

XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC RƠ LE BẢO VỆ TRONG CÁC SỰ CỐ ĐIỆN RỘNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Nguyễn Đức Huy, Nguyễn Xuân Hoàng Việt, Nguyễn Xuân Tùng

Bộ môn Hệ thống điện - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt: Các thiết bị rơ le bảo vệ đóng vai trò quan trọng trong quá trình vận hành, điều khiển các hệ thống điện hiện nay. Chúng có vai trò phát hiện sớm và cô lập các sự cố xảy ra trong hệ thống điện, duy trì trạng thái vận hành an toàn cho hệ thống. Trong hệ thống điện truyền tải, số lượng các rơ le bảo vệ là rất lớn. Vì vậy, cần thiết phải đánh giá sự làm việc và tương tác giữa các rơ le bảo vệ của các phần tử trong hệ thống, đặc biệt trong các sự cố điện rộng, như sụp đổ điện áp, hoặc sự cố rã lưới. Bài báo trình bày tổng quan về một số loại rơ-le được sử dụng cho các phần tử chính của hệ thống điện, và khả năng tác động của các bảo vệ này khi hệ thống ở trong trạng thái làm việc không bình thường. Mô hình mô phỏng của hệ thống điện Việt Nam và các rơ le bảo vệ được xây dựng bằng phần mềm PSS/E. Bài báo trình bày một số kết quả thu được khi nghiên cứu sự làm việc của hệ thống rơ le bảo vệ khi có các sự cố lớn xảy ra trên lưới điện truyền tải 500-220kV của Việt Nam.

1. MỞ ĐẦU

Hệ thống điện là một dây chuyền sản xuất và tiêu thụ năng lượng có quy mô rất lớn, với hàng trăm ngàn phần tử. Nhìn chung, các hệ thống điện hiện nay có độ tin cậy vận hành tương đối cao, nhờ sử dụng tốt các thiết bị điều khiển bảo vệ, cũng như áp dụng tốt các nguyên tắc an toàn trong vận hành hệ thống. Tuy nhiên các sự cố điện rộng, mặc dù có xác suất rất nhỏ, vẫn là không thể tránh khỏi. Trên thực tế các sự cố rã lưới vẫn xảy ra trên thế giới, ngay cả đối với hệ thống điện của các nước phát triển như ở Bắc Mỹ năm 2003, châu Âu năm 2003, 2006 [1], sự cố ở Ấn Độ năm 2012 [4]. Sự cố rã lưới điện rộng thường xuất phát từ một hoặc vài hỏng hóc của các phần tử quan trọng, dẫn đến quá tải và cắt điện lan truyền các máy phát và đường dây truyền tải [3][2]. Mặc dù vậy, rất khó để mô phỏng và dự đoán trước được hết các kịch bản này, do số lượng các kịch bản cần xét là rất lớn, thời gian mô phỏng hệ thống là tương đối đáng kể, đặc biệt khi phải xét đến toàn bộ quá trình động học của các phần tử cũng như các thiết bị điều chỉnh điều khiển.

Các sự cố rã lưới trên thế giới cho đến nay thường diễn ra theo một kịch bản điển hình như sau:

- Hệ thống trong tình trạng nặng tải, điện áp tại các nút tải thấp. Các máy phát điện vận hành ở gần giá trị giới hạn cho phép của bộ phận kích từ, dự trữ công suất phản kháng cho hệ thống giảm thấp;

- Một hoặc hai hư hỏng ngẫu nhiên hoặc do một rơ le bảo vệ tác động nhằm xảy ra đối với một phần tử quan trọng trong hệ thống gây nên cắt điện phần tử này;
- Việc mất đi một phần tử quan trọng trong khi hệ thống đang vận hành ở trạng thái nặng nề làm cho các máy phát và đường dây càng trở nên quá tải. Khi đó sẽ dẫn đến hiện tượng cắt điện lan truyền của các hệ thống bảo vệ. Các thiết bị điều khiển và bảo vệ chính có thể tham gia vào quá trình cắt lan truyền bao gồm:
 - Bảo vệ quá kích từ máy phát điện (Overexcitation limiter - OEL);
 - Thiết bị điều chỉnh điện áp dưới tải;
 - Các rơ le hoạt động dựa trên nguyên lý tổng trở: rơ le khoảng cách, rơ le phát hiện mất đồng bộ, rơ le phát hiện mất kích từ, rơ le quá dòng điện...
 - Khi hiện tượng cắt điện lan truyền bắt đầu xảy ra, còn có sự tham gia của các rơ le tần số, sa thải phụ tải và sa thải máy phát;
 - Ngoài ra còn có thể kể đến tác động tự điều chỉnh của phụ tải, tác động can thiệp của người vận hành hệ thống (nếu quá trình diễn ra lâu trong vài phút hoặc hơn).

Mặc dù hệ thống điện ngày nay được trang bị hệ thống SCADA và các thiết bị điều chỉnh/điều khiển hiện đại cùng với hệ thống rơ le bảo vệ có độ tin cậy cao, các sự cố diện rộng xảy ra với xác suất nhỏ hơn, nhưng vẫn không thể tránh khỏi. Các sự cố diện rộng xảy ra trên thế giới trong những năm gần đây có thể kể đến sự cố Bắc Mỹ năm 2003, sự cố mất điện Italy năm 2003 [1], sự cố rã lưới Ấn Độ năm 2012 [4]. Khi phân tích các sự cố rã lưới, người vận hành phải xử lý một số lượng lớn các bản ghi sự cố và việc xác định các trình tự sự kiện là một công việc vô cùng khó khăn. Vì vậy, việc mô phỏng các sự cố diện rộng theo các kịch bản khác nhau là công việc có ý nghĩa quan trọng, cho phép người sử dụng hiểu được sự tương tác giữa các thiết bị điều khiển bảo vệ trong hệ thống điện khi có các sự cố nặng nề xảy ra.

Trong các phần tiếp theo của bài báo sẽ trình bày chi tiết nguyên lý của một số rơ le bảo vệ quan trọng trong hệ thống điện, khả năng tác động của chúng khi hệ thống điện trong tình trạng làm việc không bình thường và một số kết quả mô phỏng kiểm chứng.

2. CÁC NGUYÊN LÝ BẢO VỆ RƠ LE VÀ SỰ LÀM VIỆC CỦA CHÚNG TRONG CÁC SỰ CỐ DIỆN RỘNG

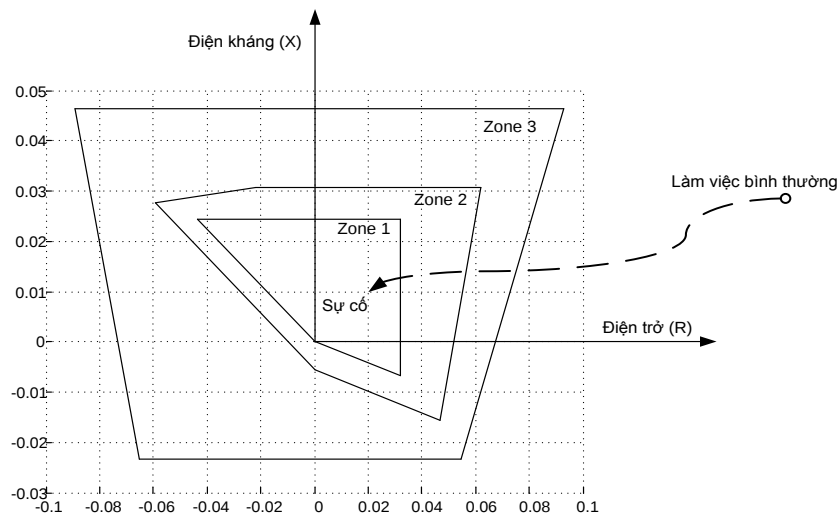
Các sự cố diện rộng của hệ thống điện thường được đặc trưng bởi hiện tượng sụt áp trên một khu vực rộng lớn, hiện tượng dao động công suất xảy ra ở một hoặc một nhóm máy phát điện. Các hiện tượng trên có thể dẫn đến tác động không mong muốn của hệ thống rơ le bảo vệ. Các rơ le bị ảnh hưởng nhiều nhất trong quá trình sụt áp của hệ thống là các rơ le dựa trên nguyên lý tổng trở và nguyên lý quá dòng điện [5][10]. Đây là hai nguyên lý bảo vệ được sử dụng rất phổ biến trong HTĐ, vì vậy càng cần có những mô phỏng chi tiết nhằm đánh giá khả năng tác động của hệ thống rơ le trong quá trình hệ thống ở trong tình trạng làm việc nguy hiểm.

2.1. Rơ le quá dòng điện

Khi xảy ra sự cố một phần tử trong hệ thống điện, dẫn đến quá tải đường dây và các máy biến áp còn lại, các rơ le bảo vệ quá dòng điện và quá tải trên các đường dây này sẽ tác động. Thời gian để các rơ le bảo vệ quá dòng và quá tải tác động phụ thuộc vào mức độ trầm trọng của sự quá tải. Nếu dòng quá tải không quá lớn, thời gian để dẫn đến rơ le tác động có thể kéo dài hàng chục phút. Khi nhiều phần tử đã bị cắt ra, khoảng thời gian giữa các lần rơ le tác động sẽ dần được thu hẹp lại.

2.2. Rơ le khoảng cách

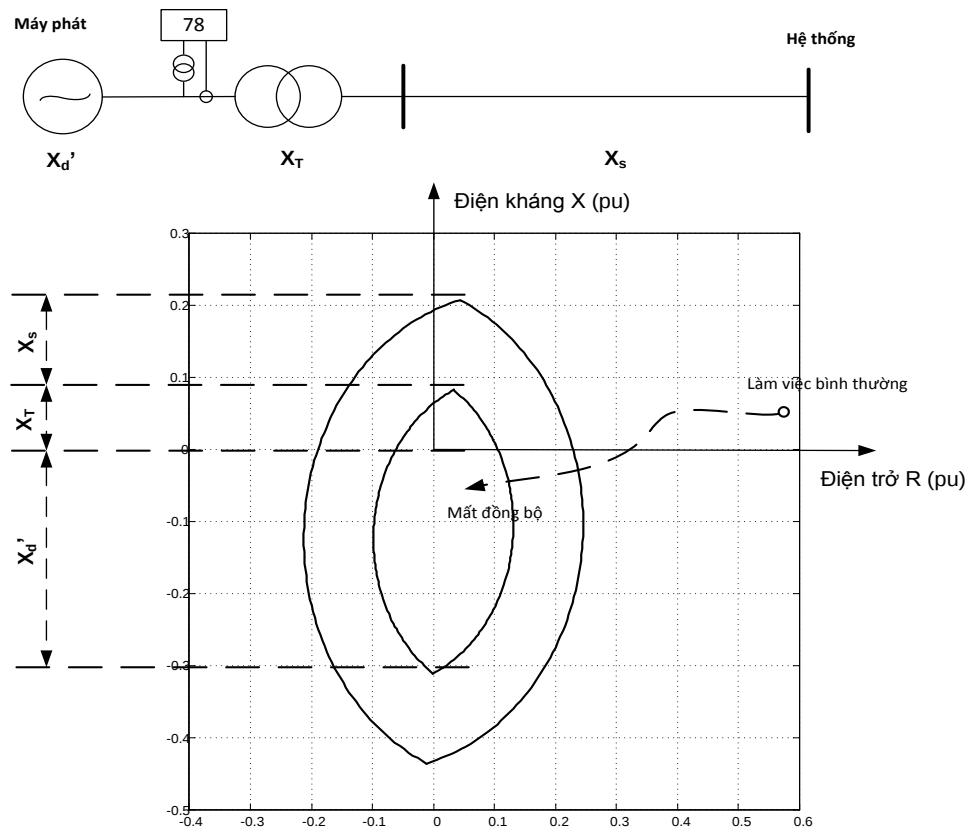
Rơ le bảo vệ khoảng cách, dựa trên nguyên lý tổng trở được sử dụng rất phổ biến trong hệ thống điện. Thiết bị bảo vệ này dựa trên nguyên lý đo tổng trở tại vị trí đặt tại rơ le. Khi không có sự cố, tổng trở đo được là tổng trở của đường dây, máy biến áp và phụ tải. Khi có ngắn mạch giữa các pha hoặc giữa dây dẫn với đất xảy ra trên đường dây, tổng trở đo được sụt giảm đáng kể, cho phép phát hiện sự cố. Sơ đồ vùng bảo vệ của rơ le tổng trở với 3 vùng tác động được minh họa trên hình 1. Tổng trở của rơ le đo được phụ thuộc rất lớn vào điện áp tại vị trí đặt rơ le. Trong trường hợp hệ thống nặng tải và điện áp sụt thấp, tổng trở đo được tại rơ le sụt giảm rất mạnh, có thể làm rơ le khoảng cách hiểu nhầm chế độ quá tải với sự cố ngắn mạch.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý rơ le khoảng cách

2.3. Rơ le phát hiện mất đồng bộ

Rơ le phát hiện mất đồng bộ có nhiệm vụ phát hiện tình trạng máy phát bị mất đồng bộ với lưới – góc pha điện áp của máy phát quay với tốc độ khác tốc độ đồng bộ của hệ thống. Khi hiện tượng này xảy ra, dòng điện đi qua máy phát đạt giá trị rất lớn khi điện áp máy phát và hệ thống ngược pha nhau, có thể gây ra những hỏng hóc nghiêm trọng cho máy phát điện.



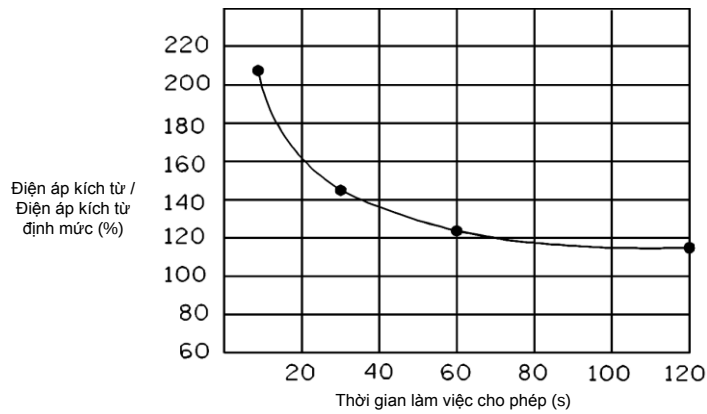
Hình 2. Sơ đồ nối máy phát với lưới và nguyên tắc chỉnh định rơ le phát hiện mất đồng bộ

Nguyên tắc chỉnh định của rơ le phát hiện mất đồng bộ được minh họa trên hình 2 [9]. Rơ le này dựa trên nguyên lý tổng trở. Khi góc pha điện áp máy phát và hệ thống lệch nhau 180° , rơ le tổng trở tại máy phát nhìn thấy tổng trở tương tự sự cố ba pha tại tâm dao động.

2.4. Rơ le bảo vệ quá kích từ máy phát (OEL)

Đây là một bảo vệ có vai trò quan trọng trong các sự cố diện rộng của hệ thống điện. Khi các máy phát làm việc ở trạng thái gần kích từ giới hạn, phát nóng trong cuộn dây kích từ tăng cao. Khi dòng kích từ vượt quá giá trị làm việc lâu dài cho phép, bảo vệ quá kích từ sẽ tác động, làm giảm dòng kích từ của máy phát. Tuy nhiên tác động này làm giảm một lượng đáng kể công suất phản kháng cấp cho hệ thống, làm điện áp càng sụt giảm mạnh.

Khả năng chịu đựng quá kích từ của máy phát được quy định bởi IEEE [6] như trên hình 3. Khi OEL một máy phát tác động, gánh nặng điều khiển điện áp sẽ được chuyển sang các máy phát xung quanh, có thể dẫn đến tác động lan truyền của các bảo vệ OEL, dẫn đến điện áp hệ thống giảm dần.



Hình 3. Quy định về khả năng chịu đựng quá kích từ máy phát

2.5. Rơ le sa thải phụ tải

Khi các tác động của rơ le bảo vệ dẫn đến chia tách hệ thống điện thành các khu vực cô lập, tần số của các khu vực sẽ thay đổi mạnh, phụ thuộc vào tương quan giữa công suất phát và tải ở từng khu vực. Nếu tần số sụt giảm mạnh do thiếu công suất phát, các rơ le sa thải phụ tải sẽ làm việc nhằm ngăn chặn sụt giảm tần số. Các rơ le bảo vệ tần số cho phụ tải và cho các máy phát điện cần được phối hợp nhằm đảm bảo các phụ tải được sa thải trước, giảm nguy cơ diễn ra sụp đổ tần số.

Có thể thấy rằng quá trình diễn biến các sự cố điện rộng trong hệ thống điện lớn chịu ảnh hưởng rất lớn bởi sự làm việc của các rơ le bảo vệ. Các nghiên cứu trên thế giới đã cho thấy một kịch bản điển hình trong các sự cố điện rộng là sự tham gia của bảo vệ quá kích từ OEL và rơ le bảo vệ khoảng cách vùng 3 [1]. Việc mô phỏng các quá trình quá độ của hệ thống điện, vì vậy, cần phải xét đến đầy đủ các nguyên lý rơ le bảo vệ có khả năng tác động khi thông số hệ thống thay đổi mạnh. Trong đó, các rơ le bảo vệ quá kích từ (OEL), các rơ le dựa trên nguyên lý tổng trở, và rơ le sa thải phụ tải theo tần số cần được mô phỏng chi tiết.

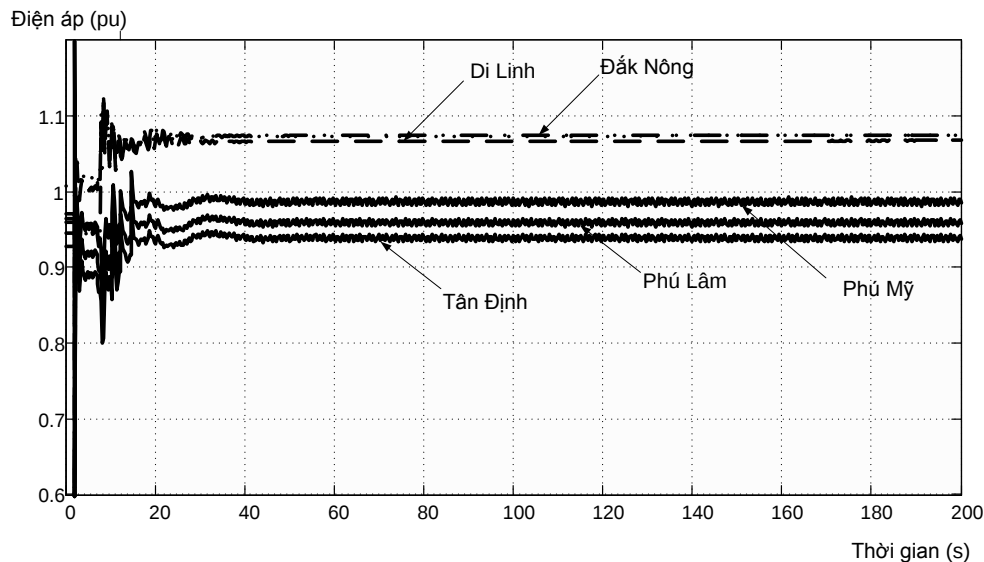
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trên cơ sở các phân tích về nguyên lý bảo vệ rơ le đã nêu ra trong các phần trước, mô hình mô phỏng đã được nhóm tác giả xây dựng bằng công cụ phần mềm PSS/E. Chương trình PSS/E cho phép mô phỏng các quá trình quá độ điện cơ trong hệ thống điện hệ thống rơ le bảo vệ cho đường dây, máy phát điện. Các chỉnh định cho các thiết bị bảo vệ rơ le được tính toán dựa trên các hướng dẫn của IEEE [5,6,11].

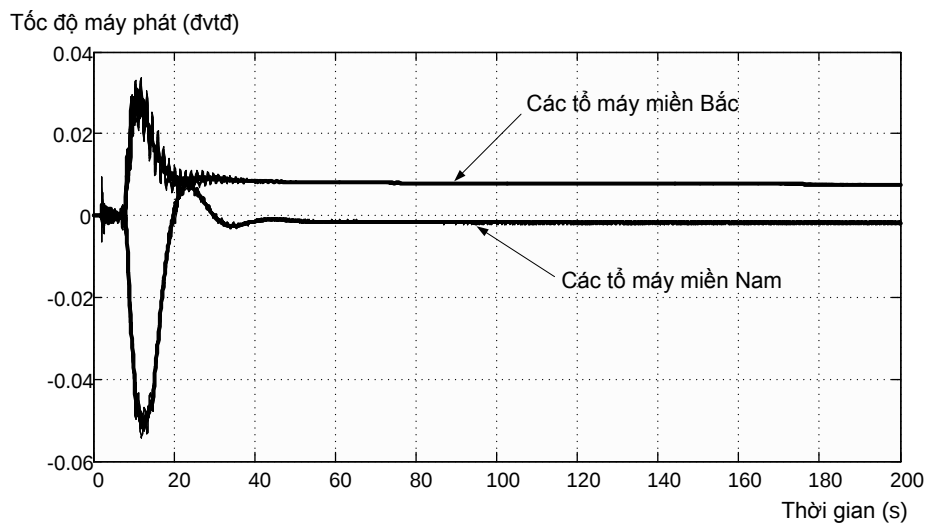
Chế độ làm việc được mô phỏng giả định một cho kịch bản hệ thống điện miền Nam (năm 2012) nhận công suất lớn từ hệ thống miền Bắc (gần 2000 MW). Phụ tải của hai trạm 500kV Phú Lâm và Tân Định ở mức cao (khoảng 1000MW mỗi trạm). Công suất cấp cho các trạm 500kV này được truyền tải thông qua đường dây 500kV Di Linh - Tân Định (~1000MW), đường dây Đắc Nông – Phú Lâm (~600MW), và một phần qua các đường dây 220kV Đắc Nông-Bình Long-Mỹ Phước-Tân Định. Với mức độ truyền tải công suất cao, điện áp các nút

500 kV khu vực phía Nam, đặc biệt ở các trạm Tân Định, Phú Lâm là khá thấp. Cụm nhiệt điện Phú Mỹ được giả thiết huy động tất cả các tổ máy nhằm đáp ứng nhu cầu công suất tác dụng, cũng như công suất phản kháng cho khu vực TP Hồ Chí Minh. Do mức độ yêu cầu công suất phản kháng tương đối cao nên các tổ máy của cụm Nhiệt điện Phú Mỹ vận hành tương đối gần giới hạn kích từ.

Trong bài báo này trình bày một kết quả mô phỏng sự tác động lan truyền các rơ le bảo vệ, với sự cố vĩnh cửu trên đường dây 500kV Di Linh – Tân Định làm cắt điện đường dây này. Sự cố được mô phỏng tại thời điểm $t = 2\text{s}$. Kết quả mô phỏng tốc độ các máy phát trong hệ thống và điện áp trên các nút 500kV khu vực phía Nam như hình 4.



Hình 4. Điện áp trên lưới 500 kV



Hình 5. Tốc độ các máy phát trong hệ thống

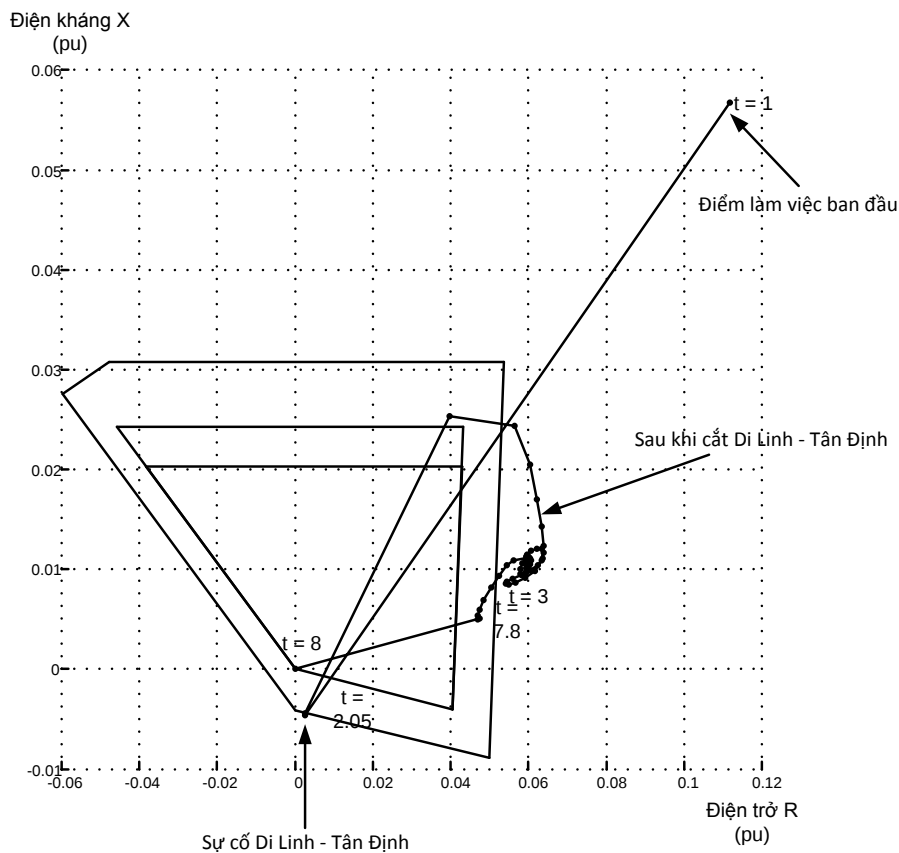
Diễn biến của quá trình mô phỏng như sau:

- Tại 2s, xảy ra sự cố ngắn mạch gần nút Tân Định 500kV khiến điện áp các nút lân cận bị giảm mạnh. Do sự cố được mô phỏng là vĩnh cửu, các rơ le bảo vệ sẽ cắt đường dây này ra khỏi hệ thống. Khi các máy cắt đã cắt hoàn toàn đường dây 500kV Di Linh – Tân Định ra khỏi hệ thống tại thời điểm 2.04s, điện áp các nút được khôi phục. Tuy nhiên, lượng công suất truyền tải được phân bổ lại làm cho các đường dây lân cận bị quá tải;
- Tại 3.98s, rơ le bảo vệ quá dòng cho đường dây 220kV Di Linh – Bảo Lộc phát hiện $I > I_{đặt} = 900A$ và bắt đầu đếm thời gian. Sau 3s, do dòng điện đo được vẫn lớn hơn dòng điện ngưỡng nên ra lệnh cắt cho máy cắt. Đến 7.04s, đường dây 220kV Di Linh - Bảo Lộc bị cắt;
- Sau khi đường dây 500kV Di Linh – Tân Định và đường dây 220kV Di Linh – Bảo Lộc bị cắt, dòng công suất chạy trên đường dây 500kV Đắk Nông – Phú Lâm tăng mạnh, đồng thời điện áp giảm khiến đặc tính tổng trở của rơ le bảo vệ khoảng cách cho đường dây này rơi vào vùng 3, và rơ le bắt đầu đếm thời gian. Sau 0.6s, do đặc tính tổng trở vẫn nằm trong vùng tác động nên rơ le khoảng cách cắt đường dây. Đường dây 500kV Đắk Nông – Phú Lâm cũng bị cắt ra khỏi hệ thống tại 7.91s;
- Quỹ đạo tổng trở của đoạn đường dây Đắk nông – Phú Lâm được minh họa trên hình 6. Có thể thấy rằng ngay khi đường Di Linh Tân Định bị cắt ra, đường dây Đắk nông đi Phú Lâm đã bị quá tải nặng nề, điểm làm việc tiến rất gần vùng tác động của rơ le khoảng cách.
- Do đã mất hoàn toàn liên kết 500kV Bắc – Nam nên dòng công suất tập trung chạy trên liên kết cuối cùng là đường dây 220kV lộ kép Đắk Nông – Bình Long. Tuy nhiên, dòng công suất quá lớn, vượt quá khả năng tải của đường dây 220kV này nên đặc tính tổng trở đi vào vùng 3 của rơ le bảo vệ khoảng cách cho đường dây này. Sau 0.6s, do đặc tính tổng trở vẫn nằm trong vùng tác động nên rơ le gửi lệnh cắt. Đường dây 220kV lộ kép Đắk Nông – Bình Long bị cắt ra khỏi lưới tại 8.178s. Đến thời điểm này, liên kết Bắc – Nam đã bị mất, hệ thống bị tách miền (thể hiện qua biểu đồ tốc độ các máy phát như trên hình 5).

Sau khi hệ thống bị tách miền tại 8.178s, tần số miền Nam bắt đầu giảm mạnh do thiếu hụt công suất (thấp nhất là 47.2Hz), tần số miền Bắc tăng (cao nhất là 51.5Hz) và sau đó ổn định ở 50.4Hz nhờ khả năng điều chỉnh tốt của các máy phát. Tại thời điểm 10.446s, do tần số giảm thấp dưới ngưỡng 48.5Hz nên trong khu vực miền Nam các rơ le sa thải phụ tải theo tần số bắt đầu tác động. Lần sa thải phụ tải cuối cùng xảy ra tại thời điểm 14.679s. Kết thúc quá trình sa thải này là tần số miền Nam dần ổn định về mức 49.9Hz, điện áp các nút được khôi phục. Tổng lượng sa thải phụ tải là 2263MW, tương đương lượng công suất thiếu hụt giữa công suất phát và công suất tải trong miền Nam.

Một kết quả đáng lưu ý khác của mô phỏng này đó là sự làm việc của các rơ le bảo vệ quá tải mạch kích từ (OEL). Khi đường dây 500kV Di Linh – Tân Định bị cắt ra, không những các đường dây còn lại bị quá tải vì lượng công suất tác dụng tăng lên, hệ thống điện khu vực miền Nam còn thiếu hụt một lượng lớn công suất phản kháng do mức tải của đường dây tăng cao. Điều này làm cho hàng loạt các rơ le OEL đã bắt đầu khởi động. Tuy nhiên, tại thời điểm hệ

thống bị tách miền, các rơ le sa thải phụ tải ở khu vực phía Nam hoạt động đã làm giảm đi đáng kể yêu cầu công suất tác dụng và công suất phản kháng. Sau khi các phụ tải bị cắt ra do rơ le sa thải phụ tải làm việc, các máy phát ở khu vực phía Nam cũng hết tình trạng quá tải kích từ và các rơ le OEL đều trở về trạng thái làm việc bình thường.



Hình 6. Quỹ đạo tổng trở đường Đak nông – Phú Lâm.

Kịch bản mô phỏng có thể diễn biến hoàn toàn khác nếu như có một số bảo vệ OEL kịp tác động trước khi hệ thống bị tách miền. Khi đó sự thiếu hụt công suất tác dụng và công suất phản kháng sẽ càng trở nên trầm trọng và có khả năng dẫn đến các sự cố nghiêm trọng hơn.

6. KẾT LUẬN

Bài báo này đã trình bày tổng quan ảnh hưởng của hệ thống rơ le bảo vệ đến diễn biến của các sự cố diện rộng trong hệ thống điện. Các kết quả mô phỏng đã minh họa một trường hợp sự cố diện rộng, dẫn đến chia tách hệ thống điện Việt Nam. Diễn biến của quá trình quá độ cho thấy có rất nhiều rơ le bảo vệ có thể tác động khi thông số của hệ thống thay đổi. Việc thay đổi chỉnh định của các rơ le này có thể làm thay đổi trình tự tác động của chúng, làm thay đổi diễn biến của quá trình sự cố. Đặc biệt, trong kịch bản mô phỏng trình bày trong bài báo, các rơ le OEL đã không kịp tác động, dẫn đến hệ thống có đủ dự trữ công suất tác dụng và phản kháng khi xảy ra

tách miền. Nếu kích bản rơ le OEL tác động xảy ra, như đã từng ghi nhận ở các sự cố lớn trên thế giới [1,5], có thể dẫn đến mất điện ở một khu vực rộng lớn hơn.

Nghiên cứu này cho thấy sự cần thiết của bài toán mô phỏng các sự cố điện rộng nhằm đánh giá các nguy cơ về sự cố có thể xảy ra, đồng thời ảnh hưởng của các rơ le bảo vệ trong quá trình sự cố. Các nghiên cứu này cho phép thay đổi chính định của các rơ le bảo vệ trong một giới hạn nhất định, nhằm tăng cường độ tin cậy của hệ thống điện..

Nghiên cứu này cho thấy sự cần thiết của bài toán mô phỏng các sự cố điện rộng nhằm đánh giá các nguy cơ về sự cố có thể xảy ra, đồng thời ảnh hưởng của các rơ le bảo vệ trong quá trình sự cố. Các nghiên cứu này cho phép thay đổi chính định của các rơ le bảo vệ trong một giới hạn nhất định, nhằm tăng cường độ tin cậy của hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IEEE Power and Energy Society. Blackout experiences and lessons, best practices for system dynamic performance, and the roles of new technologies. 2013.
- [2] Trần Đình Long. Tự động hóa trong Hệ thống điện. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [3] Lã Văn Út. Phân tích và điều khiển ổn định hệ thống điện. NXB Khoa học kỹ thuật, 2011.
- [4] India Blackouts 2012. [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/2012_India_blackouts
- [5] Tziovaras, D. Relay performance during major system disturbances. 60th Annual Conference for Protective Relay Engineers. 2007.
- [6] IEEE. IEEE guide for AC generator protection. 2006. (Standard C37.102).
- [7] SIEMENS. Application for SIPROTEC protection relays. 2005.
- [8] ALSTOM. Micom P34x Technical manual.
- [9] Elmore, W. Protective relaying: theory and applications. CRC Press, 2003.
- [10] Abba-Aliyu, Shehu. Voltage Stability and Distance Protection Zone3. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2003. Master Thesis.
- [11] Trần Đình Long. Bảo vệ các Hệ thống điện. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2000.
- [12] IEEE. IEEE guide for Protective Relay Applications to Transmission lines. 1999. (Standard C37.113)