

# Phân tích và đánh giá đặc tính làm việc bảo vệ so lệch dọc đường dây của rơ le kỹ thuật số

Analysis and Evaluation of Line Different Protection Characteristics Employed in Numerical Relay

Lê Kim Hùng<sup>1</sup>, Vũ Phan Huân<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng - Số 54, Nguyễn Lương Bằng, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>2</sup> Công ty TNHH MTV Thí nghiệm điện Miền Trung, Đà Nẵng, Việt Nam

Đến Tòa soạn: 21-12-2018; chấp nhận đăng: 27-9-2019

## Tóm tắt

Mục đích của bài báo là làm rõ các ưu điểm và nhược điểm của hệ thống Rơ le bảo vệ so lệch dọc đường dây (F87L) sử dụng đặc tính hãm khác nhau của các hãng sản xuất Rơ le kỹ thuật số nổi tiếng như đặc tính một độ dốc của Siemens 7SD522, hai độ dốc của Areva P543, Abb RED670, GE L90 và vòng tròn khuyết của SEL311L. Sau đó, bài báo tiến hành tính toán giá trị chỉnh định cho các đặc tính hãm dựa trên cơ sở thông số đường dây 220kV Buôn Kuốp – Buôn Tua Srah và thực hiện mô phỏng đánh giá mô hình F87L trong các điều kiện sự cố khác nhau bằng phần mềm Matlab Simulink. Kết quả cho thấy mô hình F87L có độ nhạy cao, đáp ứng thời gian tác động nhanh khi xảy ra sự cố trong vùng bảo vệ, làm việc ổn định ở điều kiện vận hành mang tải bình thường và sự cố ngoài vùng bảo vệ.

Từ khóa: Đường dây truyền tải điện, rơ le bảo vệ so lệch dọc đường dây, đặc tính 1 độ dốc, đặc tính 2 độ dốc, đặc tính vòng tròn khuyết.

## Abstract

This paper describes clearly different points including advantages and disadvantages of a line differential protection relay system which uses a single slope characteristic of Siemens 7SD522, a double slope characteristic of Areva P543, Abb RED670, GE L90, and an alpha plane characteristic of SEL311L. After that, the paper selected a 220kV Buôn Kuốp – Buôn Tua Srah transmission line as an example for the relay setting calculations of these characteristics. We then perform testing the performance of the introduced relay model at various fault conditions by Matlab/Simulink software. The result shows that on internal fault the relay model has a high operating sensitivity, and fast time response whilst it remains stable on all external faults and normal condition.

Keywords: A transmission line, line differential protection relay, single slope characteristic, double slope characteristic, alpha plane characteristic.

## 1. Đặt vấn đề

Hiện nay, EVN đã ban hành quy định về việc cấu hình hệ thống Rơ le bảo vệ cho đường dây 500kV, 220kV với trang bị mỗi đầu một hệ thống bảo vệ gồm: bảo vệ so lệch dọc đường dây (F87L) thường sử dụng làm bảo vệ chính, còn lại các chức năng như bảo vệ khoảng cách, quá dòng, quá/kém áp và chức năng khác làm bảo vệ dự phòng. Bởi vì chức năng bảo vệ khoảng cách vùng  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$ , chức năng quá dòng điện không đáp ứng được yêu cầu về thời gian tối đa loại trừ sự cố  $\leq 150\text{ms}$  do cần phải phối hợp bậc thời gian  $\Delta t$  liên quan đến khái niệm vùng bảo vệ chính và dự phòng cho đường dây kế tiếp. Đối với vùng  $Z_1$  thỏa mãn thời gian tác động  $t_{Z1} \approx 0\text{s}$  nhưng nó cũng chỉ bảo vệ được khoảng  $80 \div 85\%$  chiều dài đường dây. Do đó, F21 có thể được sử dụng kết hợp

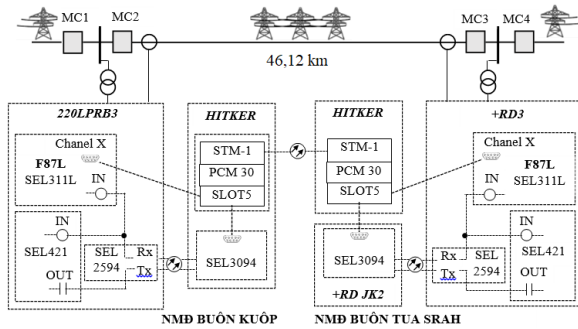
với chức năng tự động đóng lặp lại, các sơ đồ cắt liên động (PUTT, POTT, DTT) dùng kênh truyền tin nhằm giảm thời gian cắt sự cố. Tuy nhiên, Rơ le có thể tác động không chính xác do bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như dòng ngắn mạch, dòng phụ tải, dao động công suất, đường dây có lắp tụ bù nối tiếp, đường dây có nguồn cung cấp từ nhiều phía, đường dây song song, hoặc đường dây có chiều dài ngắn  $\leq 10\text{km}$  [1, 2].

Đối với F87L có thời gian cắt  $\approx 0\text{s}$  nên đã khắc phục được nhược điểm nêu trên. F87L không phụ thuộc vào cấu trúc lưới, sự thay đổi kết lưới của hệ thống điện, tính toán thông số chỉnh định đơn giản và có độ tin cậy làm việc cao hơn. Xét cụ thể hệ thống bảo vệ đặt ở hai đầu đường dây 220kV Buôn Kuốp – Buôn Tua Srah ở hình 1. Việc liên lạc giữa hai hệ thống này thông qua các thiết bị Teleprotection, PCM-30 và 02 lõi cáp quang trong số 12 lõi của đường dây cáp quang OPGW-12 treo trên đường dây truyền tải điện để nhận và gửi tín hiệu của hai đầu

\* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 983.421.980

Email: vuphanhuan@gmail.com

đường dây. Trong quá trình làm việc, Rơ le có chức năng giám sát tín hiệu kênh thông tin. Nếu xuất hiện lỗi trong việc kiểm tra dữ liệu truyền đi và nhận về thì Rơ le sẽ xuất cảnh báo hư hỏng kênh truyền và đồng thời khóa chức năng F87L.



**Hình 1.** Sơ đồ bảo vệ so lệch dọc đường dây 220kV Buôn Kuốp (273) – Buôn Tua Srah

Như vậy, bên cạnh các ưu điểm nổi bật, việc ứng dụng F87L làm phát sinh các vấn đề mà chúng ta cần xét đến như chi phí lắp đặt hệ thống truyền tin giữa các TBA, đòi hỏi nhân viên vận hành cần phải phân biệt rõ điểm tương đồng và sự khác biệt từng đặc tính làm việc và cách cài đặt thông số chỉnh định của từng hãng sản xuất Rơ le, mối liên hệ giữa các độ dốc khác nhau trong việc hạn chế ảnh hưởng của thời gian đồng bộ dữ liệu dòng điện hai đầu, sai số CT, bão hòa CT, dòng dung đường dây, băng thông kênh truyền bị hạn chế, và lỗi kênh truyền khi xảy ra sự cố ngắn mạch ngoài vùng và trong vùng bảo vệ. Đó cũng là cơ sở để bài báo thực hiện kiểm chứng, đánh giá đặc tính làm việc của F87L trên mô hình đường dây 220kV có chiều dài 46,12km bằng phần mềm Matlab/Simulink.

**2. Đặc tính làm việc F87L của các hãng sản xuất Rơ le kỹ thuật số sử dụng phổ biến ở Việt Nam**

F87L là loại bảo vệ dùng nguyên tắc so sánh sự khác nhau giữa giá trị độ lớn và chiều (góc pha) của dòng điện từng pha A, B, C, hoặc thành phần dòng điện TTK, TTN ở tại chỗ ( $I_L^*$ ) và từ xa ( $I_R^*$ ). Hiện nay, F87L trên lưới điện Việt Nam có hai loại thuật toán phổ biến được thực hiện bởi các hãng sản xuất Rơ le kỹ thuật số nổi tiếng.

Loại đầu tiên làm việc dựa trên tỷ số dòng so lệch và dòng hãm ( $I_{DIFF}/I_{BIAS}$ ) sử dụng đặc tính làm việc có 1 độ dốc (Siemens 7SD62), 2 độ dốc (Abb RED670, Schneider P543, GE L90) như hình 2. Độ dốc 1 dùng để hạn chế tác động do sai số CT và Rơ le. Độ dốc 2 dùng để cải thiện ổn định Rơ le ở điều kiện vận hành mang tải lớn hoặc CT bão hòa có thể làm Rơ le tác động sai. Vùng hãm nằm dưới đường đặc tính, trong khi vùng cắt nằm phía trên đường đặc tính.

Dòng điện so lệch được Rơ le xác định bởi biểu thức [3]:  $I_{DIFF} = |I_L^* + I_R^*|$  (1)

Ở điều kiện lý tưởng khi đường dây làm việc bình thường, hoặc sự cố ngoài vùng bảo vệ,  $I_{DIFF} = 0$ . Còn khi có sự cố trong vùng bảo vệ  $I_{DIFF} \neq 0$ . Tuy nhiên, thực tế vận hành do CT có từ hóa nên có thể xảy ra trường hợp  $I_{DIFF} \neq 0$  trong các điều kiện sự cố ngoài vùng bảo vệ gây bão hòa CT. Do đó, các hãng sản xuất đã sử dụng thêm thành phần dòng điện hãm ( $I_{BIAS}$ ) làm cơ sở để phân biệt giữa các dòng sự cố và sai số đo lường của các CT.  $I_{BIAS}$  được tính theo công thức của hãng sản xuất:

Siemens [3]:  $I_{BIAS} = |I_L^*| + |I_R^*|$  (2)

Schneider [4]:  $I_{BIAS} = 0.5 \times (|I_L^*| + |I_R^*|)$  (3)

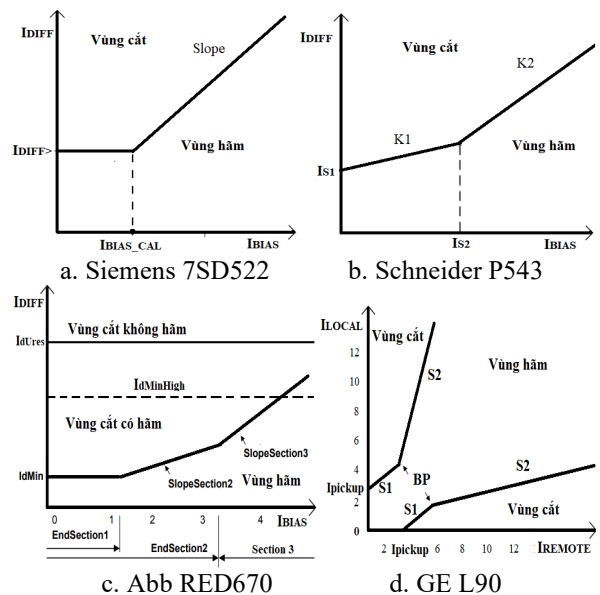
Abb [6]:  $I_{BIAS} = \max(|I_L^*|, |I_R^*|)$  (4)

GE [8]:  $I_{BIAS}^2 = |I_{L\_ADA}^*| + |I_{R\_ADA}^*| + 2P^2$  (5)

Đối với Rơ le hãng GE, công thức (5) tính giá trị dòng hãm sử dụng thuật toán dòng điện tại chỗ thích nghi ( $I_{L\_ADA}^*$ ), dòng điện từ xa thích nghi ( $I_{R\_ADA}^*$ ). Ví dụ đối với dòng điện tại chỗ  $I_L$  kiểm tra điều kiện [8]:

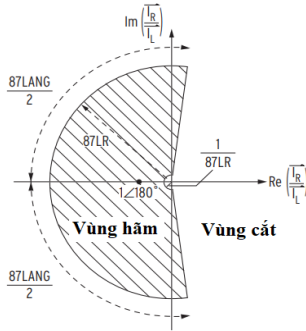
- $|I_L| \leq BP \Rightarrow |I_{L\_ADA}^*| = 2(S1)^2 |I_L|^2$
- $|I_L| > BP \Rightarrow |I_{L\_ADA}^*| = 2(S2)^2 (|I_L|^2 - BP^2) + 2(S1)^2 BP^2$

Trong đó: BP là điểm gãy của đặc tính làm việc, S1 là độ dốc 1, S2 là độ dốc 2, và P là giá trị dòng điện tác động.



**Hình 2.** Đặc tính làm việc của Rơ le so lệch hãm

Loại thứ hai làm việc dựa trên tỷ số dòng điện từ xa và dòng điện tại chỗ ( $I_R/I_L$ ) tạo nên đặc tính vòng tròn khuyết của SEL cho ở hình 3 [10].



Hình 3. Đặc tính vòng tròn khuyết

*Nhận xét:* Cả hai loại thuật toán có điểm chung là cài đặt độ dốc lớn hay bán kính 87LR lớn thì vùng hãm lớn. Tuy nhiên đặc tính vòng tròn khuyết không sử dụng độ lớn sai số dòng điện CT mà sử dụng góc sai số CT để làm cơ sở chọn giá trị 87LANG cho đặc tính. Đặc tính làm việc với 1 độ dốc xử lý giá trị độ lệch dòng điện  $\Delta I_{DIFF}$  tỷ lệ thuận với dòng hãm khi xảy ra sai số CT, bảo hoà CT, dòng điện dung, và độ lệch đồng bộ tín hiệu dòng điện. Do đó, khi dòng điện sự cố nhỏ, CT làm việc tuyến tính và tín hiệu sai số  $\Delta I_{DIFF}$  tuyến tính đúng với dòng hãm. Nhưng khi dòng sự cố lớn,  $\Delta I_{DIFF}$  tăng phi tuyến với dòng hãm và làm tăng  $I_{DIFF}$ . Điều này cho thấy việc áp dụng đặc tính sử dụng 2 độ dốc và điểm gãy sẽ làm tăng độ tin cậy của Rơ le khi dòng hãm lớn do CT bảo hoà và cho phép làm việc nhạy hơn đối với dòng sự cố nhỏ.

### 3. Tính chọn thông số chỉnh định Rơ le

Để giải thích rõ về thông số của các đặc tính nêu trên, bài báo thực hiện tính chọn giá trị chỉnh định Rơ le, áp dụng cho đường dây 220kV Buôn Kuôp – Buôn Tua Srah, tần số  $f = 50$  Hz, có chiều dài đường dây  $L = 46,12$  km dựa trên thông số đường dây cụ thể như sau:

$$\text{Tổng trở thứ tự không: } Z_{0L} = 40,73 \angle 81,2^\circ \Omega$$

$$\text{Tổng trở thứ tự thuận: } Z_{1L} = 11,81 \angle 79^\circ \Omega$$

$$\text{Điện dung thứ tự thuận: } C_1 = 0,016 \mu\text{F/km}$$

Dòng điện dung thứ tự thuận [3]:

$$I_{C1} = 2 \times \pi \times f \times C_1 \times L \times \frac{U_{LL}}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{CTR} \quad (6)$$

$$I_{C1} = 2 \times \pi \times 50 \times 0,016 \times 10^{-6} \times 46,12 \times \frac{220000}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{200}$$

$$I_{C1} = 0,1474 A$$

Giả sử ta có các thông số khác liên quan đến sai số thiết bị bao gồm:

$$\text{Dòng điện mang tải lớn nhất: } I_{LVMAX} = 200 A$$

$$\text{Dòng sự cố lớn nhất: } I_{F\_MAX} = 4000 A$$

$$\text{Tỷ số biến dòng: } CTR = 200/1 A$$

$$\text{Sai số CT lúc làm việc bình thường: } e_{CTn} = 3\%$$

$$\text{Sai số CT khi sự cố: } e_{CTs} = 15\%$$

$$\text{Sai số Rơ le bảo vệ: } e_{RL} = 2\%$$

Sai số góc của dạng sóng dòng điện gây ra bởi thời gian trễ kênh truyền  $\Delta t = 0,2 \text{ms}$  [4]:

$$\Delta\Phi_{SYNC} = \frac{\Delta t \times 360^\circ}{20 \text{ms}} = \frac{0,2 \text{ms} \times 360^\circ}{20 \text{ms}} = 3,6^\circ$$

$$\text{Do đó, độ lệch dòng } \Delta I_{SYNC} = \frac{3,6^\circ \times 2\pi}{360^\circ} = 0,0623 A$$

Từ các thông số trên, ta có thể sử dụng để tính toán, chỉnh định cho bảo vệ Rơ le:

#### Siemens 7SD522 [3]:

Dòng so lệch cấp 1:  $I_{DIFF>} \geq 2,5 \times I_C = 2,5 \times 0,1474 = 0,3685 I_N$  (lớn hơn giá trị tối thiểu  $0,2 I_N$ ) nên ta chọn  $I_{DIFF>} = 0,37 I_N$ . Với  $I_N$  là dòng điện định mức.

Dòng so lệch cấp 2:  $I_{DIFF>>} \geq 1,2 I_{Load\_Max}/CTR = 1,2 I_N$

Khi hệ thống làm việc bình thường  $I_{LV} = I_N$ :

Độ lệch dòng hãm:

$$\Delta I_{BIAS} = I_{DIFF>} + e_{CT\_L} \times |I_L| + e_{CT\_R} \times |I_R| + \Delta I_{SYNC}$$

$$\Delta I_{BIAS} = 0,3685 + 3\% \times 1 + 3\% \times 1 + 0,0623 = 0,4908 A$$

Độ lệch dòng so lệch:  $\Delta I_{DIFF} = I_C + \Delta I_{SYNC} = 0,2079 A$

Khi hệ thống có sự cố ngoài vùng với  $I_F = 20 I_N$ :

$$\text{Độ lệch dòng hãm: } \Delta I_{BIAS} = 0,3685 + 15\% \times 20 + 15\% \times 20 + 0,0623 = 1,6308 A$$

Độ lệch dòng so lệch:  $\Delta I_{DIFF} = I_{DIFF>} + 0,25 \times \Delta I_{BIAS}$

$$\Delta I_{DIFF} = 0,3685 + 0,25 \times 1,6308 = 0,7762 A$$

Do vậy, nhà sản xuất đã đưa ra độ dốc đặc tính Slope = 0,45 dùng để đảm bảo Rơ le làm việc ổn định với sai số CT, cho nên ta có điểm gãy  $I_{BIAS\_CAL} = I_{DIFF>}/\text{Slope} = 0,37/0,45 = 0,822$ . Rơ le 7SD522 tác động nếu thoả mãn điều kiện:

$$\bullet I_{BIAS} \leq I_{BIAS\_CAL} \text{ và } I_{DIFF} > I_{DIFF>} \quad (7)$$

$$\bullet I_{BIAS} > I_{BIAS\_CAL} \text{ và } I_{DIFF} > (I_{BIAS} - I_{BIAS\_CAL}) \times \text{Slope} + I_{DIFF>} \quad (8)$$

$$\bullet I_{DIFF} > I_{DIFF>>} \quad (9)$$

#### Schneider P543 [4, 5]:

Dòng so lệch cấp 1:

$I_{S1} = 2,5 \times I_C = 2,5 \times 0,1474 = 0,3685 I_N$  (lớn hơn giá trị tối thiểu  $0,2I_N$ ) nên ta chọn  $I_{S1} = 0,37 I_N$ .

Theo đề nghị của nhà sản xuất, ta chọn mặc định thông số chỉnh định: Độ dốc 1:  $k1 = 30\%$ , Độ dốc 2:  $k2 = 150\%$ , Dòng hãm:  $I_{S2} = 2A$ .

P543 tác động nếu thỏa mãn điều kiện:

•  $I_{BIAS} \leq I_{S2}$  và  $|I_{DIFF}| > k1 \times |I_{BIAS}| + I_{S1}$  (10)

•  $I_{BIAS} > I_{S2}$  và  $|I_{DIFF}| > k2 \times |I_{BIAS}| - (k2 - k1) \times I_{S2} + I_{S1}$  (11)

**ABB RED670 [6, 7]:**

Dòng so lệch cấp 1:

$I_{dMin} \geq 2,5 \times I_C = 2,5 \times 0,1474 = 0,3685 I_N$  (lớn hơn giá trị tối thiểu  $0,2I_N$ ) nên ta chọn  $I_{dmin} = 0,37 I_N$ .

Dòng điện  $I_{dMinHigh} = 1I_N$  dùng thay thế cho  $I_{dMin}$  khi đóng điện.

Dòng so lệch cấp 2:

$I_{dUnre} = 1,2 I_{F\_MAX} = 1,2 \times 20 I_N = 24 I_N$

Theo đề nghị của nhà chế tạo ta chọn giá trị mặc định cho thông số chỉnh định:  $EndSection1 = 1,25 I_N$ ,  $EndSection2 = 3 I_N$ ,  $SlopeSection2 = 40\%$ ,  $SlopeSection3 = 80\%$ .

Xác định sự cố trong và ngoài vùng sử dụng thành phần thứ tự nghịch:

Góc đặc tính  $NegSeqROA = 60^0$

Dòng TTN tối thiểu  $I_{minNegSeq} = 0,04 I_N$  còn khi  $I_{BIAS} > 1,5 I_N$  thì ngưỡng đặt là  $I_{minNegSeq} + 0,1 I_{BIAS}$ .

Rơ le RED670 tác động nếu thỏa mãn điều kiện:

•  $I_{BIAS} \leq EndSection1$  và  $I_{DIFF} > I_{dmin}$  (12)

•  $EndSection1 \leq I_{BIAS} \leq EndSection2$  và  $I_{DIFF} > [I_{dmin} + \{SlopeSection2/100 \times (I_{BIAS} - EndSection1)\}]$  (13)

•  $I_{BIAS} \geq EndSection2$  và  $I_{DIFF} > [I_{dmin} + \{SlopeSection2/100 \times (EndSection2 - EndSection1)\} + \{SlopeSection3/100 \times (I_{BIAS} - EndSection2)\}]$  (14)

**GE L90 [8, 9]:**

Dòng điện khởi động:

$I_{Pickup} \geq 2,5 \times I_C = 2,5 \times 0,1474 = 0,3685 I_N$  (lớn hơn giá trị tối thiểu  $0,2I_N$ ) nên ta chọn  $I_{Pickup} = 0,37 I_N$ .

Theo đề nghị của nhà sản xuất giá trị mặc định đặt đặc tính: Độ dốc 1:  $S1 = 30\%$ . Độ dốc 2:  $S2 = 60\%$ . Điểm gậy:  $BP = 1,5$ .  $87L$  Curent diff Gnd Pickup =  $0,37 I_N$ .  $87L$  Curent diff Gnd Restraint =  $25\%$ .  $87L$  Curent diff Gnd Delay =  $0,1s$

L90 tác động nếu thỏa điều kiện:

•  $(I_{DIFF}/I_{BIAS})^2 > 1$  (15)

**SEL311L [10, 11]:**

Dòng so lệch pha:  $87LPP = 1,2 \times (I_{LVmax} + I_C)/CTR = 1,2 \times (1 + 0,1474) = 1,377$  (lớn hơn giá trị tối thiểu  $1I_N$ ) nên ta chọn  $I_{DIFF} > 1,377 I_N$ .

Dòng so lệch TTN:  $87L2P = 0,1A$  đối với CT có công dòng  $1A$ , và  $0,5A$  đối với công dòng  $5A$ .

Dòng so lệch TTK:  $87LGP = 5\% I_{LV\_MAX} = 0,05 \times 200/CTR = 0,05$  (nhỏ hơn giá trị bé nhất  $0,5A$ ) nên ta chọn  $87LGP = 0,5$ .

Theo đề nghị của nhà sản xuất giá trị mặc định đặt cho đặc tính vòng tròn khuyết: Bán kính đặc tính  $87LR = 6$ , Góc đặc tính  $87LANG = 195^0$ .

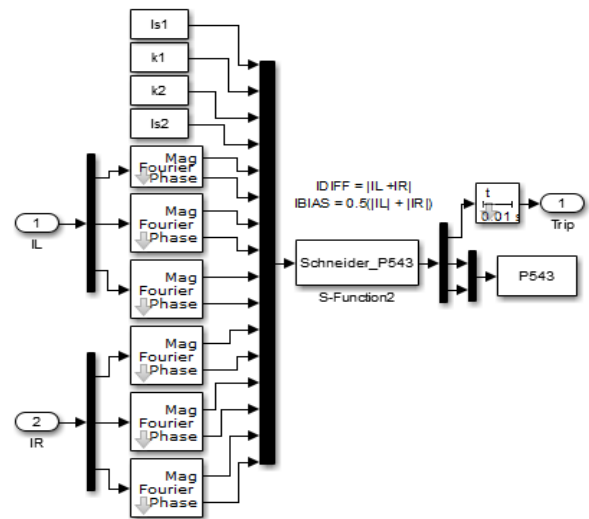
Rơ le tác động nếu tỷ lệ vector  $I_R/I_L$  nằm ngoài vùng hãm và dòng so lệch vượt quá ngưỡng:

•  $I_{DIFF} > LGP$  và  $(|I_R/I_L| > 87LR)$  (16)

•  $I_{DIFF} > LGP$  và  $(|I_R/I_L| < 1/87LR)$  (17)

•  $I_{DIFF} > LGP$  và góc  $(I_R/I_L)$  nằm trong vùng cắt  $(277,5^0 \div 82,5^0)$  (18)

*Nhận xét:* Cả hai loại thuật toán thực hiện tính toán đối với trường hợp sự cố 3 pha, lúc mang tải bình thường dựa trên các dòng điện từng pha A, B, C riêng biệt. Đối với sự cố 1 pha, hai pha, và 2 pha chạm đất thì hãng Schneider vẫn sử dụng dòng điện từng pha, GE và Siemens sử dụng thành phần dòng điện TTK, ABB sử dụng thành phần dòng điện TTN, SEL sử dụng cả hai.



Hình 4. Modul Rơ le Schneider P543

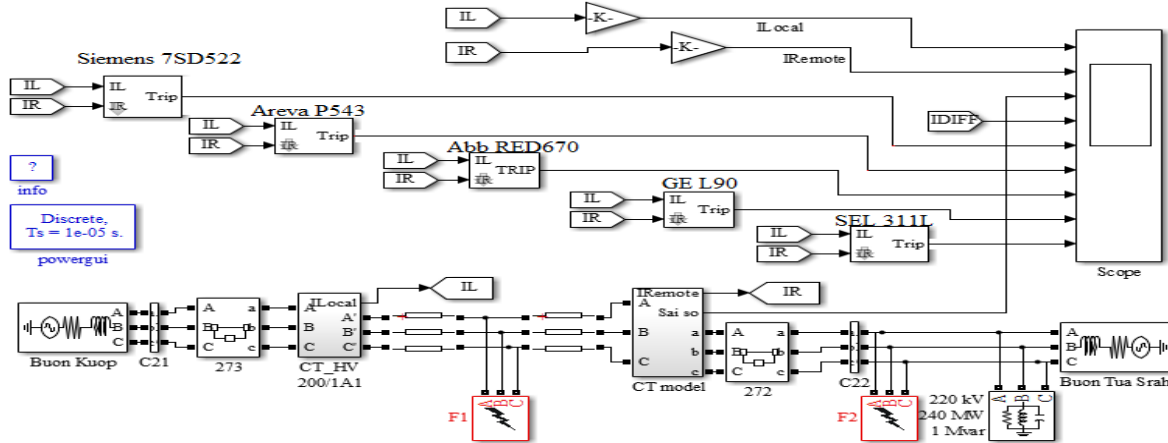
4. Mô phỏng sự cố bằng Matlab/Simulink

Bài báo sử dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng hệ thống đường dây truyền tải 220kV có hai nguồn cung cấp (Buôn Kuốp 280MW), Buôn Tua

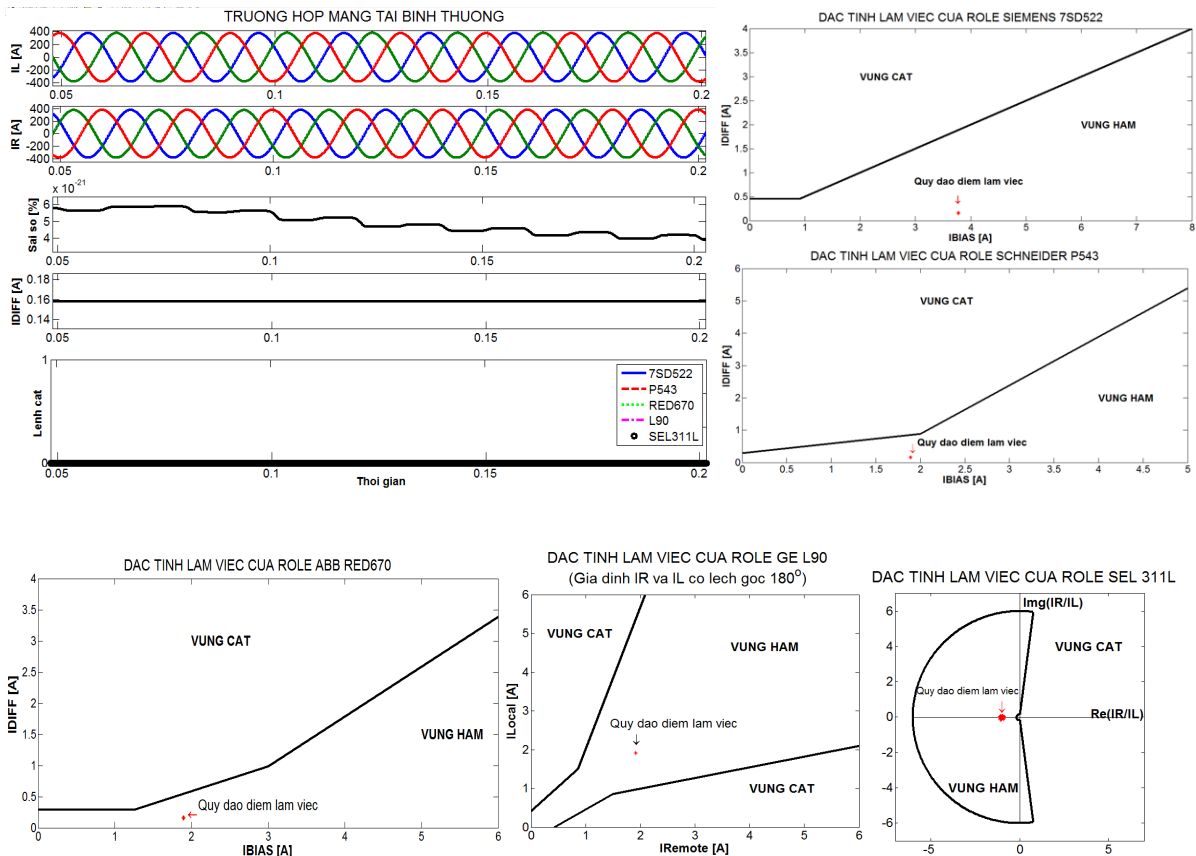
Srah (86MW) thể hiện trên hình 5. Chi tiết thiết kế mô hình F87L của từng hãng sản xuất gồm có khối Fourier dùng để lấy dòng điện 50Hz của các pha A, B, C ở tại chỗ và từ xa, kết hợp với các giá trị chỉnh định Rơ le tính toán chi tiết ở mục 3 làm đầu vào cho khối Sfunction nhằm đưa ra quyết định xuất lệnh cắt

(Trip = 1) hay không cắt (Trip = 0). Ví dụ xem mô hình Rơ le Schneider P543 được trình bày ở hình 4.

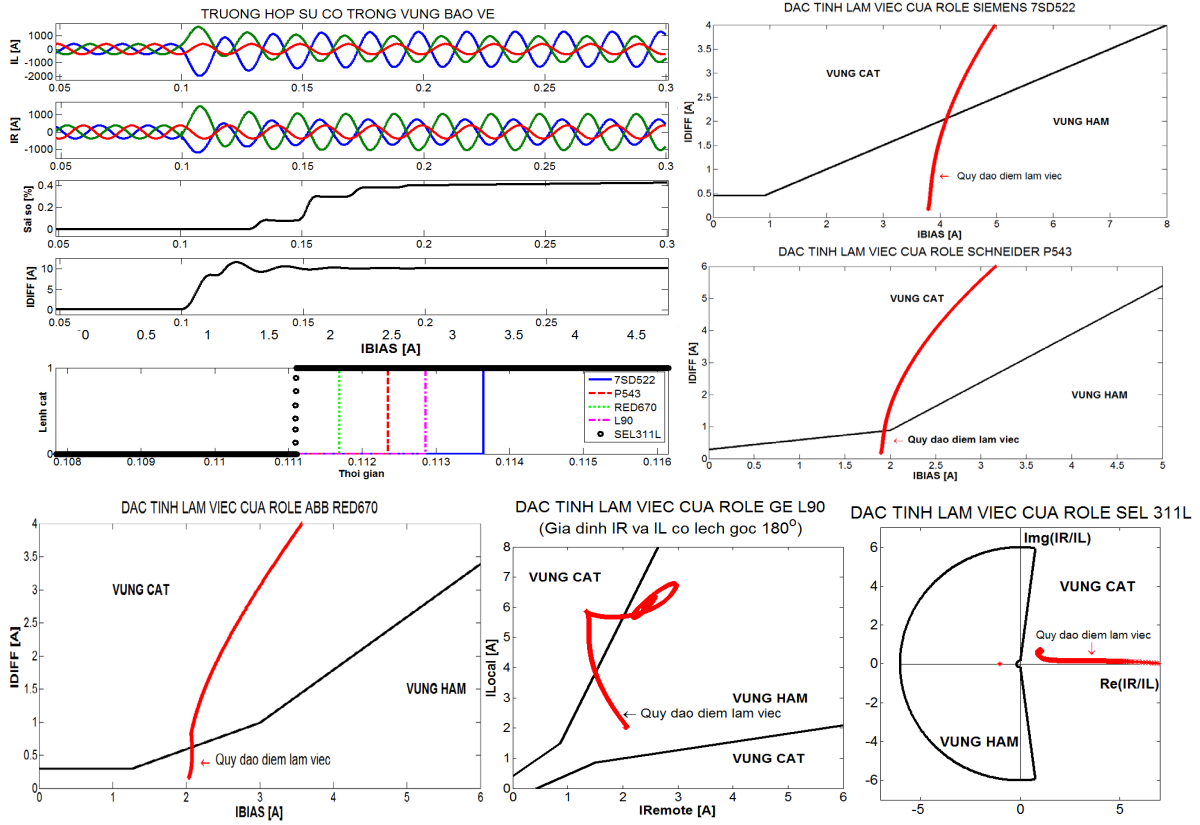
Tiến hành đánh giá quỹ đạo điểm làm việc đối với các sự cố ngoài vùng bảo vệ tại F2 và trong vùng bảo vệ tại F1 đến F87L. Đồng thời có xem đến ảnh hưởng của sự bão hòa CT.



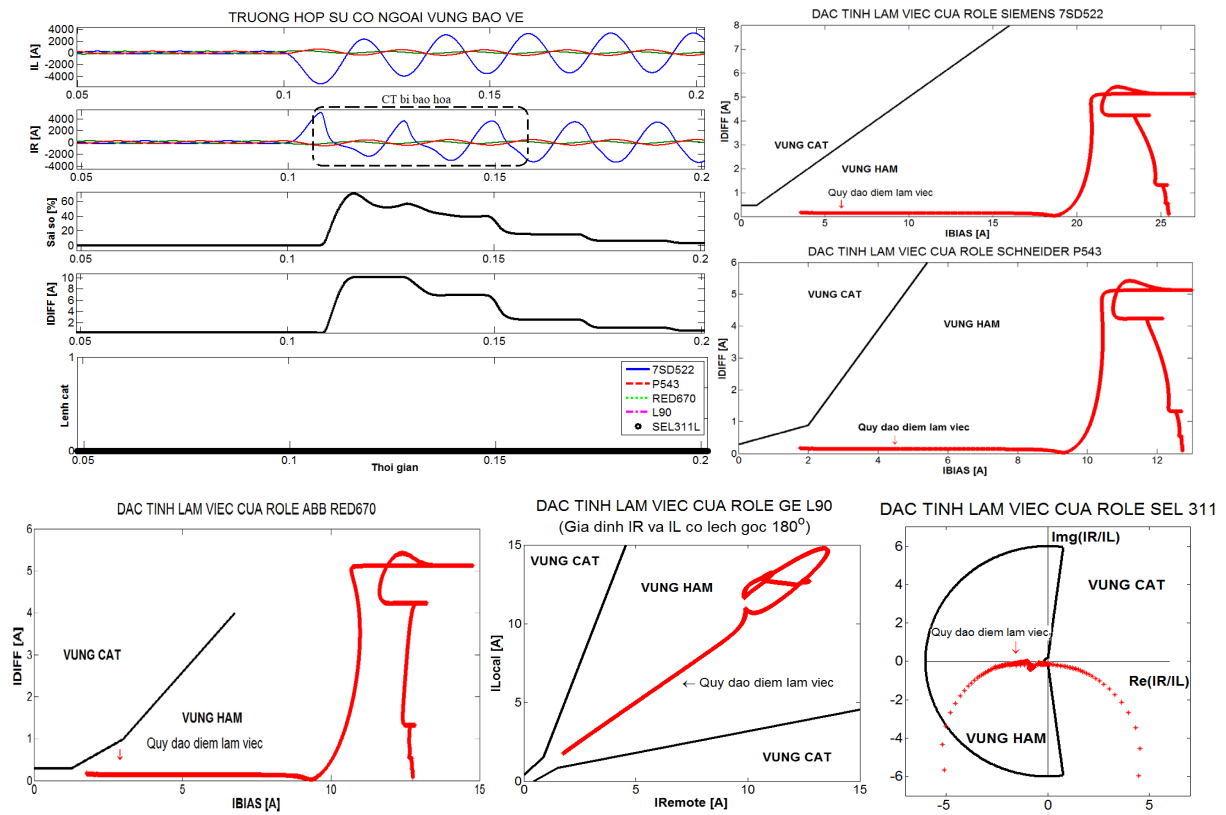
Hình 5. Mô hình đường dây 220kV



Hình 6. Quỹ đạo điểm làm việc của Rơ le khi mang tải bình thường



Hình 7. Quỹ đạo điểm làm việc của Rơ le khi sự cố trong vùng bảo vệ



Hình 8. Quỹ đạo điểm làm việc của Rơ le khi sự cố ngoài vùng bảo vệ

*Trường hợp 1:* mô phỏng đường dây mang tải bình thường với dòng điện gấp 2 lần dòng định mức,  $|I_L| = |I_R| = 400A$ , sai số CT  $\approx 0\%$ ,  $I_{DIFF} = 0,16A$ . Kết quả là quỹ đạo điểm làm việc nằm trong vùng hãm của đặc tính nên tất cả 5 Rơ le không xuất lệnh cắt Trip = 0 (xem hình 6).

*Trường hợp 2:* mô phỏng sự cố AB nằm trong vùng bảo vệ tại F1 ở thời điểm  $t = 0,1s$ ,  $|I_L| = 1,44kA$ ,  $|I_R| = 1kA$ , sai số CT  $\approx 0,4\%$ , dòng điện so lệch tăng lớn nhất  $I_{DIFF} = 11A$  (vượt ngưỡng đặt). Do đó, quỹ đạo điểm làm việc đi từ vùng hãm vào vùng cắt của đặc tính, sau đó sự cố được phát hiện và các Rơ le xuất lệnh cắt Trip = 1 tại thời điểm gần giống nhau. Cụ thể là 7SD522 (1,1136s), P543 (1,1125s), RED670 (1,1116s), L90 (1,1128s), SEL311L (1,111s). Xem hình 7.

*Trường hợp 3:* mô phỏng sự cố AG nằm ngoài vùng bảo vệ tại F2 ở thời điểm  $t = 0,1s$ ,  $|I_L| = |I_R| = 4,5kA$ , CT\_Remote bị bão hoà với sai số lớn nhất là 66% và làm cho dòng điện so lệch tăng  $I_{DIFF} = 10A$  (vượt ngưỡng đặt) từ thời điểm  $0,126 \div 0,15s$ , sau đó giảm dần về 0. Đồng thời, quỹ đạo dịch chuyển điểm làm việc của các Rơ le có xu hướng đi nhanh lên phía trên, sau đó di chuyển nhanh theo hướng xuống. Tuy nhiên, điểm làm việc vẫn nằm trong vùng hãm nên các Rơ le không xuất lệnh cắt Trip = 0. Xem hình 8.

**Bảng 1.** Kết quả kiểm tra điểm gây đặc tính

Giá trị thử [A]	7SD522	P543	RED670	L90	SEL311L
Điểm gây 7SD $I_L = 0,596 \angle 0^\circ$ $I_R = 0,225 \angle 180^\circ$	1	0	0	0	0
Điểm gây Is2 $I_L = 1,515 \angle 0^\circ$ $I_R = 2,485 \angle 180^\circ$	0	1	1	0	0
Điểm gây Endsection1 $I_L = 1,245 \angle 0^\circ$ $I_R = 0,88 \angle 180^\circ$	0	0	1	0	0
Điểm gây Endsection2 $I_L = 3 \angle 0^\circ$ $I_R = 1,93 \angle 180^\circ$	0	0	1	0	0
Điểm gây BP $I_L = 1,5 \angle 0^\circ$ $I_R = 0,63 \angle 180^\circ$	0	1	1	1	0
Góc đặc tính 87LANG $I_L = 1,5 \angle 0^\circ$ $I_R = 1,5 \angle 83^\circ$	1	1	1	1	0

Giả sử CT hai đầu đường dây bị bão hoà không giống nhau khi xảy ra sự cố pha AG nằm ngoài vùng bảo vệ, ví dụ chúng ta xét các điểm làm việc nằm ở điểm gây của đặc tính 7SD522 trên hình 2a có  $I_L = 0,596 \angle 0^\circ A$ ,  $I_R = 0,225 \angle 180^\circ A$ . Đối với hãng Siemens 7SD522, ta sử dụng công thức (1) và (2) tính được  $I_{DIFF} = 0,371$ ,  $I_{BIAS} = 0,821$ . Sau đó kiểm tra Rơ le tác động cắt do thỏa mãn theo điều kiện (7) là  $I_{BIAS} \leq 0,822$  và  $I_{DIFF} > 0,37$ .

Đối với hãng Schneider P543, ta sử dụng công thức (1) và (3) tính được  $I_{DIFF} = 0,371$ ,  $I_{BIAS} = 0,4105$ . Sau đó kiểm tra Rơ le không tác động cắt do chưa thỏa mãn theo điều kiện (10) là  $I_{BIAS} \leq 2$  và  $I_{DIFF} > 30\% \times 0,4105 + 0,37 = 0,49315$ . Tương tự thực hiện tính toán cho Rơ le RED670, L90 và SEL311L theo công thức (4), (5) và kiểm tra các điều kiện tác động đã được trình bày chi tiết trong mục 3 đối với các trường hợp khác. Kết quả thu được cho ở bảng 1.

*Nhận xét:* Trong các hầu hết các trường hợp sự cố ngoài vùng làm CT bão hòa và dòng điện  $I_L, I_R$  khác nhau nhiều thì chỉ có SEL311L là không tác động (Trip = 0), còn lại các Rơ le khác như 7SD522, P543, RED670 và L90 sẽ tác động (Trip = 1) nếu điểm làm việc nằm ở vùng cắt của đặc tính hãm. Kết quả là RED670 nhạy nhất với 5 trường hợp cắt. Vì vậy, để khắc phục nguy cơ mất chọn lọc của các RLBV, các hãng sản xuất có thể kết hợp sử dụng tính năng hãm sóng hài hoặc khóa sóng hài khi thành phần sóng hài bậc cao đo lường lớn hơn giá trị chỉnh định để khóa chức năng F87L.

**5. Kết luận**

Bài báo trình bày việc phân tích, đánh giá đặc tính F87L của hãng Siemens, Schneider, Abb, GE, và SEL dùng cho đường dây truyền tải điện. Các kết quả tính toán, xem xét đường đi quỹ đạo điểm làm việc đối với các trường hợp ngắn mạch trong vùng và ngoài vùng bảo vệ sẽ mang lại cho các cán bộ quản lý vận hành, nhà nghiên cứu, và thiết kế hệ thống điện Việt Nam sự hiểu biết tốt hơn về những đặc điểm của Rơ le kỹ thuật số thế hệ mới đã và đang được ứng dụng. Cụ thể:

- Nắm bắt được những vấn đề chính nhằm chỉnh định đúng đắn thông số cho RLBV.
- Có thể tự xây dựng mô hình Rơ le bảo vệ dễ dàng xây dựng, cho phép thực hiện mô phỏng các trường hợp sự cố xảy ra trên đường dây đã chọn và kiểm tra độ nhạy, đánh giá được khả năng đáp ứng của Rơ le.
- Biết cách kiểm tra, sàng lọc điểm làm việc trên độ dốc đặc tính hãm nhằm tìm ra những sai sót tiềm ẩn và chứng minh RLBV hoạt động chính xác và phù hợp với mục đích sử dụng trước khi đưa thiết bị vào vận hành trên lưới điện.

**Tài liệu tham khảo**

- [1] Lê Kim Hùng, Bảo vệ các phần tử chính trong hệ thống điện, NXB Đà Nẵng (2004).
- [2] Bruce Mackie, Craig Palmer, Summary Paper for C37.243 IEEE Guide for Application of Digital Line Current Differential Relays Using Digital Communication, 2017 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE), 3-6 April 2017.
- [3] Siemens, Line Differential Protection with Distance Protection 7SD5, 2016.
- [4] Schneider, P543/P545 Single Breaker Current Differential with Distance - Technical Manual, 2016.
- [5] Trung tâm Điều độ Hệ thống điện Miền Bắc, Phiếu chỉnh định Rơ le P543 đường dây 271 Bắc Kạn – 273 Cao Bằng (E16.2) ACSR400-70.9km, số phiếu A1-10-2015/E26.5/220.
- [6] ABB, Line differential protection RED670 2.0 IEC - Application manual, July 2016.
- [7] Trung tâm Điều độ Hệ thống điện Miền Bắc, Phiếu chỉnh định Rơ le RED670 đường dây 272 Bắc Kạn – 275 Thái Nguyên (E6.2) ACSR2x330-84.6km, số phiếu A1-12-2015/E26.5/220.
- [8] GE, L90 Line Differential Relay UR Series Instruction Manual, 2014.
- [9] Trung tâm Điều độ Hệ thống điện Miền Bắc, Phiếu chỉnh định Rơ le L90 đường dây 177 Bắc Giang – 172 Quang Châu (E7.18) AC300-18km, số phiếu A1-03-2017/E7.6/220.
- [10] SEL, SEL-311L Relay Protection, and Automation System - Instruction Manual, 2017.
- [11] Trung tâm Điều độ Hệ thống điện Miền Bắc, Phiếu chỉnh định Rơ le SEL311L đường dây 272 Bà Chè – 276 T500 Nho Quan (T500NQ) ACC367-62.8km, số phiếu A1-15-2018/E9.2/220.