

TÍNH TOÁN QUÁ ĐIỆN ÁP PHỤC HỒI KHI ĐÓNG CẮT TỤ BÙ TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU

CALCULATION OF OVER RECOVERY VOLTAGE WHEN SWITCHING CAPACITORS IN THE DISTRIBUTION GRID AND PROPOSED SOLUTIONS FOR MITIGATION

Ninh Văn Nam^{1,*}, Lê Văn Phú², Vũ Hữu Thích³

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.257>

TÓM TẮT

Các bộ tụ bù được lắp đặt để cải thiện hệ số công suất trong lưới điện phân phối. Tuy nhiên, nhược điểm của các bộ tụ bù thường xuyên đóng cắt, khi đóng cắt gây ra hiện tượng quá điện áp (QĐA) ảnh hưởng đến chất lượng điện năng và thiết bị đóng cắt như máy cắt (MC). Do vậy, cần tính toán quá điện áp khi đóng cắt các bộ tụ, trong đó quá điện áp phục hồi (Transient Recovery Voltage - TRV) cũng như tốc độ tăng điện áp phục hồi (Rate of Rise of Recovery Voltage - RRRV) có ý nghĩa quyết định trong việc lựa chọn MC an toàn và kinh tế. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu tính toán quá điện áp khi đóng cắt một bộ tụ đơn và đóng cắt bộ tụ song song tại trạm biến áp 110kV. Giá trị TRV và RRRV của máy cắt trong các trường hợp đóng cắt bộ tụ đơn và bộ tụ song song được xác định và phân tích. Ngoài ra, quá điện áp đặt lên tụ và dòng điện khởi động qua tụ cũng được xác định và đánh giá. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi đóng tụ song song dòng điện trên tụ có trị số rất cao gây nguy hiểm cho tụ bù. Giải pháp sử dụng chống sét van kết hợp kháng điện lắp phía bộ tụ mang lại hiệu quả cao để giảm TRV và RRRV.

Từ khóa: Quá điện áp phục hồi, tụ bù, chống sét van, EMTP/ATP.

ABSTRACT

Capacitors are installed to improve the power factor in the distribution grid. However, the disadvantage of shunt capacitors are that when the capacitor are switching overvoltage will appear, affects power quality and affects switching equipment (breakers). Therefore, it is necessary to calculate overvoltage when switching capacitor, in which Transient Recovery Voltage - TRV and Rate of Rise of Recovery Voltage - RRRV are decisive in choosing circuit breakers safely and economically. This article presents the results of research on calculating overvoltage when switching a single capacitor bank and switching parallel capacitors bank at a 110kV transformer station. The TRV and RRRV values of Breaker in single and parallel capacitors switching cases are determined and analyzed. In addition, the overvoltage applied to the capacitor and the inrush current through the capacitor are also determined and evaluated. Research results show that when the switching capacitor in parallel, the current on the capacitor has a very high value, causing danger to the capacitor. The solution of using surge arrester combined with shunt reactor installed on the capacitor side is highly effective in reducing TRV and RRRV.

Keywords: Transient recovery voltage, shunt capacitor, surge arrester, EMTP/ATP.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Học viên cao học khóa 12 - Kỹ thuật điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Trung tâm Việt Nhật, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: ninhvannam@hauivn.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/6/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/7/2024

Ngày chấp nhận đăng: 27/8/2024

1. GIỚI THIỆU

Việc bù công suất phản kháng trong hệ thống điện không chỉ đảm bảo cho việc cân bằng công suất phản

kháng mà còn làm giảm tổn thất công suất và điện năng cũng như để ổn định điện áp tại các nút đặt thiết bị bù và cung cấp một phần công suất phản kháng cho phụ tải.

Để thực hiện nhiệm vụ trên thì tại trạm biến áp 22kV, 35kV và 110kV thường lắp các bộ tụ bù ngang để bù công suất phản kháng cho lưới điện. Chính vì thế, trong những năm gần đây các công ty điện lực đã và đang lắp đặt các bộ tụ bù vào vận hành (bảng 1) [1]. Các bộ tụ bù ở lưới điện phân phối chủ yếu được thiết kế và lắp đặt dưới dạng bù cứng, thường là nối sao trung tính cách điện hoặc trung tính nối đất (hình 1).

Bảng 1. Tổng dung lượng tụ bù trên lưới (MVar) [1]

Tổng dung lượng tụ bù 110kV (MVar)	Tổng dung lượng tụ bù trung áp (6 - 35kV) (MVar)	Tổng dung lượng tụ bù hạ áp (MVar)	Tổng dung lượng tụ bù trên lưới tải sản NPC (MVar)
170	1.944,83	3.354,48	5.469,31

Lưới điện phân phối phụ tải thường thay đổi các giờ trong ngày nên các bộ tụ bù cũng thường đóng cắt trong ngày. Tuy nhiên, khi đóng cắt các bộ tụ bù sẽ gây ra quá trình quá độ làm cho điện áp tại thanh cái đầu nối tụ, điện áp đặt lên tụ và dòng điện khởi động (I_{inrush}) có thể tăng tới vài kA, tần số dòng điện tới kHz [2, 3], điều này sẽ gây nguy hiểm cho MC và cho tụ bù. Trong các bộ tụ bù ngang, việc đóng xung điện vào các bộ tụ, các tụ điện được nạp sẽ gây ra dao động cho lưới về quá dòng và quá điện áp đột ngột làm chọc thủng cách điện của thiết bị điện trong hệ thống và làm hỏng các thiết bị, thống kê cho thấy các bộ tụ nhanh bị hư hỏng, thường bị phồng do quá áp và quá dòng. Đặc biệt với các trạm vận hành hai giàn bộ tụ song song thì dao động điện áp sinh ra khi đóng các giàn tụ (back to back switching) có biên độ lớn hơn.



Hình 1. Giàn tụ bù tại TBA 110kV Bắc Á [4]

Việc đóng cắt các tụ bù cũng như đóng cắt các đường dây không tải, sẽ xuất hiện quá trình quá độ trong mạch điện, điện áp xuất hiện hai phía tiếp điểm của MC gọi là TRV. Do yêu cầu cấp thiết về đảm bảo chất lượng điện năng, Bộ Công thương ra Thông tư số 39/2015/TT-BCT, trong đó yêu cầu thông số về mức dao động điện áp tại

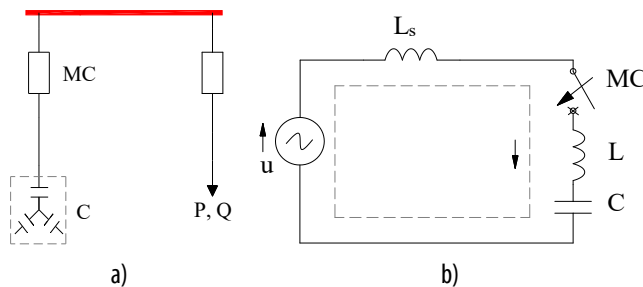
điểm đầu nối chung là $\pm 5\%$ [5], nên khi đóng cắt tụ bù cần có giải pháp hạn chế QĐA. Các MC khi đóng cắt phải đảm bảo quy định của IEC62271-100 [6] về TRV và RRRV. Hiện nay, nghiên cứu quá độ điện áp phục hồi TRV và độ gia tăng RRRV khi đóng cắt và các giải pháp giảm thiểu cho MC trên các đường dây truyền tải 220kV cũng như đóng cắt kháng điện đã được nghiên cứu trong nhiều công trình [3, 7, 8]. Tuy nhiên, đối với đóng cắt các bộ tụ trên lưới điện 110kV hầu như rất ít các nghiên cứu công bố.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu tính toán QĐA khi đóng cắt một bộ tụ đơn và đóng cắt bộ tụ song song tại trạm biến áp 110kV. Giá trị TRV và RRRV của MC trong các trường hợp đóng cắt bộ tụ đơn và bộ tụ song song được xác định và phân tích. Ngoài ra, QĐA đặt lên tụ và dòng điện khởi động qua tụ cũng được xác định và đánh giá. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi đóng tụ song song dòng điện trên tụ có trị số rất cao gây nguy hiểm cho tụ bù. Giải pháp sử dụng chống sét van (CSV) kết hợp kháng điện lắp phía bộ tụ mang lại hiệu quả cao để giảm TRV và RRRV.

2. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ KHI ĐÓNG CẮT TỤ BÙ NGANG

2.1. Đóng tụ điện độc lập

Giả thiết một bộ tụ bù được đóng vào lưới điện có sơ đồ nguyên lý trên hình 2a, điện cảm nguồn L_s , điện cảm cục bộ của cáp nối bộ tụ L_1 (thông thường $L_s \gg L_1$), điện dung của tụ điện C , bỏ qua thành phần điện trở của nguồn, sơ đồ thay thế trên hình 2b.



Hình 2. Sơ đồ đóng tụ bù độc lập: a) sơ đồ nguyên lý, b) sơ đồ thay thế

Biên độ dòng điện khởi động cực đại [9]:

$$I_{max} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot U_n \cdot \sqrt{\frac{C}{L_s + L_1}} \tag{1}$$

Tần số dòng điện khởi động [9]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1(L_s + L_1)}} \tag{2}$$

Khi đóng tụ bù vào lưới điện, dòng khởi động chạy từ nguồn để nạp tụ điện, trường hợp này bộ tụ chưa được sạc. Khi đó điện áp trên tụ là rất lớn, dẫn đến trên mạch tụ bù xuất hiện dòng điện rất lớn chạy qua gọi là dòng điện

khởi động (I_{inrush}). Dòng điện khởi động phụ thuộc vào điện áp U_n , điện cảm L_s của nguồn, điện dung C của tụ bù và góc đóng. Giá trị đỉnh của dòng khởi động có thể lớn hơn nhiều lần dòng điện xác lập có thể gây hư hại tụ bù và cho MC.

2.2. Đóng tụ điện song song

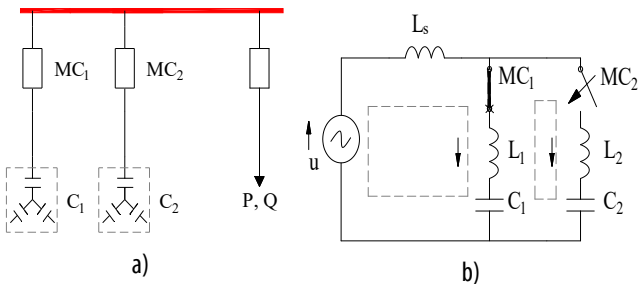
Trường hợp có nhiều bộ tụ song song, xét trường hợp liên kết mạch kiểu back to back, tức là đóng điện cho một tụ trong khi một (hoặc nhiều) tụ khác đã được đóng điện từ trước đó (đã được sạc), trường hợp này được mô tả trong hình 3. Dòng điện chạy qua tụ 2 thuộc phần nhánh có máy cắt MC_2 là tổng hợp của hai dòng điện: một chạy từ nguồn tới và một từ nhánh có máy cắt MC_1 do tụ điện 1 trên nhánh đó bắt đầu xả. Do điện cảm nguồn L_s lớn hơn nhiều so với các điện cảm ký sinh L_1 và L_2 phía bộ tụ nên dòng điện từ nguồn bị giới hạn bởi L_s sẽ nhỏ hơn nhiều so với dòng điện từ phía bộ tụ 1, nên dòng điện từ nhánh của bộ tụ 1 sẽ chiếm đa số trong dòng điện khởi động qua tụ 2.

Biên độ dòng điện khởi động 2 [9]:

$$I_{max} = U_n \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{L_1 + L_2}} \tag{3}$$

Tần số dòng điện khởi động [9]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \cdot (L_1 + L_2)}} \tag{4}$$



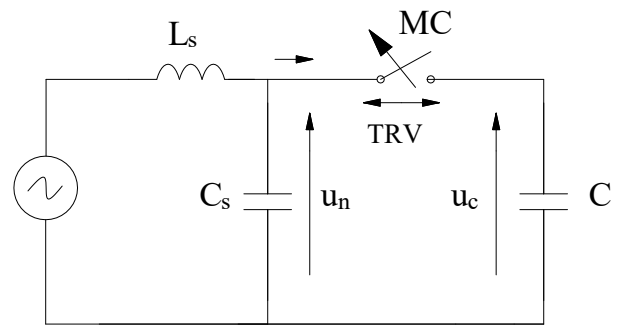
Hình 3. Sơ đồ đóng tụ bù song song: a) sơ đồ nguyên lý, b) sơ đồ thay thế

2.3. Quá điện áp phục hồi khi cắt bộ tụ bù

Điện áp phục hồi (RV: Recovery voltage) trong các MC điện áp xuất hiện giữa hai đầu cực của thiết bị đóng cắt khi cắt sự cố. Điện áp này được xét trong hai khoảng thời gian liên tiếp đó là khoảng thời gian thoáng qua ban đầu tồn tại điện áp quá độ phục hồi (TRV) tiếp đó khoảng thời gian tồn tại điện áp xác lập ở tần số công nguồn [9]. Sự phản ứng của lưới điện đến dòng cắt là nguyên nhân sinh ra TRV. Hai tham số quan trọng của TRV đó là biên độ lớn nhất mà thành phần QĐA này đạt được và tốc độ gia tăng RRRV, hai tham số này có ý nghĩa quyết định trong việc

lựa chọn MC một cách an toàn và kinh tế. Đối với MC tụ bù giá thành thường rất lớn nên việc xác định TRV có ý nghĩa quan trọng việc lựa chọn MC đảm bảo an toàn và kinh tế. Có nhiều nguyên nhân dẫn đến mức TRV cao xuất hiện trên MC như: đóng cắt tụ bù, cắt ngắn mạch, cắt đường dây không tải, cắt đột ngột dòng tải, trong phạm vi nghiên cứu này sẽ xác định khi đóng cắt tụ bù 110kV. Sơ đồ mô tả mạch khi cắt bộ tụ bù trình bày trên hình 4, điện áp phục hồi trên máy cắt xác định [9]:

$$TRV = \frac{U \cdot \cos(\omega t)}{1 - \omega^2 \cdot L_s \cdot (C + C_s)} - U \tag{5}$$



Hình 4. Mô hình xác định TRV khi đóng cắt tụ điện

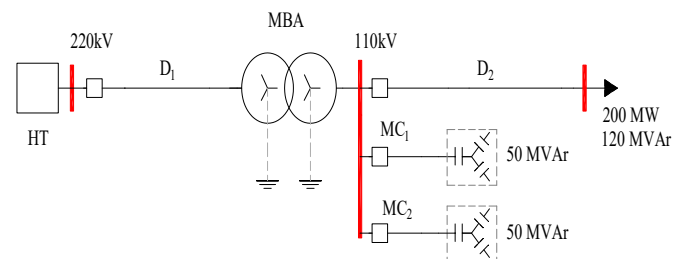
3. BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU VÀ CÁC DỮ LIỆU

Sơ đồ mạng điện gồm có 2 bộ tụ được nối vào thanh cái 110kV qua các máy cắt MC_1 và MC_2 , công suất mỗi bộ tụ là 50MVar. Các bộ tụ bù được nối sao và nối đất. Các dữ liệu của các phần tử trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số các phần tử của hệ thống

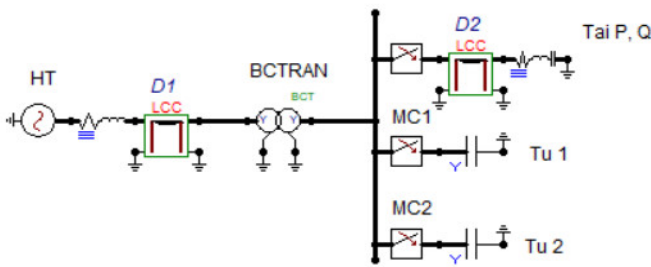
TT	Mô tả	Thông số
1	Điện áp nguồn	$\sqrt{2} \times 110 / \sqrt{3} = 89,8kV$
2	Máy biến áp	Công suất 250MVA; điện áp 223/115kV; điện trở, điện cảm cuộn dây cao áp, hạ áp: $R_{HV} = 0,0021pu$; $L_{HV} = 0,038pu$; $R_{LV} = 0,0021pu$; $L_{LV} = 0,038pu$.
3	Đường dây trên không	Đường dây 220kV (D_1) dài 100km, dây ACSR 330/42, Đường dây 110kV (D_2) dài 50km, dây AC-240.
5	Tụ bù	Công suất: 50MVar, điện dung định mức: 9,43 μF
6	Máy cắt (MC)	SF6

Sơ đồ nguyên lý mạng điện trình bày trên hình 5.



Hình 5. Sơ đồ mạng điện sử dụng 2 bộ tụ bù

Sơ đồ mô phỏng trong EMTP/ATP trình bày trên hình 6.

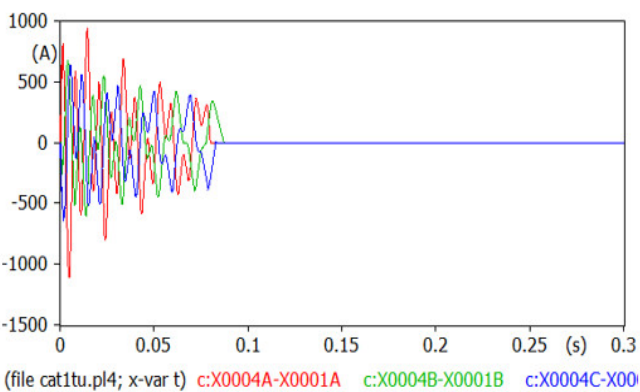
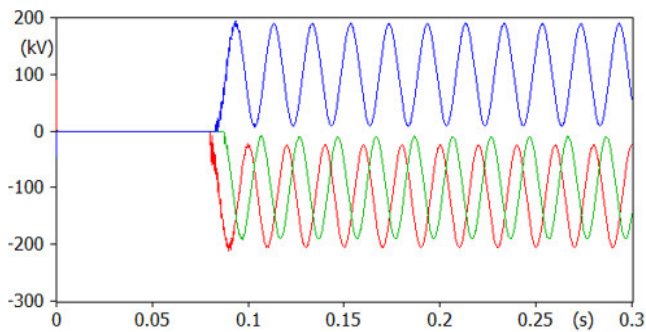


Hình 6. Mô hình mô phỏng trong EMTP/ATP

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN QUÁ ĐIỆN ÁP KHI ĐÓNG CẮT TỤ

4.1. Trường hợp cắt tụ bù

Tụ điện đang vận hành bình thường, cắt tụ ra khỏi lưới TRV trên tụ trình bày trên hình 7. Kết quả tính toán $TRV_{max} = 191,1kV$, $RRRV = 0,02kV/\mu s$. Như vậy, trường hợp cắt tụ bù ra khỏi lưới giá trị TRV_{max} của MC tụ tới 2,1pu lớn hơn ngưỡng chịu đựng của MC theo IEC62271-100, do vậy cần có giải pháp để giảm TRV để đảm bảo an toàn cho MC.



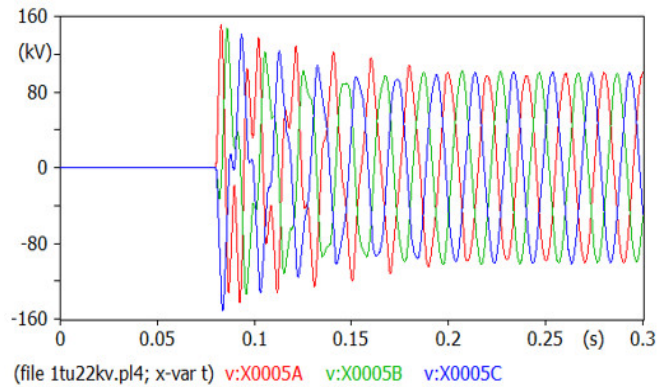
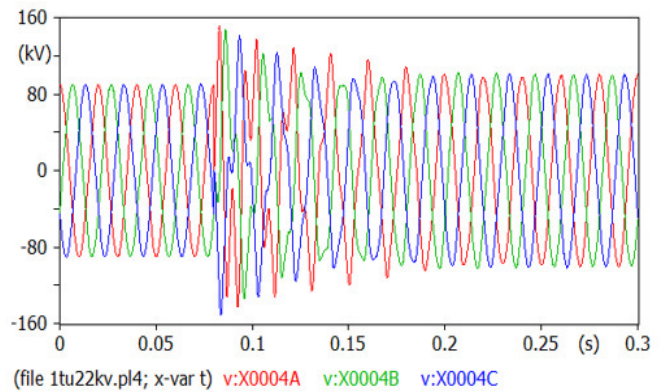
Hình 7. TRV và dòng qua MC1 khi cắt tụ

4.2. Trường hợp đóng tụ bù

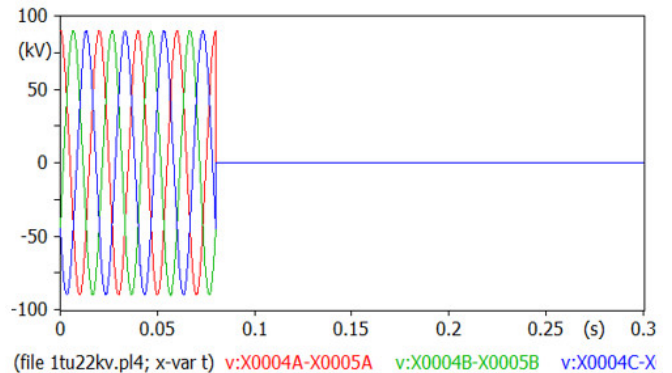
* Trường hợp đóng một bộ tụ vào lưới

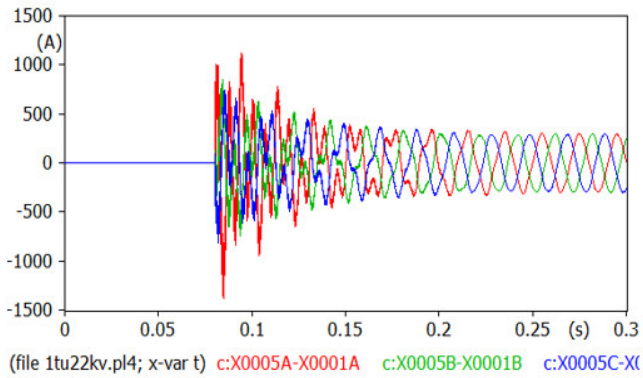
Mô phỏng được tiến hành khi mạng điện đang làm việc bình thường sau thời gian 0,08s (tương ứng với góc đóng 0°) đóng bộ tụ 1 vào lưới điện, kết quả mô phỏng

xác định điện áp trên thanh cái và trên tụ bù 1 được trình bày trên hình 8. Kết quả cho thấy trước thời điểm đóng tụ ($t = 0,08s$) điện áp trên thanh cái dao động ở chế độ xác lập. Sau khi đóng tụ 1 vào lưới trên thanh cái xuất hiện điện áp quá độ có trị số 147,9kV (gấp 1,64pu-pu đơn vị tương đối của điện áp), điện áp này lớn hơn điện áp cho phép trên thanh cái, mặc dù thời gian xuất hiện trong khoảng 0,01s, sau đó điện áp đạt xác lập với trị số 102,4kV (1,1pu). Kết quả mô phỏng xác định TRV của MC₁ và trên tụ bù 1 trình bày trên hình 9. Kết quả cho thấy khi đóng tụ bù 1 vào lưới, TRV trên MC₁ đều thấp hơn giá trị ngưỡng quy định so với tiêu chuẩn của máy cắt mà IEC quy định, nhưng dòng điện khởi động qua tụ lớn nhất có giá trị 1367A, lớn hơn dòng định mức của tụ 3,1 lần nên có thể gây hư hỏng tụ bù 1 khi đóng điện vào lưới.



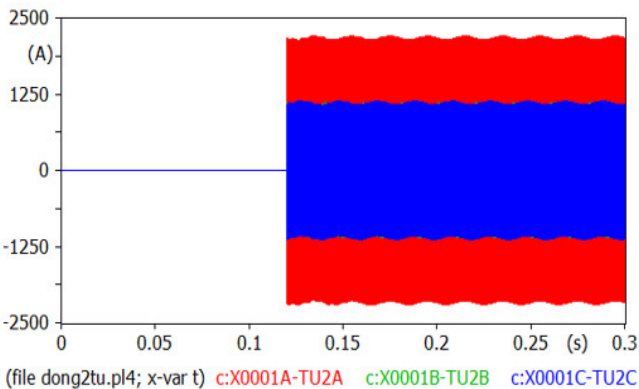
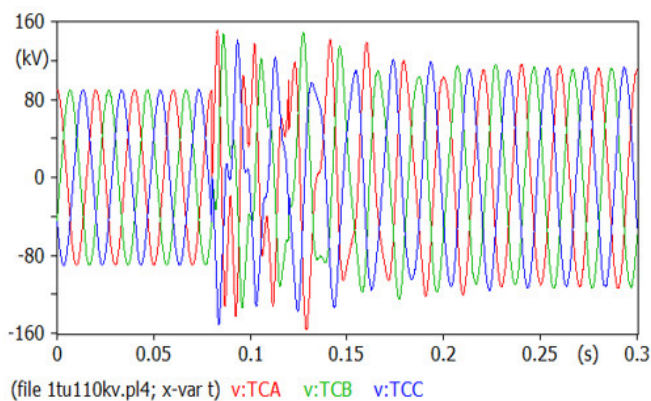
Hình 8. Điện áp trên thanh cái và trên tụ khi đóng tụ





Hình 9. TRV của MC1 và dòng điện qua tụ bù 1

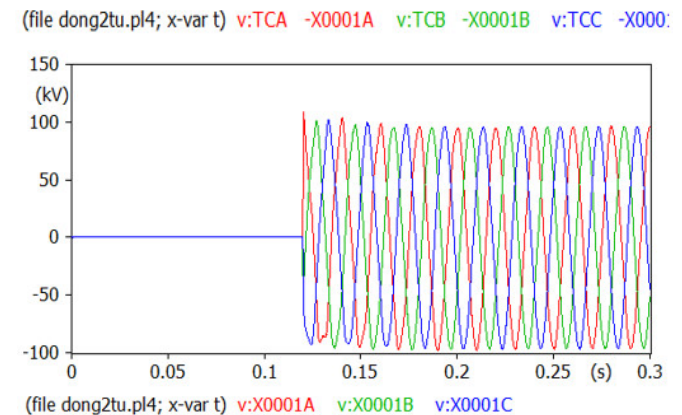
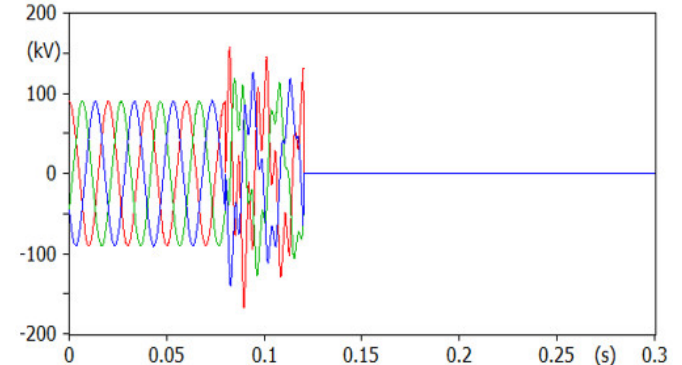
* Trường hợp đóng tụ song song (back to back)



Hình 10. Điện áp trên TC và dòng điện qua tụ bù 2 khi đóng tụ back to back

Để đánh giá mức độ quá độ khi đóng điện tụ bù ngang song song, tiến hành mô phỏng đóng bộ tụ thứ 2 sau khoảng thời gian 0,12s, trong khi bộ tụ 1 đã đóng vào lưới điện ở thời điểm 0,08s. Kết quả tính toán nhận thấy rằng mức độ quá áp khi đóng tụ bù ngang là nhỏ và đều thấp hơn ngưỡng quy định so với tiêu chuẩn của MC mà IEC quy định. Tuy nhiên mức độ quá dòng khi đóng bộ tụ 2 trong khi bộ tụ 1 đang đóng vào lưới là rất lớn (hình 10) gần 2500A, như vậy sẽ rất nguy hiểm cho cho bộ tụ. Do điện cảm nguồn L_s lớn hơn rất nhiều so với các điện dung ký sinh L_1 và L_2 nên thành phần dòng điện từ phía nguồn

nhỏ hơn rất nhiều so với thành phần dòng điện từ phía bộ tụ 1. TRV của MC₂ và dòng điện trên tụ 2 khi đóng tụ song song back to back đều có trị số dưới ngưỡng cho phép của MC, nên không gây nguy hiểm cho MC. Trong trường hợp đóng tụ song song back to back (hình 11), nhưng dòng điện trên tụ 2 có trị số rất lớn sẽ hay hư hỏng khi đóng cắt nhiều lần.



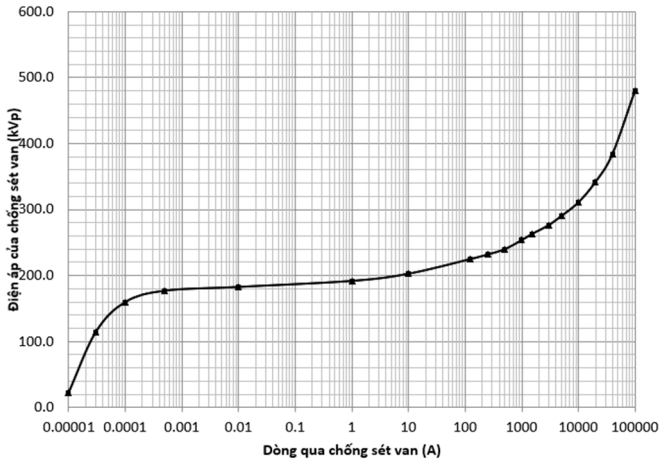
Hình 11. TRV của MC2 và điện áp trên tụ 2 khi đóng MC2

5. GIẢI PHÁP HẠN CHẾ QUÁ ĐIỆN ÁP KHI ĐÓNG CẮT TỤ BÙ

Các nghiên cứu đề xuất giải pháp để hạn chế quá điện áp khi đóng cắt tụ bù ngang để bảo vệ cho MC và cho bộ tụ bù hiện nay đang sử dụng đó là sử dụng điện trở đóng trước, lắp đặt cuộn kháng trước tụ bù, lắp đặt chống sét van song song với bộ tụ bù [7, 10], lắp đặt chống sét van song song với tiếp điểm của MC và điều khiển thời gian đóng cắt của MC. Mỗi giải pháp đều có những ưu nhược điểm. Trong phạm vi nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất giải pháp sử dụng CSV kết hợp với cuộn kháng và sử dụng MC có điều khiển thời điểm đóng cắt.

5.1. Sử dụng chống sét van và kháng

Sử dụng chống sét van (CSV) có điện áp định mức 96kV, điện áp làm việc liên tục 77kV, dòng điện phóng định mức 10kA, cấp bảo vệ 3, có đặc tính V-A như trên hình 12. Chống sét van được lắp đặt sau MC, cuộn kháng được lắp đặt trước tụ bù.



Hình 12. Đặc tính V-A của CSV

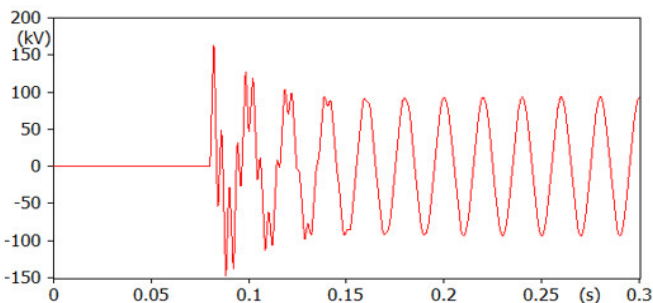
Thông số của kháng được cho ở bảng 3.

Bảng 3. Thông số của kháng cần dụ

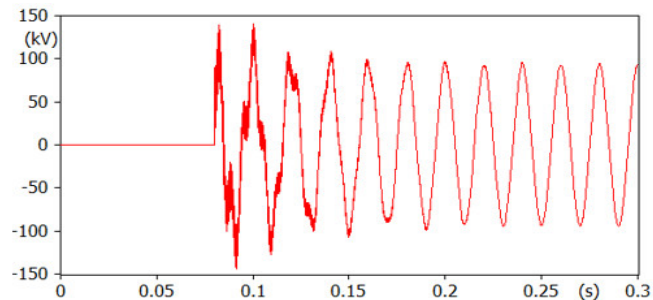
Thông số	Giá trị
Điện áp	123kV
Độ tự cảm	47,54mH
Điện trở kháng	14,930hm
Dòng điện	400A

* Trường hợp đóng tụ đơn

Kết quả mô phỏng cho thấy, khi lắp CSV kết hợp với cuộn kháng, điện áp quá độ trên thanh cái giảm đáng kể từ 168kV xuống chỉ còn 147kV so với trường hợp chưa có CSV và cuộn kháng (hình 13). Dòng điện qua tụ bù cũng giảm đáng kể từ 1500A xuống 900A (hình 14).

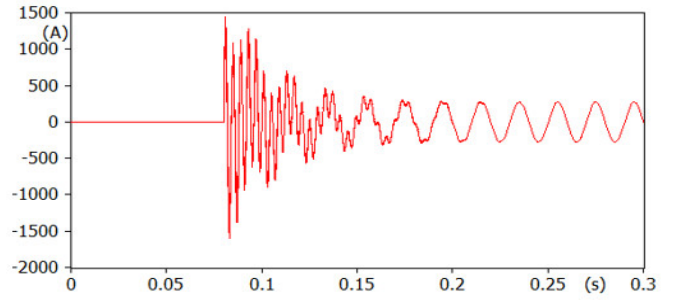


(file dongtuCSV.pl4; x-var t) v:X0007A

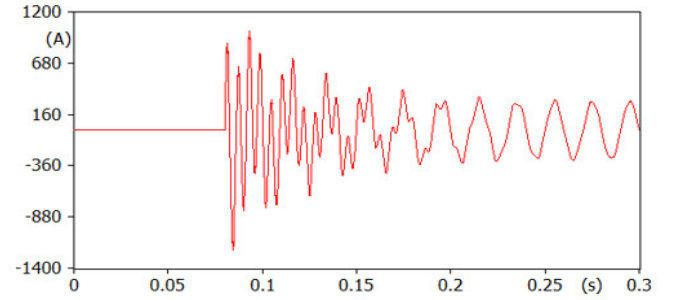


(file dongtuCSV.pl4; x-var t) v:X0005A

Hình 13. So sánh điện áp trên TC



(file dongtuCSV.pl4; x-var t) c:X0007A-X0003A

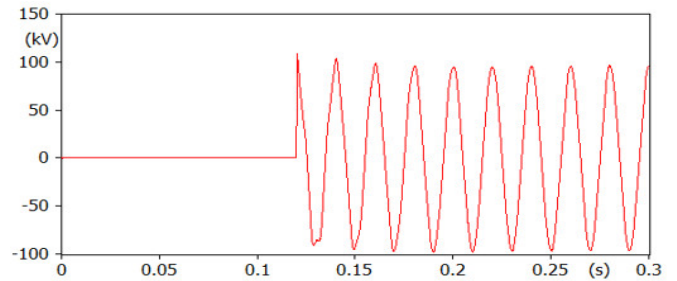


(file dongtuCSV.pl4; x-var t) c:X0005A-X0001A

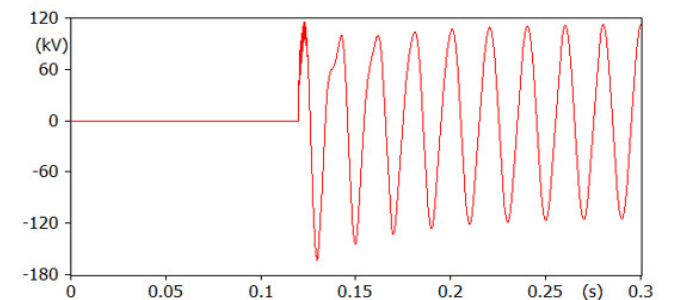
Hình 14. So sánh dòng điện qua tụ khi

Từ hình 13 và 14 có thể thấy điện áp quá độ và dòng điện quá độ trong trường hợp có đặt CSV và cuộn kháng nhỏ hơn trường hợp đóng tụ không có CSV và không có cuộn kháng.

* Trường hợp đóng tụ song song



(file dong2tuCSV.pl4; x-var t) v:X0003A

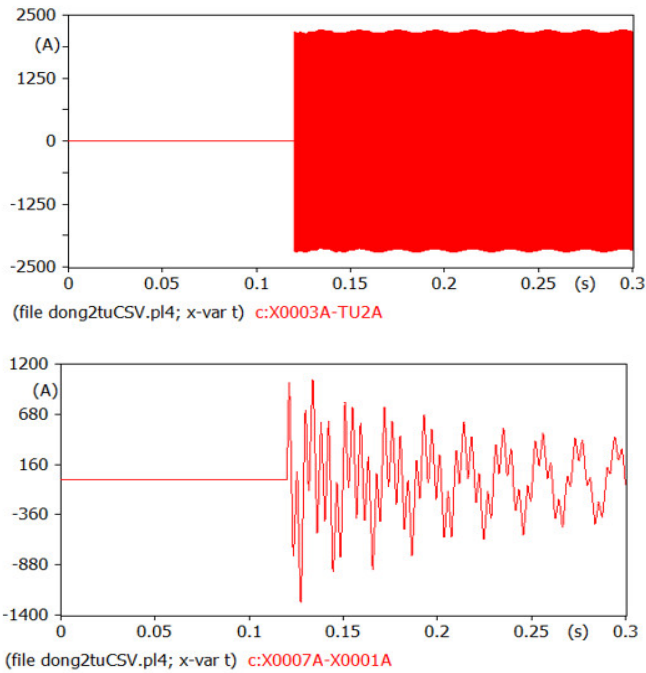


(file dong2tuCSV.pl4; x-var t) v:X0007A

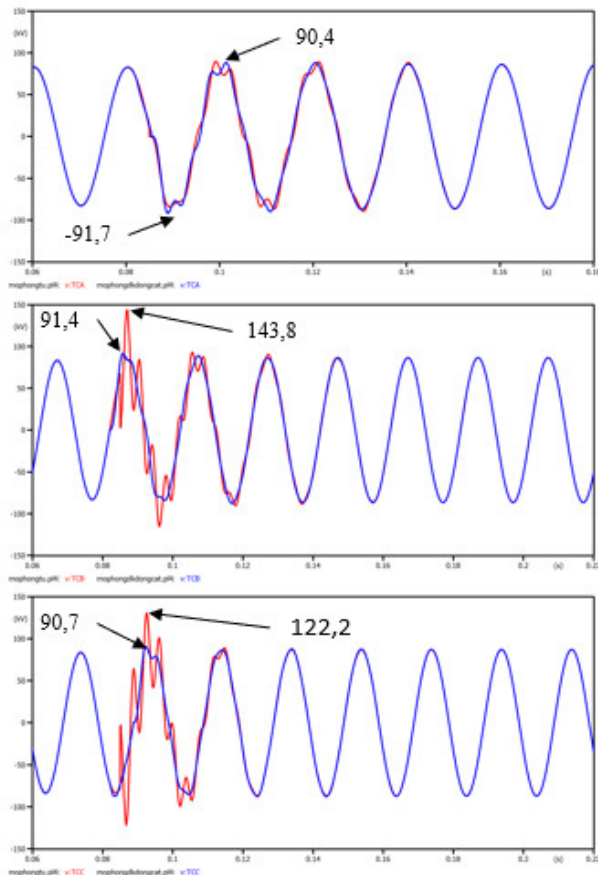
Hình 15. So sánh điện áp trên trên tụ 2

Kết quả mô phỏng cho thấy, cũng tương tự như trường hợp đóng tụ đơn, trường hợp đóng tụ song song khi lắp CSV kết hợp với cuộn kháng, điện áp quá độ trên tụ bù cũng không giảm so với trường hợp chưa có CSV và

cuộn kháng (hình 15). Nhưng dòng điện qua tụ bù giảm đáng kể từ 2350A xuống 950A (hình 16).



Hình 16. So sánh dòng điện qua tụ 2 khi đóng song song



Hình 17. So sánh dòng điện và điện áp quá độ khi không có và có điều khiển đóng cắt khi đóng tụ độc lập

5.2. Điều khiển đóng cắt tụ

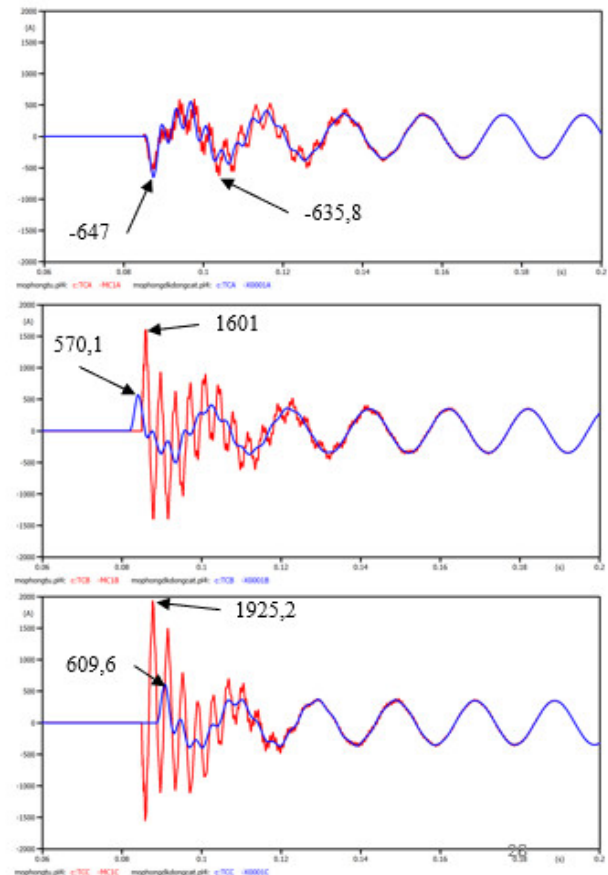
** Đóng tụ độc lập có điều khiển*

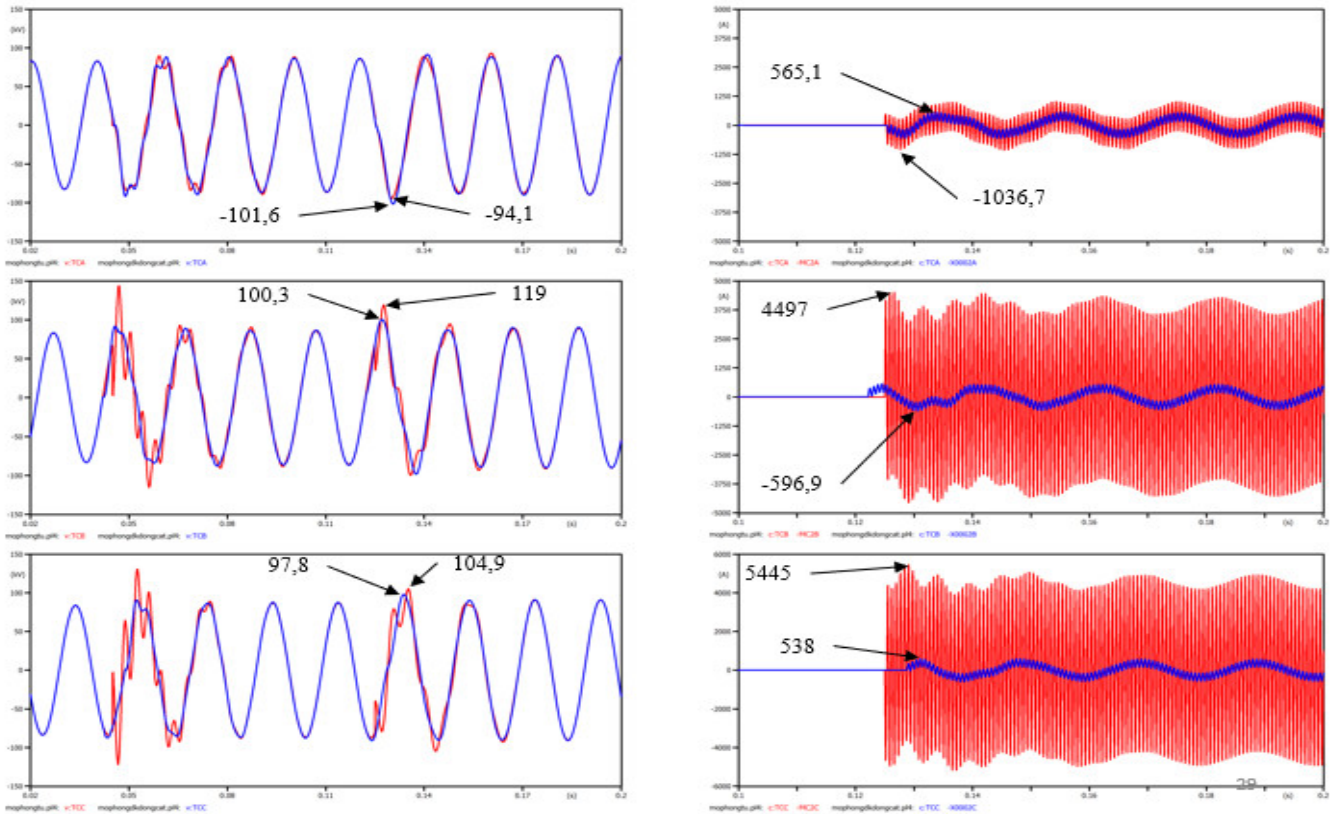
Từ mục 2 có thể thấy ở góc pha 0° khi đó điện áp nguồn bằng không nên quá điện áp là thấp nhất. Khi góc pha là 90° khi đó điện áp nguồn là lớn nhất nên quá điện áp là cao nhất. Vậy nên khi đóng cắt tụ có điều khiển từng pha sẽ chọn thời gian mà khi đó điện áp từng pha ở 90° bằng điện áp nguồn mà các pha lệch nhau 120° , vậy nên thời gian đóng của từng pha sẽ lệch nhau bằng 4.

Bảng 4. Thời gian đóng tụ của từng pha

Các pha	Thời gian đóng tụ
Pha A	0,085
Pha B	0,082
Pha C	0,088

Các pha sẽ đóng lệch nhau khoảng 3ms tương đương xấp xỉ với 1/6 chu kỳ so với pha A. Vì đây là thời gian gần nhất mà điện áp pha B, pha C về không nếu chờ sau khi đóng pha A một chu kỳ mới đóng pha B hoặc pha C thì sẽ gây quá điện áp lên pha A vừa đóng. Kết quả mô phỏng xác định điện áp quá độ và dòng điện khi có và không có điều khiển thời gian đóng cắt tụ trình bày trên hình 17.





Hình 18. So sánh dòng điện và điện áp quá độ khi không có và có điều khiển đóng cắt khi đóng tụ song song

Từ hình 17 cho thấy, ở pha B và pha C khi được điều khiển thời gian đóng riêng để có thể đóng tại góc 90° thì giá trị điện áp quá độ và dòng điện khởi động nhỏ hơn nhiều so với trường hợp đóng đồng thời cả ba pha theo pha A. Vì pha B và pha C lệch nhau 120° so với pha A nên khi trong trường hợp đóng đồng thời cả ba pha tại thời điểm góc pha A ở 90° , quá điện áp và dòng điện khởi động có giá trị lớn vẫn xuất hiện trên hai pha còn lại. Vậy việc điều khiển đóng độc lập các pha giúp hạn chế quá điện áp đồng thời đưa hệ thống về trạng thái xác lập nhanh hơn.

** Đóng tụ song song có điều khiển*

Từ hình 18 nhận thấy, điện áp quá độ được giảm đáng kể, gần với trạng thái xác lập. Dòng điện khởi động khi đóng tụ thứ hai giảm rất lớn so với đóng tụ thông thường và đồng thời làm giảm xung dao động. Thấy được việc sử dụng đóng có điều khiển thời gian là có hiệu quả giống với trường hợp đóng tụ độc lập.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã nêu ra hiện tượng quá độ khi đóng cắt tụ bù trên lưới điện phân phối, cụ thể là hiện tượng quá độ khi đóng cắt các bộ tụ trên thanh cái 110kV của trạm biến áp 220/110kV. Trị số điện áp phục hồi TRV và độ gia tăng điện áp phục hồi RRRV là hai tham số quan trọng để chọn

MC. Bài báo đã trình bày kết quả mô phỏng xác định điện áp quá độ trên thanh cái, trên tụ và dòng điện qua tụ khi đóng cắt tụ độc lập và khi đóng cắt tụ song song back to back. Kết quả tính toán TRV và RRRV trong trường hợp đóng cắt tụ độc lập và tụ song song cũng được xác định và đối chiếu với tiêu chuẩn của MC theo IEC62271-100.

Kết quả nghiên cứu cho thấy khi cắt tụ độc lập TRV có trị số tăng cao tới 2,1pu trong khi đóng tụ TRV tăng tới 1,64pu, mặc dù vẫn đảm bảo quy chuẩn của IEC62271-100. Nhưng RRRV trong trường hợp đóng tụ song song back to back có độ tăng cao trên $2kV/\mu s$ cần có giải pháp hạn chế. Dòng điện khởi động tụ bù 2 khi đóng song song cũng có trị số rất cao tới 2500A nên rất nguy hiểm cho tụ.

Kết quả mô phỏng cho thấy, sử dụng giải pháp lắp CSV kết hợp với cuộn kháng và giải pháp đóng cắt có điều khiển chọn thời điểm đóng cắt mang lại hiệu quả để giảm TRV của máy cắt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. EVNNPC, *Report on operation of condensers at transformer stations, current status and solutions*. Hanoi, Vietnam, 2023. (in Vietnamese)
 [2]. Olivier Guy, I. Mougharbel, G. Dobson-Mack, "Minimal transient switching of capacitors," *IEEE transactions on power delivery*, 8, 4, 1988-1994, 1993.

[3]. Cazacu Emil, "Peak inrush currents for multiple-step capacitor banks in automatic power factor correction," *Roumaine des Sciences Techniques Serie Electrotechnique et Energetique*, 57, 4, 1-9, 2012.

[4]. <https://aitcorp.com.vn/tin-tuc-2/hoan-thanh-dong-dien-du-an-lap-dat-tu-bu-tai-thanh-cai-tram-bien-ap-110kv-bac-a-n574.html>, ngày truy cập 10/06/2024.

[5]. Ministry of Industry and Trade, *Circular No. 39/2015/TT-BCT dated November 18, 2015 on electricity distribution system*. Hanoi, Vietnam, 2015. (in Vietnamese)

[6]. IEC62271-100, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers*, 2012.

[7]. IEEE Std 1036™-2010, *IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors*.

[8]. R. P. P. Smeets, et al, "The Impact of Switching Capacitor Banks with Very High Inrush Current on Switchgear," *Cigré session 2012 papers of study committee SC A3*, 2012.

[9]. ABB, *Medium voltage capacitor switching*. Technical application paper No.23

[10]. Becker G. W., et al, "Mitigation of transient recovery voltage issues associated with transmission capacitor banks," *IEEE PES General Meeting*, 1-6, 2010.

AUTHORS INFORMATION

Ninh Van Nam¹, Le Van Phu², Vu Huu Thich³

¹Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam

²Master student, Course 12 - Electrical Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam

³Vietnam - Japan Center, Hanoi University of Industry, Vietnam