm việc của thiết bị thì việc mô phỏng hoạt động mang lại ý nghĩa thực tiễn rất lớn.

Role số 7UT613 do hãng Siemens sản xuất, thường được sử dụng để bảo vệ chính cho máy biến áp 3 cuộn dây hoặc máy biến áp tự ngẫu ở tất cả các cấp điện áp. Với nhiều ưu điểm như đặc tính tác động có hãm, có khả năng ổn định đối với các dòng xung kích dựa vào các sóng hài bậc hai, không phản ứng với thành phần một chiều và bão hoà máy biến dòng, ngắt với tốc độ cao và tức thời đối với dòng sự cố lớn, chức năng theo dõi và giám sát, khả năng truyền thông và kết nối đa dạng... và các chức năng khác được tích hợp trong role 7UT613 làm nhiệm vụ dự phòng như bảo vệ quá dòng, chống chạm đất, bảo vệ quá kích

Article history:

Received: 25/8/2024

Accepted: 20/9/2024

Published: 01/10/2024

Authors' affiliations:

¹ Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên, Hưng Yên, Việt Nam

* Địa chỉ e-mail tác giả liên hệ: thuydungddt@gmail.com

* Số điện thoại tác giả liên hệ: +84 985479218

thích, chống hư hỏng máy cắt nên việc sử dụng rơ le số này bảo vệ cho trạm biến áp đáp ứng đầy đủ các yêu cầu hệ thống bảo vệ: an toàn, tin cậy, nhỏ gọn và tính kinh tế cao.

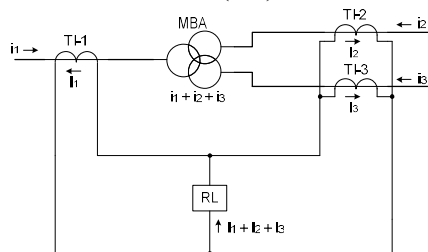
Trong bài báo này tác giả đã tiến hành xây dựng mô hình rơ le bảo vệ so lệch 7UT613 cho máy biến áp 3 pha 220/110/35 kV bằng phần mềm Matlab/Simulink. Mô hình hóa rơ le được thực hiện dựa trên cơ sở đặc tính làm việc của rơ le do nhà sản xuất cung cấp và các thông số kỹ thuật của máy biến áp. Chức năng bảo vệ so lệch có hàm và hàm hài bậc hai được nghiên cứu và phân tích. Kết quả mô phỏng có thể được sử dụng để phân tích các bản ghi sự cố và đối chứng với sự làm việc của các rơ le so lệch trên thực tế.

Phần sau của bài báo trình bày nguyên lý bảo vệ so lệch máy biến áp, giải thuật cho rơ le 7UT613 và mô hình cũng như kết quả mô phỏng hoạt động của rơ le bảo vệ so lệch cho máy biến áp 3 pha 3 cuộn dây trong các trường hợp làm việc bình thường, khi xảy ra sự cố trong vùng bảo vệ và sự cố ngoài vùng bảo vệ. Đồng thời bài viết cũng đưa ra các phân tích đánh giá và kết luận cho các kết quả mô phỏng trên.

II. NGUYÊN LÝ BẢO VỆ SO LỆCH CHO MÁY BIẾN ÁP

Bảo vệ so lệch dòng điện là loại bảo vệ làm việc dựa trên nguyên tắc so sánh sự khác nhau giữa dòng điện đi vào và dòng điện đi ra khỏi đối tượng được bảo vệ. Nếu giá trị so lệch dòng điện vượt quá giá trị cho phép thì bảo vệ sẽ tác động.

Sơ đồ nguyên lý bảo vệ so lệch cho máy biến áp 2 cuộn dây được trình bày ở hình 1. Dòng điện i_1, i_2, i_3 ở các cuộn dây của máy biến áp được biến đổi thành I_1, I_2 và I_3 đưa vào phần tử đo lường của thiết bị bảo vệ (RL).



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý bảo vệ so lệch máy biến áp

Trong điều kiện vận hành bình thường sẽ không có dòng chạy qua phần tử đo lường của RL. Khi có sự cố bên trong các biến dòng, các dòng điện ở mỗi đầu không bằng nhau, thành phần đo lường đo được dòng dòng $i_1 + i_2 + i_3$ tỷ lệ với $I_1 + I_2 + I_3$

là tổng hai dòng sự cố chảy qua. Nếu dòng điện $i_1 + i_2 + i_3$ này đủ lớn cho RL, hệ thống này sẽ cung cấp một bảo vệ đơn giản phân biệt được dòng sự cố [1]-[6].

Khi có một sự cố bên ngoài gây ra dòng ngắn mạch lớn chảy qua vùng bảo vệ, các đặc tính từ hoá khác nhau của các máy biến dòng trong điều kiện bão hoà có thể gây ra dòng đáng kể chảy qua RL. Nếu độ lớn của dòng này nằm trên ngưỡng tác động, hệ thống có thể đưa ra lệnh cắt. Việc hãm chống lại việc tác động sai của bảo vệ [1], [4].

Ở các máy biến áp thông thường các dòng thứ cấp của các biến dòng không bằng nhau do tỷ số biến áp và tổ đấu dây của máy biến áp được bảo vệ và dòng điện định mức, tỷ số biến dòng của các máy biến dòng ở hai phía của máy biến áp. Vì vậy các dòng thứ cấp phải được hiệu chỉnh để có thể so sánh được với nhau. Việc điều chỉnh được thực hiện hoàn toàn bằng toán học, thường không dùng các biến dòng trung gian. Các thông số cần thiết dùng khi tính toán, điều chỉnh là điện áp định mức, dòng điện định mức của máy biến áp và biến dòng điện, tổ đấu dây của máy biến áp [1] - [3].

Công thức tính dòng điện thứ cấp biến dòng điện hiệu chỉnh (quy đổi) [1], [4]:

$$[Im] = M_w \times [K] \times [In] \quad (1)$$

Trong đó: $[Im]$ là ma trận dòng điện đã hiệu chỉnh, $[In]$ là ma trận dòng điện chưa hiệu chỉnh, $[K]$ là ma trận hệ số dòng điện quy đổi phụ thuộc tổ đấu dây, M_w là hệ số bù biên độ phụ thuộc tỷ số biến dòng và biến áp được tính theo công thức (2).

$$M_w = \frac{I_{priW} \times V_{nW}}{I_{priWtc} \times V_{nWtc}} \quad (2)$$

Trong đó: I_{priW}, I_{priWtc} là dòng điện sơ cấp biến dòng của cuộn W cần quy đổi và cuộn tham chiếu; V_{nW} và V_{nWtc} là điện áp danh định của cuộn W cần quy đổi và cuộn tham chiếu ($M = 1$ với cuộn tham chiếu).

Ma trận hệ số dòng điện quy đổi theo tổ đấu dây [1], [5]:

$$[K] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(k \cdot 30^\circ) & \cos((k+4) \cdot 30^\circ) & \cos((k-4) \cdot 30^\circ) \\ \cos((k-4) \cdot 30^\circ) & \cos(k \cdot 30^\circ) & \cos((k+4) \cdot 30^\circ) \\ \cos((k+4) \cdot 30^\circ) & \cos((k-4) \cdot 30^\circ) & \cos(k \cdot 30^\circ) \end{bmatrix} \quad (3)$$

trong đó k là số chỉ của vector sức điện động cảm ứng cuộn dây phía thứ cấp.

Các giá trị dòng điện quy đổi cần thiết cho bảo vệ so lệch được tính toán từ các dòng pha của

từng cuộn dây. Công thức sau được hãng Siemens sử dụng trong việc tính toán bảo vệ so lệch F87T cho máy biến áp 3 cuộn dây [1], [2], [4]:

$$\text{Dòng so lệch: } I_{\text{diff}} = |I_1 + I_2 + I_3|$$

$$\text{Dòng hãm: } I_{\text{rest}} = |I_1| + |I_2| + |I_3|$$

Các dòng I_{diff} và I_{rest} được so sánh bằng bảo vệ so lệch dựa vào đặc tính làm việc. Nếu các dòng điện này nằm trong vùng tác động của rơ le, lệnh cắt (trip) được đưa ra.

Các dòng so lệch có thể được tạo ra không chỉ từ các sự cố bên trong máy biến áp mà còn do dòng từ hoá máy biến áp khi đóng máy biến áp, nối song song máy biến áp hoặc một máy biến áp bị quá điện áp, chúng sinh ra các thành phần sóng hài. Dòng từ hoá có thể lớn gấp nhiều lần dòng định mức và thành phần chủ yếu là sóng hài bậc 2 (gấp đôi tần số định mức). Trong thực tế nó không có mặt ở các trường hợp có ngắn mạch. Nếu thành phần bậc 2 vượt quá ngưỡng (có thể chọn), lệnh cắt bị khoá [1] – [3].

Để thực hiện các phân tích Fourier cho dòng so lệch, khối Simulink sử dụng các bộ lọc số. Khi thành phần sóng hài ở bất kỳ pha nào vượt quá giá trị đặt, rơ le hãm ở pha tương ứng. Thuật toán được tối ưu thể hiện ở việc có tính đến các trạng thái thoát qua để loại bỏ hãm không cần thiết trong các điều kiện động.

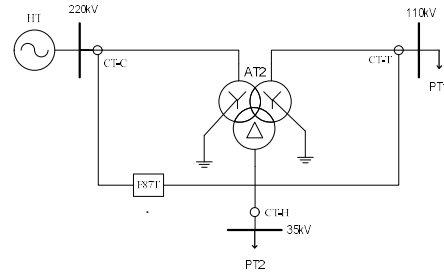
Bảo vệ so lệch F87T sử dụng giá trị dòng hãm, hãm hài để loại trừ các trường hợp tác động sai do một trong các nguyên nhân như sai số thiết bị đo, do dòng từ hoá hoặc khi có sự cố ngắn mạch ngoài có dòng lớn gây bão hòa TI. Khi đó cũng xuất hiện dòng so lệch nhưng không phải sự cố ngắn mạch bên trong máy biến áp. Đối với các trường hợp này, dòng so lệch có giới hạn đến một ngưỡng lớn nhất định, gọi là dòng so lệch mức cao. Chức năng F87T của rơ le có nhiệm vụ cắt nhanh không hãm khi phát hiện dòng so lệch tức thời lớn hơn giá trị dòng so lệch mức cao này, lúc đó rơ le hiểu đây là sự cố bên trong máy biến áp. Do đó, rơ le tác động cắt 3 phía máy biến áp mà không quan tâm tới giá trị dòng hãm [4].

III. MÔ HÌNH HOA RƠ LE 7UT613 BẰNG MATLAB & SIMULINK

Trong hình 2 là mô hình bảo vệ so lệch cho máy biến áp 3 pha 3 cuộn dây 220/110/35 kV.

Tổ đấu dây của máy biến áp là $Y_0/Y_0/\Delta-11$, các biến dòng điện của cuộn cao áp, trung áp và hạ áp

lần lượt có dòng điện định mức là 750/5A, 1200/5A, và 1200/5A.



Hình 2. Sơ đồ bảo vệ so lệch cho máy biến áp 220/110/35 kV

Dòng điện trong cuộn cao áp và trung áp cùng pha, dòng điện trong cuộn hạ áp chậm pha hơn dòng điện trong cuộn cao áp 330° (cuộn tham chiếu), vector sức điện động cảm ứng cuộn hạ áp chỉ 11 giờ, nên dựa vào (3) ta có ma trận quy đổi dòng điện theo tổ đấu dây để hiệu chỉnh góc pha như sau:

Cuộn cao áp và trung áp ($k=0$):

$$K_C = K_T = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

Cuộn hạ áp ($k=11$):

$$K_H = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

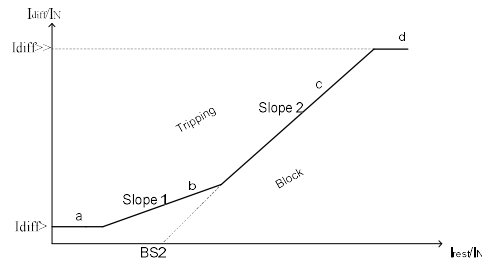
Theo (2) hệ số bù biên độ từ cuộn trung áp sang cao áp là:

$$M_T = \frac{1200 \times 121}{750 \times 225} = 0,86$$

Hệ số bù biên độ từ cuộn hạ áp sang cao áp là:

$$M_H = \frac{1200 \times 35}{750 \times 225} = 0,249$$

Khối Trip của rơ le được xây dựng dựa trên đặc tính làm việc của rơ le 7UT613 do hãng Siemens cung cấp ở hình 3. Đường đặc tính so lệch/hãm gồm ba đoạn, một đoạn đặc tính khởi động và hai đoạn đặc tính dốc [1], [3].



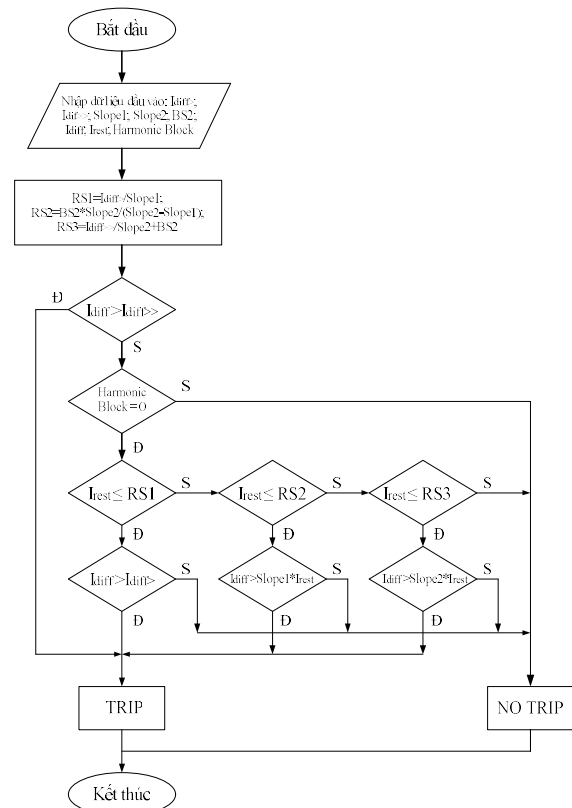
Hình 3. Đặc tính của rơ le bảo vệ so lệch 7UT613

Các thông số cài đặt cho rơ le 7UT613 là các thông số đầu vào tương ứng của khối Trip khi xây dựng mô hình trong Matlab và Simulink. $I_{\text{diff}} >$ là

giá trị khởi động so lệch mức thấp của rơ le, giá trị này thể hiện độ nhạy của bảo vệ khi xét đến dòng không cân bằng cố định qua role, ở đây chọn là 0,3. Độ dốc của đoạn đặc tính b (Slope1) đảm bảo cho rơ le làm việc tin cậy trong trường hợp không cân bằng xảy ra do sai số của biến dòng điện và sự thay đổi đầu phân áp của máy biến áp với dòng ngắn mạch nhỏ. Theo nhà sản xuất, chọn $\alpha_1 = 14^\circ$ vậy chọn hệ số hãm của đoạn đặc tính b là $Slope\ 1 = \tan \alpha_1 = 0,25$. Độ dốc của đoạn đặc tính c (Slope 2) có mức độ hãm lớn hơn, nhằm đảm bảo cho rơ le làm việc trong điều kiện dòng không cân bằng lớn, biến dòng bị bão hoà khi có ngắn mạch ngoài. Độ dốc này được xác định theo độ lớn của góc α_2 , giá trị mặc định của hãng sản xuất là $\alpha_2 = 26,56^\circ$, $Slope\ 2 = 0,5$ cùng với điểm cơ sở của role BS2 (base point 2) là 2,5. Giá trị dòng khởi động so lệch mức cao $I_{diff>>}$ là giới hạn phía trên của đường đặc tính làm việc (đoạn d), đoạn đặc tính này phụ thuộc vào giá trị dòng ngắn mạch của máy biến áp. Khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ, dòng so lệch lớn hơn giá trị $I_{diff>>}$ thì role tác động ngay lập tức không kể mức độ dòng hãm, ngưỡng này thường được chỉnh định ở mức khi ngắn mạch ở đầu ra máy biến áp mà dòng sự cố lớn hơn $\frac{1}{U_N\%}$ lần dòng danh định của máy biến áp. Với

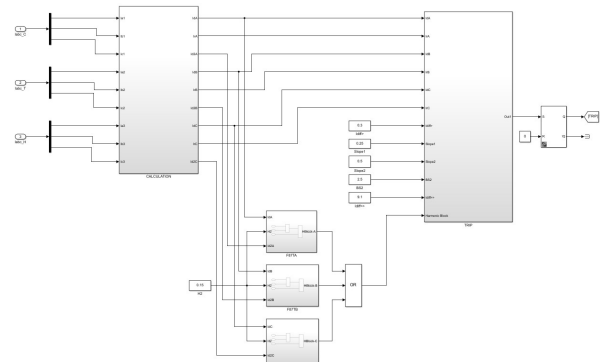
máy biến áp nghiên cứu trong bài báo, $U_N\%(C-T) = 11\%$, giá trị cài đặt tương ứng cho $I_{diff>>}$ là 9,1. Tỷ lệ thành phần sóng hài bậc 2 được thiết lập giá trị là 15%. Khi tỷ lệ hài bậc 2 vượt quá giá trị này, khối hãm hài (Harmonic Block) sẽ gửi tín hiệu đến khóa lệnh trip [2], [4].

Lưu đồ thuật toán của khối Trip cho mỗi pha như sau:



Hình 4. Lưu đồ thuật toán của khối Trip

Sơ đồ khối tổng quát của rơ le xây dựng bằng Simulink được trình bày trong hình 5.

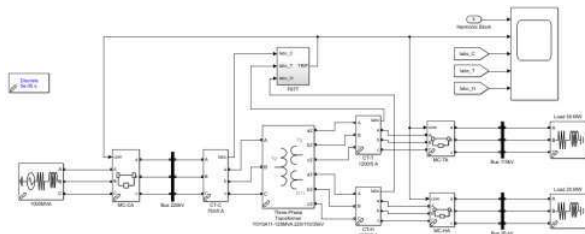


Hình 5. Sơ đồ khối tổng quát của rơ le bảo vệ so lệch

IV. MÔ PHỎNG CHỨC NĂNG BẢO VỆ SO LỆCH CHO MÁY BIẾN ÁP

A. Sơ đồ khối mô phỏng

Với mục đích kiểm tra độ tin cậy của thuật toán rơ le bảo vệ so lệch của hãng Siemens, mô hình hệ thống điện đã được mô phỏng trong Matlab/ Simulink như Hình 6.



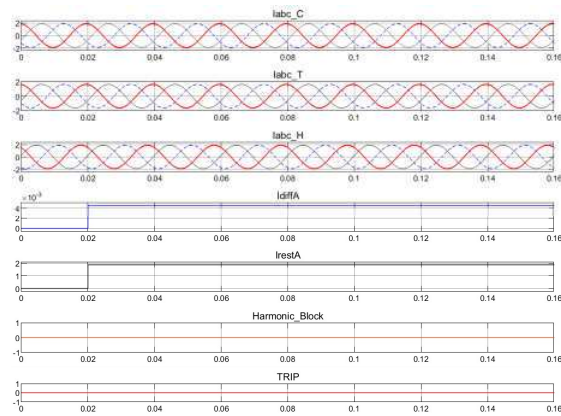
Hình 6. Mô hình hệ thống mô phỏng trong Matlab/Simulink

Khởi mô phỏng trong Simulink bao gồm một hệ thống nguồn với công suất 1000 MVA; máy biến áp 3 pha 220/110/35 kV có công suất 125M với tổ đấu dây $Y_0/Y_0/\Delta-11$; các máy biến dòng điện: phía cao áp 750/5 A, trung áp 1200/5 A và hạ áp 1200/5 A; các phụ tải phía 110 kV và 35 kV lần lượt có công suất 50 MW và 20 MW; chức năng bảo vệ so lệch F87T của role 7UT613. Tất cả các sự cố được tạo ra cho máy biến áp thông qua khối tạo lỗi ba pha.

Mục tiêu chính của mô phỏng là đo/tính toán các dạng sóng như dòng điện ở cả ba phía của máy biến áp, dòng so lệch và dòng hãm, tín hiệu hãm hài và tín hiệu trip trong tình trạng làm việc bình thường và sự cố để phân tích hoạt động của role.

B. Trường hợp máy biến áp vận hành bình thường

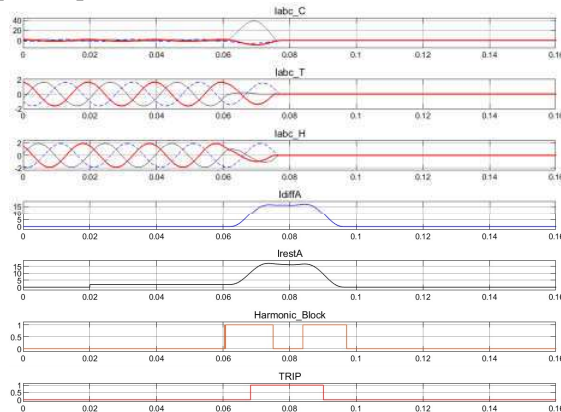
Kết quả mô phỏng khi hệ thống làm việc bình thường được trình bày trong hình 7. Tất cả các máy cắt đều ở trạng thái đóng, các khối tạo lỗi bị vô hiệu hóa. Khi máy biến áp làm việc bình thường, dòng so lệch bằng 0, dòng hãm bằng dòng lớn nhất trong các cuộn dây. Khi đó giá trị Hamornic Block bằng 0, không phát hiện sóng hài bậc 2 nên không khóa bảo vệ so lệch. Giá trị Trip bằng 0: không xuất hiện tín hiệu cắt do so lệch. Như vậy, rơ le làm việc đúng, không tác động cắt máy cắt trong lúc máy biến áp làm việc bình thường. Điều này phù hợp với đường đặc tính làm việc của rơ le và yêu cầu của hệ thống bảo vệ.



Hình 7. Kết quả mô phỏng trường hợp vận hành bình thường

C. Trường hợp ngắn mạch trong vùng bảo vệ

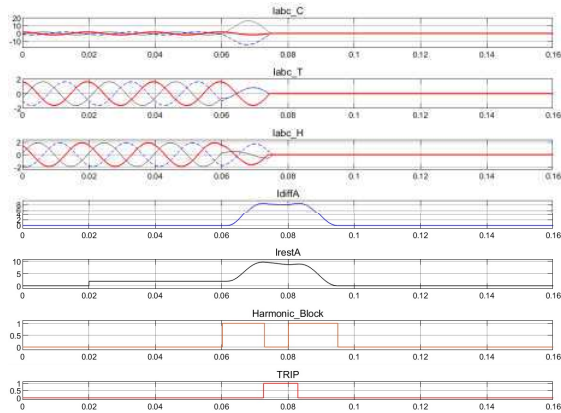
Hình 8 là các dạng sóng tín hiệu trước và sau sự cố ngắn mạch pha A chạm đất phía 220 kV ở trong vùng bảo vệ. Tại thời điểm xảy ra sự cố là 0,06 s, dòng pha A phía 220 kV tăng cao, ở phía 110 kV và 35 kV dòng pha A giảm về 0. Lúc này xuất hiện cả dòng so lệch và dòng sóng hài. Sau sự cố cả khối Hamornic Block và khối Diff Trip đều có giá trị 1. Tuy nhiên, do dòng so lệch với biên độ lớn (vượt giá trị $I_{diff}>>$) nên tại thời điểm tín hiệu Hamornic Block bằng 1 thì tín hiệu Trip vẫn bằng 1, rơ le xuất lệnh trip đi cắt các máy cắt, dòng điện ba phía máy biến áp trở về 0. Điều này phù hợp với đặc tính làm việc của rơ le.



Hình 8. Kết quả mô phỏng trường hợp ngắn mạch pha A chạm đất phía 220 kV

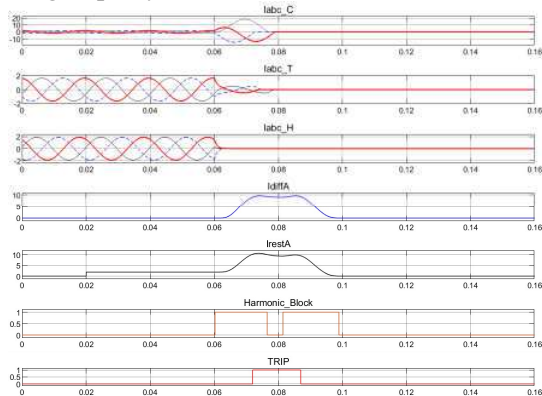
Giả thiết ở thời điểm 0,06 s xảy ra sự cố ngắn mạch hai pha A và B phía 110kV trong vùng bảo vệ. Dòng pha A, B phía 220 kV tăng cao trong khi dòng ba pha phía 110 kV, 35 kV giảm về 0. Khi đó xuất hiện cả dòng so lệch và dòng sóng hài, khối Diff Trip và khối Harmonic Block đều có giá trị 1 sau sự cố. Nhưng vì dòng sóng hài có biên độ giảm và tắt dần trước dòng so lệch nên tại thời điểm tín hiệu Harmonic Block về 0 (tín hiệu Diff

Trip vẫn bằng 1) rơ le gửi lệnh trip tới máy biến áp. Rơ le hoạt động đúng theo đặc tính yêu cầu. Kết quả mô phỏng trình bày trong hình 9.



Hình 9. Kết quả mô phỏng trường hợp ngắn mạch hai pha phía 110 kV

Khi xảy ra sự cố ngắn mạch 3 pha phía 35 kV trong vùng bảo vệ, dòng điện 3 pha phía 220 kV tăng cao còn dòng điện phía 110 kV và 35 kV giảm về 0. Lúc này cả xuất hiện cả dòng so lệch và dòng sóng hài, khối Diff Trip và khối Hamornic Block đều có giá trị 1 sau sự cố. Tuy nhiên, vì biên độ dòng so lệch lớn (vượt giá trị $I_{diff>}$) nên tại thời điểm tín hiệu Hamornic Block bằng 1 thì tín hiệu Trip vẫn bằng 1, rơ le gửi tín hiệu đi cắt các máy cắt, dòng điện ba phía máy biến áp trở về 0. Rơ le hoạt động đúng với yêu cầu thực tế. Hình 10 là các dạng sóng và tín hiệu trong trường hợp này.

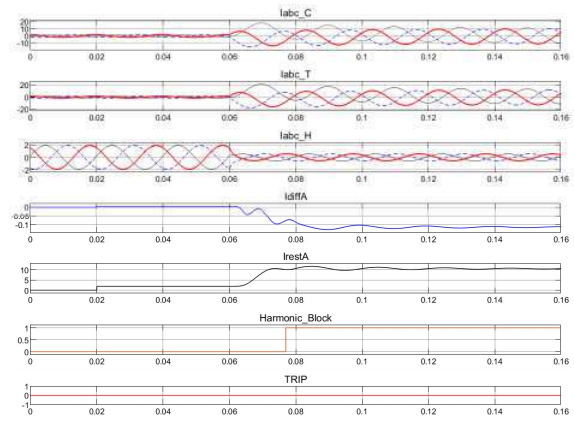


Hình 10. Kết quả mô phỏng trường hợp ngắn mạch ba pha phía 35 kV

D. Trường hợp ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ

Sự cố ngắn mạch ba pha ngoài vùng bảo vệ phía 110 kV tại xảy ra thời điểm 0,06s. Dòng điện phía 220 kV và 110 kV tăng lên trong khi dòng điện phía 35 kV giảm do điện áp giảm. Kết quả mô phỏng ở hình 11 cho thấy dòng so lệch bằng 0, tín hiệu của khối Diff Trip và Hamornic Block đều

bằng 0, tín hiệu trip bằng 0, rơ le không tác động cắt. Điều này phù hợp với điểm làm việc của rơ le nằm trên trục I_{rest} trên đồ thị đặc tính làm việc và thực tế làm việc của rơ le.



Hình 11. Kết quả mô phỏng trường hợp ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chức năng bảo vệ so lệch máy biến áp dựa trên đặc tính bảo vệ của rơ le 7UT613 được mô tả chi tiết. Phần mềm Matlab/Simulink được sử dụng để mô phỏng chức năng bảo vệ so lệch cho máy biến áp trong nhiều trường hợp vận hành khác nhau như làm việc bình thường, ngắn mạch trong vùng bảo vệ, ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ... của máy biến áp 3 pha 220/110/35 kV. Các kết quả mô phỏng cho thấy mô hình thuật toán xây dựng cho rơ le phù hợp với đặc tính làm việc thực tế của rơ le. Dựa trên cơ sở này có thể đánh giá được khá chính xác ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau đến sự làm việc của rơ le kỹ thuật số, từ đó đưa ra các điều chỉnh phù hợp về mặt chỉnh định các thông số cài đặt, cũng như lựa chọn hợp lý các thiết bị đo lường và mạch nhị thức tối ưu hóa cho hệ thống bảo vệ. Đồng thời dựa trên công cụ mô phỏng có thể kiểm tra, chứng minh rơ le bảo vệ hoạt động chính xác và phù hợp với mục đích sử dụng trước khi đưa thiết bị vào vận hành trên lưới điện.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên trong đề tài mã số UTEHY.L.2024.53.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ahmed Hashim, “Modeling and simulation of Differential Protection Relay Based on MATLAB Simulation”, *International Journal of Enhanced Research in Science, Technology & Engineering* ISSN: 2319-7463, Vol. 7 Issue 8, August -2018, Impact Factor: 4.059.
- [2] Le Kim Hung, Vu Phan Huan, “Performance analysis and assessment of a transformer differential protection relay SEL387 at Lang Co 110kV substation”, The University of Da Nang, *Journal of Science and Technology*, pp.8-12, Vol 6 (127), 2018.
- [3] Zoran Gajić, “Differential Protection for Arbitrary Three-Phase Power Transformers”, *Doctoral Dissertation Department of Industrial Electrical Engineering and Automation*, Lund University, SWEDEN, 2008.
- [4] Siemens, “Siprotec 4 Differential Protection 7UT6X”, 2016
- [5] Hülya Doğan, “Design of Digital Differential Protection of Power transformer operating under highly non-linear load”, *Journal of Engineering Faculty*, 1(2): 94-104, 2023.
- [6] Abdelrahman H. Hamouda, Fadel Q. Al-Anzi, Hussein K. Gad, Adel Gastli, “Numerical Differential Protection Algorithm for Power Transformers”, 2013 IEEE GCC Conference and exhibition, November 17-20, Doha, Qatar.