

HIỆU QUẢ HẠN CHẾ DÒNG NGẮN MẠCH CỦA THIẾT BỊ HẠN CHẾ DÒNG NGẮN MẠCH KIỂU ĐIỆN TRỞ - ÁP DỤNG TẠI TBA 110kV BÌNH AN

EFFECT ON FAULT CURRENT LEVER REDUCTION BY USING RESISTIVE FAULT CURRENT LIMITER IN 110KV BINH AN UBSTATION

Nguyễn Nhất Tùng, Trịnh Trọng Chương

TÓM TẮT

Với sự phát triển nguồn điện nhanh chóng trong giai đoạn hiện nay, đặc biệt là sự phân bố tập trung lớn tại một số vùng miền trên cả nước, đã dẫn đến tăng nhanh giá trị của dòng ngắn mạch trên lưới điện, nhiều vị trí có giá trị dòng ngắn mạch vượt quá cho phép [1]. Bài báo hướng tới mục tiêu nghiên cứu giải pháp hạn chế dòng ngắn mạch trên lưới điện bằng cách lắp phần tử hạn chế dòng ngắn mạch kiểu điện trở (R-FCL) vào trung tính máy biến áp. Giải pháp được thực hiện thông qua 04 bước: (1) xác định giá trị điện trở cần lắp đặt, (2) mô phỏng lưới điện trong các trường hợp có lắp đặt thêm thiết bị R-FCL; (3) lắp đặt phần tử R-FCL trên lưới điện thực tế, do hãng Bolid chế tạo [2]; (4) mô phỏng phần tử R-FCL đã lắp đặt, so sánh với kết quả thực tế. Các kết quả cho thấy hiệu quả của việc áp dụng R-FCL trên lưới điện thuộc TBA 110 kV Bình An nói riêng và tính khả thi trên lưới điện Việt Nam nói chung.

Từ khóa: Dòng điện ngắn mạch, phần tử hạn chế dòng ngắn mạch, trạm biến áp 110 kV, mô phỏng số.

ABSTRACT

The fast development of the power source in recent period and the increasing power system load have led to rapid rising of short circuit current value on the grid. It existed already many points on the grid where short circuit current values exceed the allowed value. [1]. This article aims at searching, giving out the solutions for limiting the short circuit current on Viet Nam grid by installing a Resistive Fault Current Limiter (R-FCL) into neutral conductor of the transformer. This solution is carried out with the following steps: (1) Establishing calculating method for installed resistant value, (2) Simulating grid involved resistive current fault limiter, (3) Installing limiter apparatus on the real grid with the Resistant product provided by Bolid manufacturer[2], (4) Comparing the experimental result with the simulating results. This would give out the solution for limiting short circuit current applied in a case on Viet Nam grid-110 kV Binh An transformer substation. The results have shown high effectiveness of applying R-FCL on Viet Nam grid.

Keywords: Resistive Fault Current Limiter (R-FCL), Fault Current of court circuit, 110 kV Substation, Modelisation & Simulation.

Nguyễn Nhất Tùng

Trường Đại học Điện lực

Trịnh Trọng Chương

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Email: chuonghtd@gmail.com

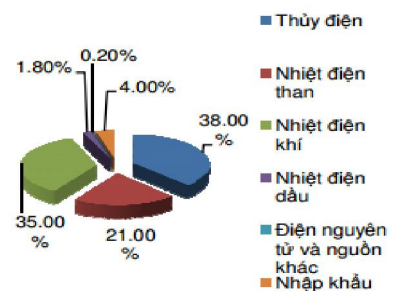
Ngày nhận bài: 10/09/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 11/10/2014

Ngày chấp nhận đăng: 16/10/2017

1. HIỆN TRẠNG DÒNG NGẮN MẠCH TRÊN LƯỚI ĐIỆN VIỆT NAM

Hiện nay, lưới điện truyền tải của Việt Nam được lấy điện chủ yếu từ các nguồn điện như thủy điện, nhiệt điện... với tổng công suất của các nhà máy điện là 37604MW [3], trong đó nhiệt điện chiếm khoảng 57%, thủy điện 38%, điện nhập khẩu chiếm 4%, điện nguyên tử và các nguồn khác chiếm 0,2% (hình 1).



Hình 1. Sơ đồ phân bố nguồn điện Việt Nam [3]

Tuy nhiên, các nguồn điện lớn lại tập trung chủ yếu ở một số khu vực như thủy điện ở Tây Bắc Bộ; thủy điện, nhiệt điện ở Đông Bắc Bộ và Nam Bộ, dẫn đến việc truyền tải điện về các khu vực tiêu thụ lớn như Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh rất phức tạp và xảy ra tình trạng ngắn mạch (NM) với giá trị dòng điện rất lớn.

Dòng NM theo như dự báo có thể tăng rất cao và vượt quá giá trị cho phép: Miền Đông Nam Bộ, dòng NM tại thanh cái 220kV trạm Phú Mỹ (70kA) và Nhà Bè (62kA) đã vượt quá quy định hiện nay (40kA) [3]. Những năm tới, khi có nhiều nguồn điện mới tiếp tục đầu nối, chắc chắn dòng NM khu vực sẽ còn tăng cao, phạm vi tách thanh cái sẽ lan rộng ra nhiều trạm.

Các kết quả tính toán phân tích cho thấy, dòng ngắn mạch vượt quá giá trị cho phép xuất hiện từ năm 2015 trở đi, chủ yếu ở khu vực miền Nam. Cụ thể: (1) khu vực Nam Bộ và TP. Hồ Chí Minh tập trung nhiều trạm 220kV với dòng sự cố rất lớn từ trước năm 2015; (2) khu vực miền Bắc là nút Hoà Bình với dòng sự cố 1 pha là 44,1902kA (>40kA). Đến năm 2020, khu vực miền Bắc và miền Trung có một TBA 500kV là Hà Tĩnh (dòng 3 pha là 56,1206kA) và sáu nút (TBA) 220kV có dòng NM vượt 40kA (bảng 1). Giải pháp được lựa chọn của EVN là tách các thanh cái vận hành độc lập tại các nút [3]. Đây là giải pháp thực dụng, nhưng đổi lại phần nào làm giảm độ tin cậy cung cấp điện của hệ thống và dẫn đến bài toán phải đầu tư thêm nhiều lộ đường dây và TBA mới nhằm khắc phục hậu quả kể trên.

Bảng 1. Dòng ngắn mạch tính toán tại TBA 500kV [3]

STT	TBA	Năm	NM 3 pha (kA)	NM 1 pha (kA)
1	Vinh Tân	2020	48,613	57,502
2	Sông Mây	2020	40,633	37,291
3	Tân Định	2020	41,861	31,336
4	Cầu Bông	2020	48,422	39,874
5	Phú Lâm	2020	45,389	38,302
6	Nhà Bè	2020	41,245	35,045
7	Phú Mỹ	2020	37,661	37,402
8	Đức Hòa	2020	45,315	36,289
9	Mỹ Tho	2020	42,256	32,139

Trong nội dung của bài báo, nhóm tác giả tập trung vào phân tích tính khả thi của việc áp dụng phần tử hạn chế dòng NM kiểu điện trở R-FCL trên lưới điện Việt Nam, áp dụng cho một trường hợp cụ thể tại TBA 110kV Bình An.

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP HẠN CHẾ DÒNG NGẮN MẠCH TRÊN LƯỚI ĐIỆN

2.1. Các giải pháp chung về hạn chế dòng ngắn mạch

Hiện nay, nhằm hạn chế dòng điện trong các trường hợp sự cố, trên thế giới cũng như tại Việt Nam đang sử dụng một số giải pháp sau [4, 6]: 1) Xây dựng các trạm biến áp mới cho phép bảo vệ lưới điện với công suất lưới cao hơn; 2) Nâng cấp các thiết bị đóng cắt hiện tại hoặc nâng cấp điện áp lưới; 3) Thay đổi cấu trúc lưới như: tách lưới, tách thanh cái; 4) Áp dụng các biện pháp cắt liên động loại dẫn nguồn cung cấp cho dòng sự cố để giảm dòng điện sự cố đến giới hạn cho phép cắt của máy cắt. Bốn phương án này đều yêu cầu cần phải thay thế nhiều thiết bị hoặc phải xây dựng thêm một số đường dây truyền tải, rất tốn kém. Phương án thứ (5) là sử dụng các cuộn kháng mắc trên lưới, ở một số vị trí đặc thù để hạn chế dòng điện ngắn mạch. Phương pháp này tồn tại nhược điểm là chúng lại gây ra sự sụt giảm điện áp trong điều kiện làm việc bình thường hay sự tổn hao công suất phản kháng trên lưới điện.

Để giải quyết vấn đề này, thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch (Fault Current Limiter -FCL), một hướng nghiên cứu hứa hẹn cho việc áp dụng trong thực tế [8 - 14].

2.2. Giải pháp sử dụng thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch kiểu điện trở R-FCL

Trên lưới điện truyền tải, việc xảy ra hiện tượng ngắn mạch 3 pha (hay 3 pha chạm đất) có xác suất rất thấp. Thay vào đó, các hiện tượng sự cố không đối xứng lại là các hiện tượng xảy ra khá phổ biến. Về mặt kĩ thuật, để giảm giá trị dòng sự cố trong trường hợp không đối xứng cần tăng giá trị điện kháng của lưới điện trong mạch điện bị sự cố, với cách thức đơn giản nhất là sử dụng các cuộn kháng mắc trên lưới hay giải pháp nối vào trung tính MBA một phần tử điện trở (hay điện kháng). Tuy nhiên, giải pháp sử dụng cuộn kháng trên lưới, trình bày ở mục 2.1, gây tổn thất trong trường hợp bình thường và khó khăn trong điều khiển lưới điện. Giải pháp còn lại là nối điện kháng (hay điện trở) vào trung tính MBA đã và đang được thế giới sử dụng rất hiệu quả. Điều này làm tăng giá trị điện kháng thứ tự không (Z_0) khi sự cố và giúp giảm giá trị dòng ngắn mạch. Tuy nhiên, giải pháp sử dụng cuộn kháng nối vào trung tính ít được sử dụng do: (1) gây nên sự tăng điện áp điểm trung tính và dẫn đến tăng điện áp các pha; (2) dòng NM chạy qua trung tính lớn, gây phát nóng cuộn kháng, thường khó có thể chịu đựng được. Các điều trên đều có thể được khắc phục bằng cách sử dụng phần tử điện trở R-FCL, không gây tăng quá cao điện áp trung tính và điện áp các pha lành, mất ổn định và dễ dàng hơn trong xử lý nhiệt.

2.2.1. Tính toán giá trị điện trở của R-FCL

Việc tính toán các thông số điện trở nối đất trung tính cho MBA được dựa trên các điều kiện cơ bản sau:

- Đảm bảo dòng điện qua điện trở trung tính, khi có R-FCL đủ lớn, ít nhất gấp 4 lần lớn hơn dòng điện dung của lưới điện, nhằm đảm bảo các thiết bị bảo vệ có thể phát hiện ra sự cố.
- Đảm bảo giá trị điện áp của các pha lành không được vượt quá trị số $1,3.U_{dm}$ khi có NM không đối xứng, theo tiêu chuẩn ban hành của Việt Nam.
- Thiết bị chịu đựng được sự phát nhiệt cho phép.

2.2.2. Lựa chọn vật liệu cho R-FCL

Về cơ bản, giải pháp sử dụng các dây dẫn thông thường để tạo ra thiết bị có điện trở lớn và chịu dòng điện lớn chạy qua thường khó thực hiện, bởi yếu tố kĩ thuật và kích thước công kênh của cuộn dây. Yêu cầu đặt ra là cần có loại vật liệu có độ dẫn điện thấp (có điện trở suất lớn), chịu được nhiệt độ cao và có đặc tính cơ khí chịu lực tốt.

Đối với Việt Nam, theo hiệp định thương mại Việt - Nga kí năm 2013, hãng sản xuất thiết bị điện Bolid của Nga đã làm việc với EVN và giới thiệu dòng sản phẩm của mình: tấm điện trở nối trung tính MBA. Đây có thể xem là dòng sản phẩm mới, đáp ứng được yêu cầu, phù hợp với nhu cầu giảm dòng điện sự cố trên lưới điện hiện nay.

3. ÁP DỤNG R-FCL TRÊN LƯỚI ĐIỆN TBA 110kV BÌNH AN

3.1. Lưới điện TBA 110kV Bình An

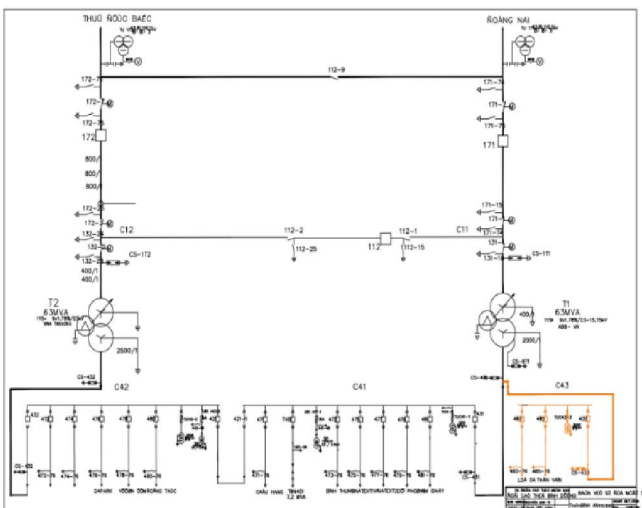
TBA 110kV Bình An thuộc Quận 2, thành phố Hồ Chí Minh (hình 2) bao gồm 2 MBA nối Y/Y₀ có các thông số kĩ thuật như bảng 2. Trạm lấy điện từ 02 lộ xuất tuyến và có 12 xuất tuyến đầu ra ở phía 22kV. Cấp điện áp 6,6kV chỉ dùng để phục vụ đo lường trên lưới điện.

Bảng 2. Thông số kĩ thuật TBA 110kV Bình An

MBA T1,T2	- Công suất định mức 2 x 63 MVA - Cấp điện áp 115/24/6,6 kV - Điện kháng trong đơn vị tương đối R/L = 0,00079/0,048 - Đầu phân áp phía cao áp: $115 \pm 9 \times 1,78\%$	
Phụ tải điện	- Các phụ tải 3 pha (có công suất tổng chiếm 33,6% công suất trạm) - Các phụ tải 1 pha (gồm các tải có công suất từ 0,2 MVA đến 1,3MVA)	
Thanh cái	Dòng điện điện dung I_c (A)	Dòng điện qua dây trung tính $(I_{Rmin} \geq 4 \cdot I_c)$ A
C42	20,57	82,28

3.2. Xác định giá trị điện trở của R-FCL

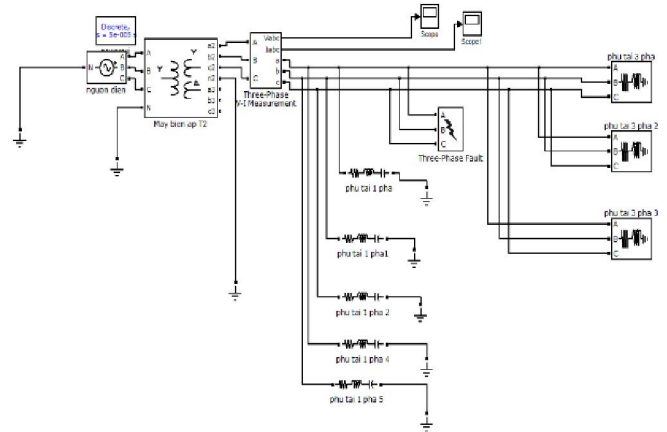
Việc xác định giá trị điện trở cần thiết của R-FCL được thực hiện thông qua mô phỏng lưới điện TBA 110kV Bình An bằng Matlab Simulink, áp dụng cho lưới 22kV của MBA T2 (MBA dự kiến lắp đặt điện trở trung tính).



Hình 2. Sơ đồ 1 sợi TBA 110kV Bình An

Ở đây, nguồn điện phân phía trước TBA không được xét đến và được coi là công suất vô cùng lớn. Việc mô phỏng xác định giá trị sử dụng R-FCL trên lưới điện được thực hiện qua hai bước: (1) mô phỏng sự hoạt động của lưới điện trong trường hợp bình thường và sự cố khi như hiện trạng trước khi lắp đặt để tính toán chứng thực các kết quả mô phỏng với thực tế; và (2) mô phỏng lưới với sự thay đổi điện trở nối trung tính để xác định giá trị điện trở R-FCL cần lắp đặt. Hình 3 thể hiện mô hình mô phỏng trong cho sự hoạt động của lưới điện của MBA T2.

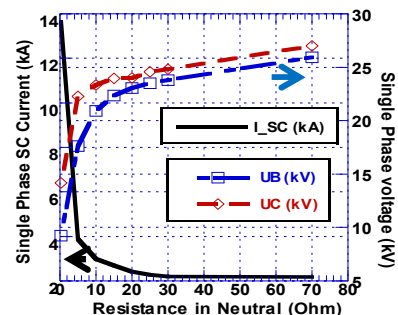
Kết quả mô phỏng hiện trạng của lưới trong các trường hợp vận hành cho kết quả: (1) vận hành bình thường, dòng điện của pha A, B, C có giá trị lần lượt: $I_A = 697,5A$; $I_B = 691,5A$; $I_C = 674,9A$; (2) trong trường hợp sự cố ngắn mạch 1 pha $I_{NM} = 15,47$ kA. Các giá trị này phù hợp với giá trị đo đạc vận hành thực tế trên lưới: $I_{tb} = 615A$ (dòng điện trung bình các pha) trong chế độ bình thường và $I_N = 16kA$ cho sự cố 1 pha. Ngoài ra, kết quả mô phỏng còn cho phép xác định được dòng điện chạy qua trung tính biến thiên trong khoảng $(6 \div 21)A$ trong chế độ vận hành bình thường.



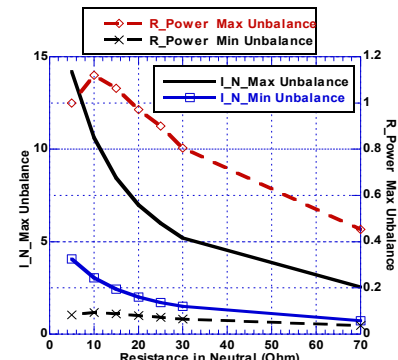
Hình 3. Mô hình mô phỏng lưới điện MBA T2 của trạm 110kV Bình An

Các kết quả tính toán mô phỏng cho trường hợp sự cố 1 pha chạm đất (hình 4), cho thấy: để đảm bảo điện áp các pha không sự cố không vượt quá giá trị $1,3U_{dmv}$ tương ứng 25,4kV, thì giá trị điện trở gắn vào trung tính không được vượt quá 10Ω.

Tính toán tương tự cho trường hợp phụ tải không đối xứng (unbalance), với phụ tải 1 pha nhỏ nhất và lớn nhất lần lượt là 0,2MVA và 0,7MVA, có trung tính với điện trở thay đổi (hình 5). Dòng điện chạy qua dây trung tính (khi có nối với điện trở) có giá trị biến thiên từ $(0,7 \div 14,9)A$.



Hình 4. Kết quả mô phỏng sự cố một pha (Pha A) với sự biến thiên điện trở nối đất trung tính MBA



Hình 5. Kết quả mô phỏng dòng điện và công suất trên điện trung tính với sự biến thiên của điện trở trung tính MBA

Các kết quả tính toán cho thấy với giá trị điện trở là 10Ω thì đã có tác dụng đáng kể giảm dòng ngắn mạch, đồng thời đảm bảo điện áp các pha lành. Đây chính là giá trị thích hợp để sử dụng do đảm bảo các yếu tố yêu cầu.

Hình 5 cho thấy điểm khác biệt là công suất tiêu hao trên điện trở nối đất trong chế độ vận hành bình thường, với phụ tải không đối xứng: khi giá trị R_N (điện trở trung tính) ngày càng tăng thì công suất tiêu hao trên điện trở này càng giảm. Điều này có thể lý giải do sự tăng lên của điện trở R_N không thể làm thay đổi nhiều giá trị điện áp của điểm trung tính (U_N), do đó, dòng điện chạy qua R_N giảm nhiều khi R_N tăng cao, khiến công suất tiêu hao giảm.

Từ kết quả mô phỏng, kết hợp với yêu cầu của lưới điện (trong mục 2.2), giá trị điện trở được lựa chọn là 10Ω.

Với giá trị điện trở này, dòng sự cố 1 pha giảm từ 16kA xuống còn 3kA, giảm hơn 5 lần so với khi không sử dụng điện trở. Giá trị này là đủ lớn cho yêu cầu xác định hiện tượng sự cố trên lưới (lớn hơn nhiều so với dòng điện điện dung).

Ngoài ra, với giá trị dòng sự cố 1 pha như tính toán mô phỏng, xung lượng nhiệt của dòng NM được tính trong thời gian 1s có giá trị khoảng: $9.10^6 A^2.s$. Như vậy, thiết bị với điện trở 10Ω được chọn phải thỏa mãn thêm về điều kiện xung lượng nhiệt này, áp dụng theo tiêu chuẩn Việt Nam [14].

3.3. Thiết bị R-FCL lắp đặt tại TBA 110kV Bình An

Thiết bị lắp đặt được cấu tạo gồm nhiều tấm điện trở có vỏ bọc thép không rỉ, được kết nối với nhau, ghép nối tiếp và song song. Thiết bị gồm 84 phần tử điện trở, gồm 06 dãy song song, mỗi dãy gồm 07 phần tử, giá trị điện trở của mỗi phần tử được xác định có giá trị 17,14Ω. Các tham số cơ bản của tấm điện trở và thiết bị được lắp đặt trên lưới được thể hiện trên hình 6.



- Resistance: 10Ω
- Rated Voltage: 22kV
- Maximum operating voltage: 24 (26,5)kV
- Rated operating time: 10s
- Rated resistor current: 100A
- Permissible resistor current: 13,3A (long time)
- Permissible resistor current: 16,3A (1 hour time)

Hình 6. Thiết bị R-FCL lắp đặt thực tế tại TBA 110kV Bình An (thông số thiết bị & thực tế lắp đặt)

3.4. Mô phỏng thiết bị R-FCL TBA 110kV Bình An

Với các tấm điện trở đã được lựa chọn, mô hình mô phỏng cho thiết bị R-FCL được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả về điện và về nhiệt của thiết bị. Mô hình được xây dựng dựa trên sự đảm bảo hai yếu tố cơ bản, cụ thể như sau:

- Phản ánh đúng giá trị điện trở và các đặc tính điện của thiết bị lắp đặt, tuân thủ các đặc điểm về cấu tạo và về vật liệu sử dụng.

- Mô tả quá trình truyền nhiệt của thiết bị, nhằm đánh giá sự tăng nhiệt của thiết bị trong vận hành.

3.4.1. Mô phỏng phần điện của thiết bị

Phần điện của thiết bị được quy đổi về một phần tử điện trở duy nhất tương đương trong mô hình mô phỏng, với điện trở suất của vật liệu, 25°C (293°K), được xác định $\rho = 5,38.10^{-2} \Omega.m$, phụ thuộc vào nhiệt độ theo công thức:

$$\rho (T) = \rho (T_0) [1 + \gamma (T - T_0)] \tag{1}$$

Với thông số đo đạc thực tế, giá trị nhiệt điện trở được lựa chọn: $\gamma = 0,0005$.

3.4.2. Mô phỏng phần nhiệt của thiết bị

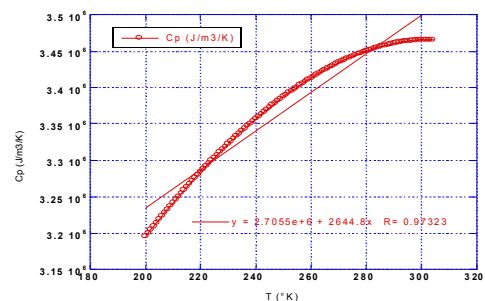
Về cơ bản, có thể coi các phần tử điện trở là các phần tử đồng nhất, tuân theo phương trình nhiệt như sau:

$$R.i(t)^2.dt = C_p(T).V.dT + P_{\text{exchange}}.S_{\text{exchange}}.dt \tag{2}$$

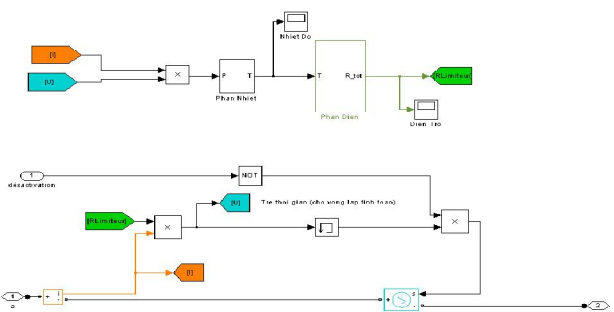
- Với: R: điện trở của mỗi phần tử (Ω),
- i(t): giá trị dòng điện chạy qua mỗi tấm điện trở theo thời gian (A),
- C_p : giá trị nhiệt trở suất của vật liệu ($J/m^3/K$),
- V: thể tích của tấm điện trở (phần dẫn điện),
- P_{exchange} và S_{exchange} : công suất nhiệt tản ra môi trường ($W/m^2/K$) và diện tích tiếp xúc với môi trường (m^2).

Trong thực tế đo đạc và tham khảo catalog của hãng sản xuất về nhiệt trở suất của các vật liệu chế tạo, ta sử dụng đặc tính nhiệt trở suất của kim loại tương tự, lấy hợp kim Low Carbon steel (Thép ánh chì), với đặc tính được biểu diễn trên hình 7.

Ở đây, yếu tố cần đảm bảo là diện tích tản nhiệt của mô hình tương ứng với thiết bị thực tế, giá trị về công suất tản nhiệt ra môi trường đúng với môi trường không khí ở nhiệt lấy tiêu chuẩn là 25°C.



Hình 7. Đặc tính điện trở nhiệt (C_p) của vật liệu điện trở



Hình 8. Mô hình mô phỏng thiết bị R-FCL

Sơ đồ mô phỏng thiết bị R-FCL trong Matlab Simulink được thể hiện trên hình 8.

3.5. So sánh kết quả mô phỏng với vận hành thực tế

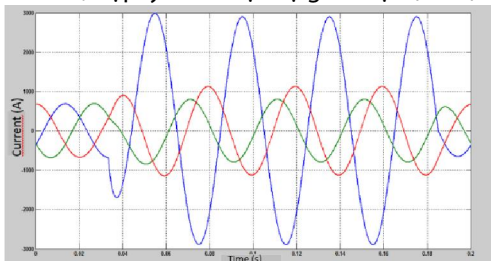
Báo cáo vận hành ngày 25/01/2015, ứng với trường hợp khi sự cố một pha xảy ra trên lộ xuất tuyến, 478, tại khu vực Vườn Ươm, vị trí sự cố cách TBA khoảng 500m (bảng 3). Tại thời điểm đang xét, các phụ tải đối xứng và không đối xứng của TBA đang vận hành bình thường.

Kết quả mô phỏng giá trị dòng sự cố chạy qua trung tính là 1300A (hình 9), cho thấy có sự sai lệch nhỏ so với dòng ngắn mạch được ghi nhận trên lưới (947,9A). Điều này có thể được giải thích bởi yếu tố điện kháng của đường dây chưa được tính cụ thể trong mô phỏng của lưới điện.

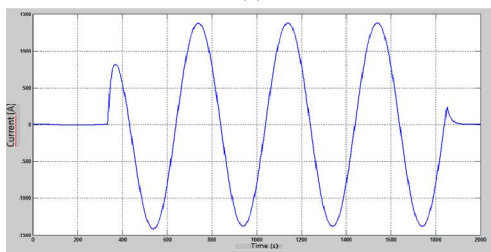
Bảng 3. Báo cáo đo lường phát hiện sự cố ngày 25/01/2015

TT	Đường dây	Dòng điện NM qua trung tính	Thời gian ngắn mạch	Nhiệt độ của điện trở ngắn mạch
1	478	947,9	-	36

Kết quả mô phỏng nhiệt độ của R-FCL (hình 10), trong thời gian sự cố là 1s, nhiệt độ của thiết bị R-FCL tăng lên 8°C so với ban đầu, hợp lý với nhiệt độ ghi nhận (36°C).



(a)

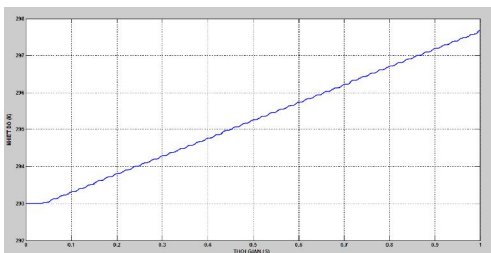


(b)

Hình 9. Mô phỏng trường hợp ngắn mạch 1 pha

a) Dòng điện trên các pha (xanh: pha sự cố);

b) Dòng điện trong dây trung tính khi có sự cố trên pha A



Hình 10. Mô phỏng nhiệt độ thiết bị R-FCL khi sự cố

Như vậy, kết quả mô phỏng được đánh giá phù hợp với thực tế và việc sử dụng thiết bị R-FCL đem lại hiệu quả cho bài toán hạn chế dòng ngắn mạch trên lưới điện.

4. KẾT LUẬN

Bằng việc đưa thêm một phần tử điện trở vào trung tính của MBA, điều này làm tăng giá trị điện kháng của lưới điện khi có sự cố ngắn mạch không đối xứng và qua đó làm giảm giá trị dòng NM. Giải pháp được đề xuất là thông qua mô phỏng lưới điện để xác định trước tiên các giá trị cơ bản cần thiết cho thiết bị lắp đặt; tính toán lắp đặt trên lưới thực tế; và mô phỏng các đặc tính thiết bị R-FCL, nhằm kiểm chứng kết quả giữa mô phỏng và vận hành trên lưới điện.

Các kết quả cho thấy quá trình biến đổi và hiệu quả làm việc của các thiết bị R-FCL là đúng với yêu cầu đặt ra. Điều này cho thấy, giải pháp sử dụng R-FCL có hiệu quả rất khả quan và hướng phát triển hứa hẹn cho việc nghiên cứu ứng dụng R-FCL tại Việt Nam.

Tuy nhiên, việc sử dụng các phần tử R-FCL này còn cần phải được nghiên cứu kĩ càng, trong đó, vấn đề chỉnh định lại cách thức bảo vệ của lưới cần được quan tâm đồng thời. Đối với lưới điện Việt Nam, việc quy định, cho phép sử dụng điện trở nối vào trung tính các MBA truyền tải vẫn là câu hỏi bỏ ngỏ.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả bày tỏ lời cảm ơn chân thành đến sự hợp tác từ các phía: Ông Phạm Quang Việt - Phó ban KHCN&MT Tập đoàn Điện lực Việt Nam; Ông Nguyễn Mạnh Quân, trưởng phòng Công nghệ, Tổng Công ty Thiết bị điện Đồng Anh, với sự giúp đỡ quý báu trong việc tính toán và số liệu của bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Công ty cổ phần Tư vấn Xây dựng Điện 2, "Báo cáo: nghiên cứu giải pháp hạn chế dòng ngắn mạch giai đoạn 2011-2020", EVN, 2010
- [2]. <http://www.sourcesecurity.com/companies/company-listing/bolid-company.html>
- [3]. Trung tâm điều độ Hệ thống điện Quốc gia, "Báo cáo tổng kết vận hành hệ thống điện quốc gia năm 2015", EVN, Hà Nội 2015.
- [4]. Nguyễn Nhật Tùng, "Phần tử hạn chế dòng ngắn mạch: tổng quan và phạm vi sử dụng", tạp chí Khoa học & Công nghệ, Đại học Công nghiệp Hà Nội, số 31, 2015.
- [5]. L. Kovalsky et al., Applications of superconducting fault current limiters in electric power transmission systems, *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, vol. 15, pp. 2130-2133, 2005.
- [6]. M. Noe, B. R. Oswald, Technical and Economical Benefits of Superconducting Fault Current Limiters in Power Systems, *IEEE Transactions on applied superconductivity*, Vol. 9, No. 2, June 1999.
- [7]. N.T. NGUYEN, Mise en oeuvre et intégration des matériaux supraconducteurs dans les dispositifs de puissance, thèse Institut Polytechnique de Grenoble 2009.
- [8]. Y.Coint, Limiteur supraconducteur de courant continu, thèse Grenoble INP 2007.
- [9]. P.Tixador, Les supraconducteurs, HERMES 2006.
- [10]. P. Tixador, T. Nguyen-Nhat, H.G. Okada-Vieira, R. Ponceau, Some Grid Constraints for SC FCL, 1LB-03, ASC 2010.
- [11]. P. Tixador, N.T. Nguyen, Design of ReBaCuO-Coated Conductors for FCL, *IEEE/CSC & Esas European superconductivity news forum (ESNF)* No. 13, July 2010.
- [12]. Kunde K, Kleimaier M and Klingbeil L, Integration of fast acting electronic fault current limiters (EFCL) in medium voltage systems CIREN, 17th Int. Conf. on Electricity Distribution (Barcelona, May 2003).
- [13]. EPRI, Technical and Economical Evaluation of a Solid State Current Limiter, EPRI, Palo Alto, CA, Consolidated Edison Co. of New York, New York, NY, Allegheny Power Greensburgh, PA, and ISO New England, Holyoke, MA: 2002.1001816.
- [14]. Qui phạm trang bị điện, Bộ Công Thương - 2006
- [15]. Sơ đồ kĩ thuật lưới điện và TBA 110kV Bình An, Tổng Công ty Điện lực Hồ Chí Minh.