

# NGHIÊN CỨU QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG ĐÓNG CẮT TRÊN LƯỚI ĐIỆN HẠ ÁP TẠI VIỆT NAM VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP HẠN CHẾ

RESEARCH SWITCHING OVERVOLTAGES IN LOW VOLTAGE NETWORKS IN VIET NAM AND PROPOSED LIMITED SOLUTIONS

Ninh Văn Nam<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Mạnh Quân<sup>1</sup>

## TÓM TẮT

Quá điện áp (QĐA) là một trong những nguyên nhân chủ yếu gây ra các sự cố nghiêm trọng trong hệ thống điện, QĐA xuất hiện có thể do sét đánh hoặc khi đóng cắt trong mạng lưới điện. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của QĐA đóng cắt trong mạng lưới điện hạ áp và đề xuất một số giải pháp nhằm hạn chế QĐA. Biên độ điện áp và hình dạng của sóng QĐA được xác định để đánh giá mức độ ảnh hưởng tới thiết bị sử dụng. Trị số QĐA phục hồi TRV (transient recovery voltage) và tốc độ gia tăng QĐA phục hồi RRRV (rate of rise of recovery voltage) cũng được xác định với mục đích giúp ích cho việc thiết kế, chế tạo, vận hành các thiết bị đóng cắt được an toàn và kinh tế. Đây là một vấn đề đang rất cần thiết cho các nhà sản xuất thiết bị đóng cắt ứng dụng trong hệ thống điện. Kết quả so sánh trị số QĐA trước và sau sử dụng các giải pháp được so sánh và đánh giá. Các kết quả nghiên cứu dựa trên cơ sở lý thuyết quá trình quá độ và phần mềm EMPT/ATP.

**Từ khóa:** Quá điện áp đóng cắt, quá điện áp phục hồi, lưới điện hạ áp, EMTP/ATP.

## ABSTRACT

Overvoltage is one of the main causes of serious problems in the power system, overvoltage may appear due to lightning strikes or switching off in the power network. This paper presents the results of research on the effect of switching overvoltage in low voltage network and proposes some solutions to limit overvoltage. The voltage amplitude and shape of the overvoltage were determined to evaluate the effect on the equipment used. In addition, the TRV (transient recovery voltage) and the rate of rise of recovery voltage (RRRV) are also determined for the purpose of designing, manufacturing and operating of the switchgear safely and economically. This is an issue that is urgently needed by manufacturers of switchgear applications in power systems. The results of comparing the overvoltage values before and after using the solutions are compared and evaluated. The research results are based on the theory of the transitional process and EMPT/ATP software.

**Keywords:** Switching overvoltage, transient recovery voltage, low voltage, EMTP/ATP.

<sup>1</sup>Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: ninhvannam@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/7/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/8/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/10/2021

## 1. GIỚI THIỆU

Yêu cầu về một lưới điện vận hành an toàn, tin cậy luôn là mục tiêu hàng đầu của các đơn vị quản lý vận hành trong đó bảo vệ chống QĐA là một trong những vấn đề cần quan tâm nhất. Nguyên nhân chủ yếu xuất hiện QĐA là do sét đánh hoặc do đóng cắt trong quá trình vận hành bởi các thiết bị đóng cắt gây ra. Từ số liệu thống kê cho thấy, sự cố do QĐA trên lưới điện truyền tải chiếm tới hơn 70% [1, 2], đối với lưới hạ áp chiếm tới 35% [3]. Chất lượng điện áp là một trong các chỉ tiêu về chất lượng điện năng, nếu điện áp đặt trên thiết bị sử dụng vượt quá 110% được gọi là QĐA [3]. Trên lưới điện hạ áp, hiện tượng QĐA xảy ra sẽ gây hư hỏng hoặc giảm tuổi thọ tới các thiết bị sử dụng điện đặc biệt là những thiết bị nhạy cảm với điện áp như: các thiết bị điện tử, các bo mạch vi xử lý, hệ thống mạng internet, hệ thống camera và các thiết bị chiếu sáng. Nếu trị số QĐA vượt quá mức cho phép sẽ gây phóng điện phá hủy cách điện của dây dẫn, động cơ điện hoặc nếu chưa đủ mức có thể gây phóng điện luôn nhưng nếu lâu dài sẽ dẫn tới giảm độ bền của cách điện gây từ đó gây hư hỏng cách điện.

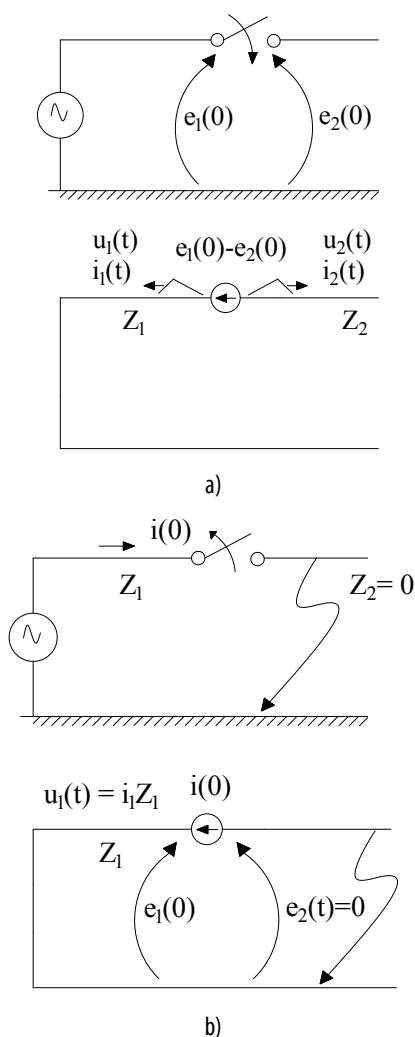
Đối với lưới điện cao áp vấn đề QĐA nói chung và QĐA đóng cắt luôn được quan tâm nghiên cứu [4, 5, 6], vì nếu QĐA xảy ra mà không có biện pháp giảm thiểu sẽ gây ra các sự cố ngắn mạch các máy cắt (MC) tác động làm gián đoạn hoặc gây mất điện cho khu vực rộng lớn, thậm chí có thể gây ra đã lưới toàn hệ thống điện. Theo [7, 8] QĐA đóng cắt trên các đường dây truyền tải điện áp cao trị số QĐA do đóng cắt có thể đạt tới (3-5) lần trị số điện áp định mức, sẽ gây phóng điện trên cách điện dẫn đến sự cố ngắn mạch. Do tính chất quan trọng của lưới điện này nên hầu hết các nghiên cứu hiện nay đều tập trung nghiên cứu QĐA cho cấp điện áp này. Trong khi đó, lưới điện hạ áp (0,22kV và 0,4kV) cấp điện trực tiếp cho thiết bị sử dụng, chất lượng điện áp của lưới điện sẽ ảnh hưởng tới việc sử dụng và độ bền của thiết bị. Do đó, yêu cầu về chất lượng điện áp cần phải được quan tâm nghiên cứu, nhưng đến nay các nghiên cứu về QĐA do đóng cắt ở cấp này hầu như chưa có công bố. Một trong những lý do nghiên cứu QĐA đóng cắt ở lưới hạ áp còn ít là bởi vì các đơn vị vận hành thường đẩy

về các nhà sản xuất tự nghiên cứu, tự tìm giải pháp bảo vệ QĐA khi chế tạo sản ra sản phẩm, bởi vì nếu xảy ra QĐA ở lưới điện này thì cũng ít ảnh hưởng tới sự vận hành hệ thống mà chỉ ảnh hưởng tới thiết bị sử dụng.

Bài báo này sẽ trình bày kết quả mô phỏng QĐA đóng cắt trong lưới điện hạ áp cho một mạng điện hạ áp làm ví dụ minh họa. Trị số biên độ QĐA khi xảy ra đóng cắt tại các vị trí phụ tải và dạng sóng điện áp được xác định và đối chiếu với tiêu chuẩn hiện hành để đánh giá. Trị số quá điện áp phục hồi TRV và tốc độ gia tăng RRRV của thiết bị đóng cắt cũng được xác định để làm cơ sở sản xuất và lựa chọn thiết bị đóng cắt phù hợp. Đề xuất giải pháp hạn chế QĐA bằng phương pháp việc kéo dài thời gian sự cố hoặc lắp điện trở phi tuyến được tính toán mô phỏng. Các kết quả nghiên cứu dựa trên cơ sở lý thuyết quá trình quá độ và phần mềm mô phỏng EMTP/ATP.

**2. QUÁ ĐIỆN ÁP ĐÓNG CẮT**

Hiện tượng QĐA gây ra bởi đóng hoặc cắt thiết bị đóng cắt tương tự như việc chèn tức thì một điện áp có giá trị  $\{u_1(0)-u_2(0)\}$  vào giữa hai tiếp điểm của thiết bị đóng cắt (hình 1).



Hình 1. Mô hình thay thế khi đóng (a) và khi cắt (hình b) của thiết bị đóng cắt

Trong trường hợp đơn giản điện áp và dòng điện hai phía của thiết bị đóng cắt xác định như công thức (1) và (2):

$$u_1(t) = Z_1 i_1(t) = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \{e_1(0) - e_2(0)\} \tag{1}$$

$$u_2(t) = Z_2 i_2(t) = \frac{-Z_2}{Z_1 + Z_2} \{e_1(0) - e_2(0)\}$$

$$i_1(t) = \frac{1}{Z_1 + Z_2} \{e_1(0) - e_2(0)\} \tag{2}$$

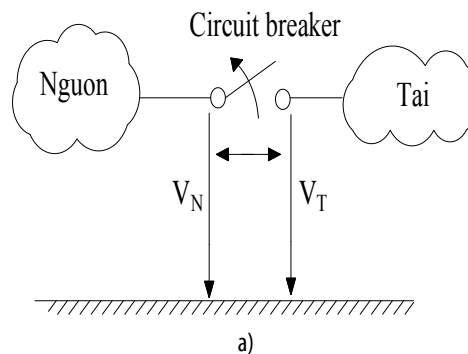
$$i_2(t) = \frac{-1}{Z_1 + Z_2} \{e_1(0) - e_2(0)\}$$

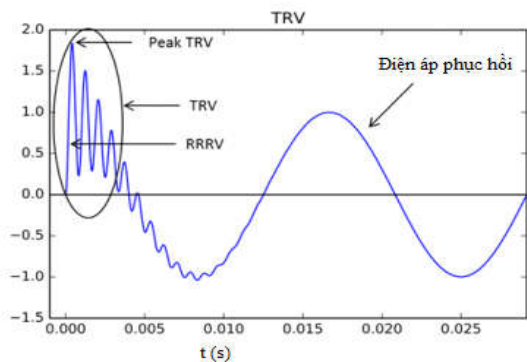
Trong đó:  $e_1(0), e_2(0)$  nguồn điện áp hai phía của thiết bị đóng cắt tại thời điểm trước khi đóng cắt,  $Z_1$  và  $Z_2$  tổng trở của dây dẫn hai phía nối với thiết bị đóng cắt.

QĐA đóng cắt ở mạng điện áp thấp phụ thuộc vào việc đóng cắt phụ tải công suất lớn hay nhỏ, đóng cắt các tụ bù hay đóng cắt máy biến áp và vị trí của thiết bị đóng cắt là xa hay gần. Các tham số của QĐA được xác định đó là biên độ, độ gia tăng và thời gian tồn tại QĐA trong mạng điện.

**3. QUÁ ĐIỆN ÁP PHỤC HỒI**

Điện áp phục hồi (RV: Recovery voltage) trong các thiết bị đóng cắt (như máy cắt, dao cách ly, attomat) là điện áp xuất hiện giữa hai đầu cực của thiết bị đóng cắt khi cắt sự cố (hình 2). Điện áp này được xét trong hai khoảng thời gian liên tiếp đó là khoảng thời gian thoát 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 công nguồn (hình 3) [9, 10]. Sự phản ứng của lưới điện đến dòng cắt là nguyên nhân sinh ra TRV (Transient recovery voltage). 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 thiết bị đóng cắt một cách an toàn và kinh tế. Đối với các đường dây cấp điện áp cao áp hoặc siêu cao áp giá thành của thiết bị đóng cắt (MC) rất lớn nên việc xác định TRV có ý nghĩa quan trọng việc lựa chọn MC đảm bảo an toàn và kinh tế. Còn ở cấp điện áp thấp việc xác định TRV ít quan trọng hơn so với ở lưới điện cao áp hoặc siêu cao áp nhưng cũng nên được xác định để lựa chọn các thiết bị đóng cắt phù hợp. Có nhiều nguyên nhân dẫn đến mức TRV cao xuất hiện trên MC như: Cắt ngắn mạch, cắt đường dây không tải, cắt đột ngột dòng tải, đóng cắt tụ bù....





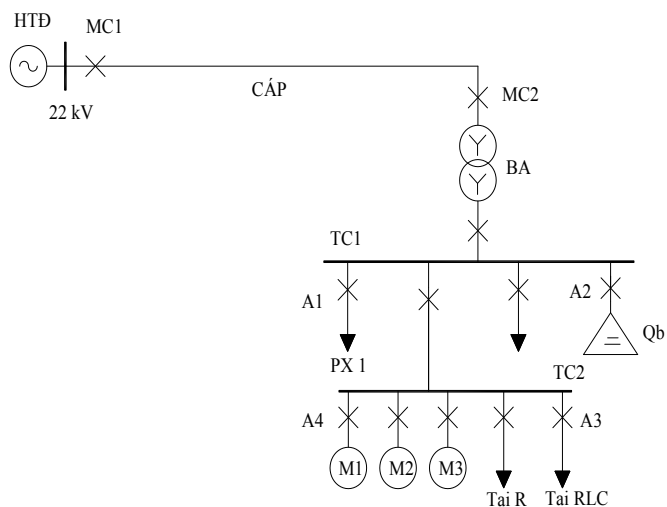
b)

Hình 2. Mô hình khi cắt mạch điện (a) và dạng sóng điện áp phục hồi (b)

Giá trị TRV ngoài phụ thuộc vào chế độ phụ tải, loại tải mà còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố ngẫu nhiên khác như: cắt sự cố, cắt không tải, các dạng sự cố ngắn mạch, vị trí sự cố, thời điểm mở các cực của tiếp điểm của thiết bị đóng cắt và chế độ vận hành của mạng lưới điện. Do vậy, để có thể tìm ra được giá trị TRV lớn nhất, cần phải tính toán với các chế độ phụ tải khác nhau và các dạng sự cố khác nhau. Do giá trị TRV phụ thuộc thời điểm sự cố cũng như thời điểm mở các cực của thiết bị đóng cắt. Vì vậy, khi tính toán giá trị TRV nhất thiết phải tính đến sự phân bố xác suất của các thời điểm này. Phần mềm EMTP/ATP cho phép mô phỏng xác suất thời điểm sự cố và thời điểm mở các cực tiếp xúc của thiết bị đóng cắt được thực hiện bằng các khoá xác suất [11].

**4. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU**

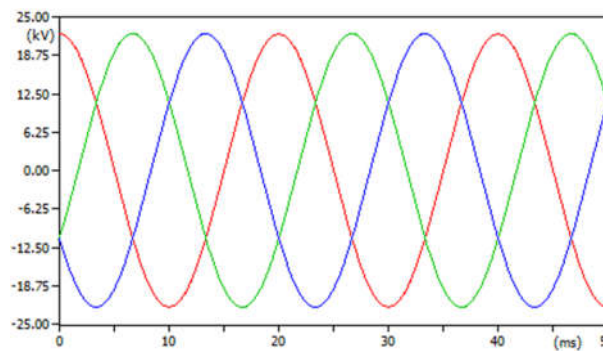
Mạng điện phân phối 22kV cấp điện cho một đối tượng phụ tải gồm các phân xưởng (PX) 1 và 2 và các máy động lực (M) và các phụ tải điện trở (R) và phụ tải tổng hợp (RLC). Các thiết bị đóng cắt phía 22kV gồm có 2 máy cắt (MC), phía hạ áp 0,4kV là các attomat (A). Đường dây cáp trung áp sử dụng loại dây XLPE/Cu/PVC-50, đường dây cáp cấp cho các tải sử dụng loại dây cáp có tiết diện XLPE/Cu/PVC-120. Bộ tụ bù công suất phản kháng gồm 6 cấp, mỗi cấp 25kVar.



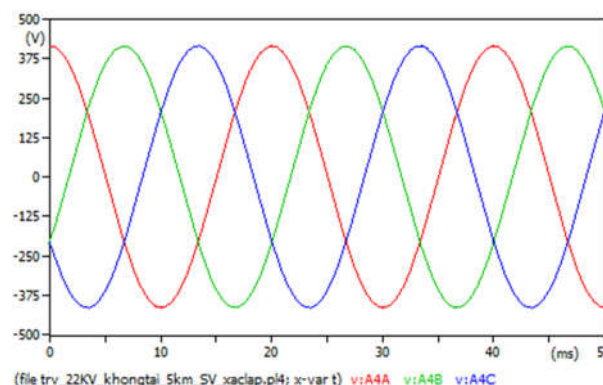
Hình 3. Sơ đồ mạng điện trong mô phỏng xác định QĐA đóng cắt

**5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG BẰNG PHẦN MỀM EMTP/ATP**

**5.1. Ở chế độ xác lập**



Hình 4. Dạng sóng điện áp ở chế độ xác lập cuối đường dây 22kV



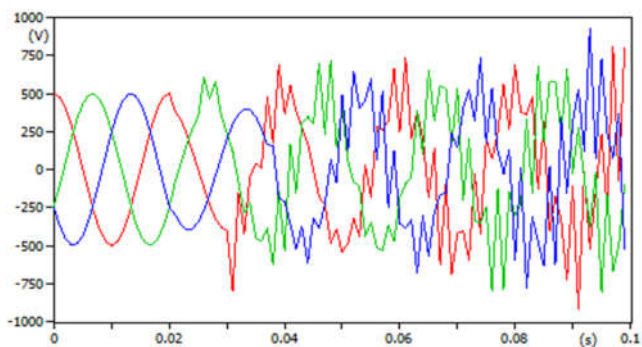
Hình 5. Dạng sóng điện áp ở chế độ xác lập tại thanh cái 0,4kV

Trường hợp này tất cả các thiết bị đóng cắt (MC phía 22kV và attomat phía 0,4kV) đã đóng và lưới điện vận hành bình thường, điện áp tại cuối đường dây 22kV và điện áp trên thanh cái 1 của tải (TC1) trình bày trên hình 4 và 5. Từ kết quả mô phỏng nhận thấy biên độ điện áp 3 pha bằng nhau và bằng giá trị biên độ điện áp định mức. Vậy trong chế độ làm việc bình thường, không có quá trình quá độ xảy ra, trong mạng điện không xuất hiện QĐA.

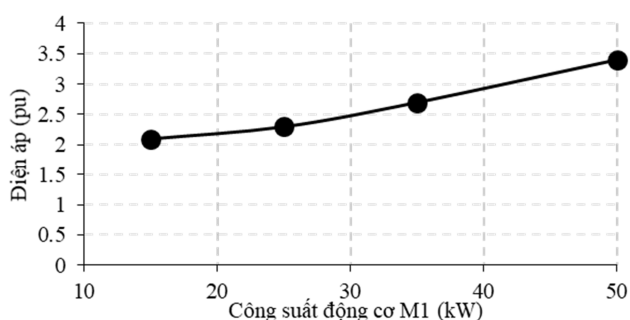
**5.2. Khi đóng động cơ M1 vào lưới điện**

Mô phỏng với trường hợp đóng attomat A4 của động cơ M1 với công suất 15kW vào lưới điện, dạng sóng điện áp trên thanh cái 2 (TC2) trình bày trên hình 6. Kết quả mô phỏng cho thấy, ở thời điểm đầu mạng điện đang làm việc ở chế độ xác lập, sau 30ms đóng động cơ M1 vào lưới, trong mạng điện xuất hiện quá trình quá độ điện áp trên TC2 tăng cao tới hơn 2,3 lần trị số điện áp xác lập (912V), điều này có thể gây nguy hiểm cho các thiết bị khác. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy khi động cơ M1 có công suất tăng lên, QĐA trên TC2 cũng tăng lên (hình 7), cụ thể khi công suất động cơ M1 có công suất tăng lên 25kW trị số QĐA so với điện áp định mức tăng 2,3 lần, khi công suất tăng lên 50kW trị số QĐA so với điện áp định mức tăng tới 3,4 lần. Rõ ràng sự gia tăng QĐA này rất lớn so với điện áp định mức, mặc dù thời gian tồn tại QĐA này không lớn (60ms) nhưng nếu xảy ra liên tục, nhiều lần, QĐA này sẽ gây nguy hiểm cho các thiết bị điện. Điện áp trên hai đầu cực

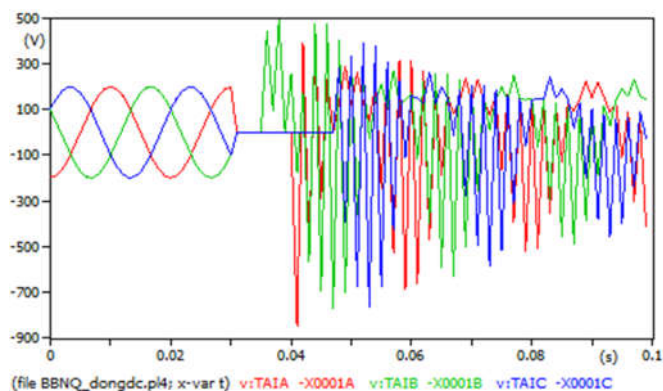
attomat A4 trình bày trên hình 8 cho thấy khi đóng trị số TRV đạt 2,1pu trị số điện áp xác lập (pu - đơn vị tương đối của điện áp) và RRRV đạt 2,3V/ms.



Hình 6. Điện áp trên TC2 khi đóng M1

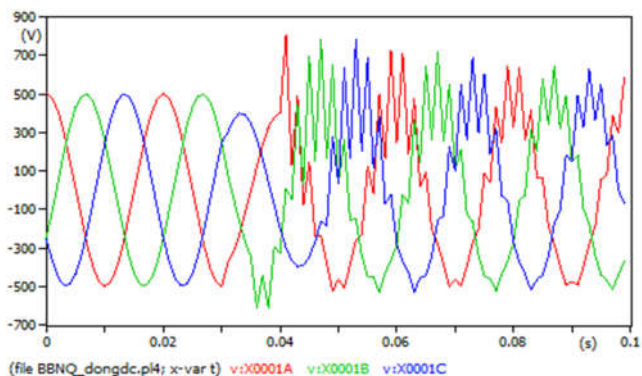


Hình 7. Mức tăng điện áp theo công suất động cơ



Hình 8. Dạng sóng TRV 3 pha của attomat A4

### 5.3. Khi cắt động cơ M1 ra khỏi lưới điện

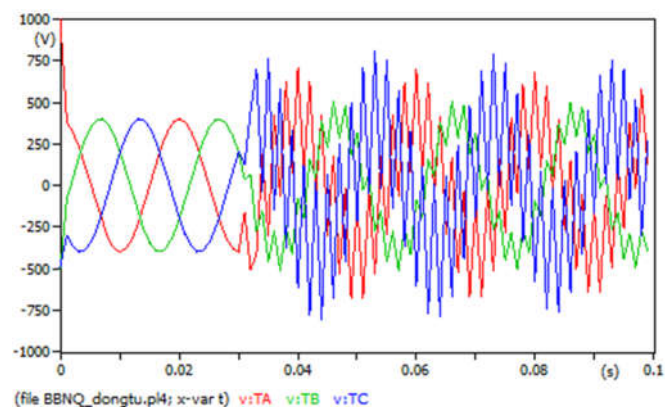


Hình 9. Điện áp trên TC2 khi cắt M1

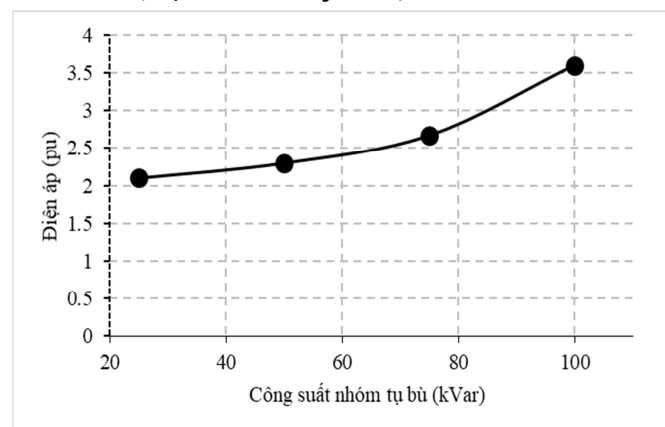
Khi cắt attomat A4 để cắt động cơ M1 ra khỏi lưới điện. Kết quả điện áp trên thanh cái 2 (TC2) trình bày trên hình 9. Kết quả mô phỏng cho thấy trên TC2 xuất hiện QĐA trị số điện áp trên TC2 tăng cao tới 2,1 lần trị số điện áp xác lập (840V).

### 5.4. Mô phỏng đóng tụ bù trên lưới điện hạ áp

Để nâng cao hệ số công suất, các phụ tải có hệ số công suất nhỏ hơn hệ số công suất mà ngành điện lực yêu cầu ( $\cos\phi_{yc} = 0,9$ ) sẽ lắp đặt các nhóm tụ bù. Mô phỏng với trường hợp đóng nhóm tụ bù 25kVar vào TC1 của mạng điện hạ áp, nhóm tụ bù này được đóng vào TC1 tại thời điểm điện áp pha A đạt cực đại. Kết quả mô phỏng điện áp trên TC1 (hình 10) đạt gần 2 lần trị số điện áp trong chế độ xác lập. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy nhóm tụ bù có công suất tăng lên, QĐA trên TC1 cũng tăng lên (hình 11), cụ thể khi nhóm tụ bù có công suất là 25kVar trị số QĐA so với điện áp định mức tăng 2,1 lần, khi nhóm tụ bù có công suất là 100kVar trị số QĐA so với điện áp định mức tăng tới 3,6 lần trị số QĐA.



Hình 10. Điện áp trên TC1 khi đóng nhóm tụ bù 25kVar vào TC1

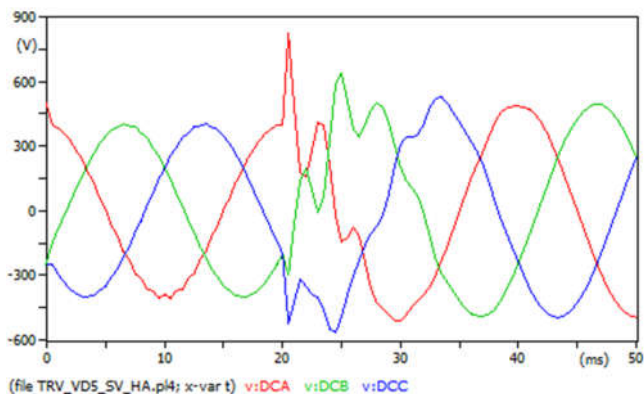


Hình 11. Mức tăng điện áp theo công suất nhóm tụ bù

### 5.5. Mô phỏng đóng nhánh phụ tải RLC vào lưới điện

Trong trường hợp này, mạng điện đang làm việc bình thường đóng thêm một nhánh phụ tải RLC vào TC2 tại thời điểm điện áp đạt cực đại ( $t = 20ms$ ). Kết quả mô phỏng điện áp trên TC2 trình bày trên hình 12 cho thấy điện áp trên TC2 trong quá trình quá độ khi đóng nhánh phụ tải RLC đạt gần 2 lần trị số điện áp trong chế độ xác lập. Điện

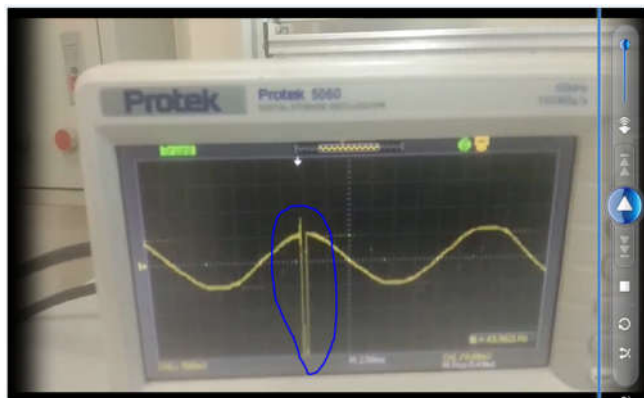
áp tại TC2 chỉ trở về giá trị bình thường sau thời điểm 50ms, tức là sau khoảng hơn 2 chu kỳ.



Hình 12. Điện áp tại TC2 khi đóng nhóm phụ tải RLC

### 5.6. Kết quả đo kiểm chứng với thực nghiệm

Tiến hành thực nghiệm với sơ đồ mạng điện như ở hình 3, khi cắt động cơ M1 ra khỏi lưới điện. Kết quả đo sóng điện áp một pha tại TC2 trình bày trong hình 13. Kết quả cho thấy, khi cắt động cơ M1, điện áp trên TC2 xuất hiện dao động điện áp, xung điện áp tăng gấp 2,3 lần điện áp định mức, thời gian tồn tại của xung điện áp này khoảng 30ms trong khi đó kết quả mô phỏng ở trường hợp này (hình 9) trị số xung điện áp tăng 2,1 lần so với định mức và thời gian tồn tại của xung điện áp này khoảng 20ms. Như vậy kết quả thực nghiệm và mô phỏng cho kết quả tương đồng nhau.



Hình 13. Kết quả đo sóng điện áp trên TC2 khi cắt động cơ M1

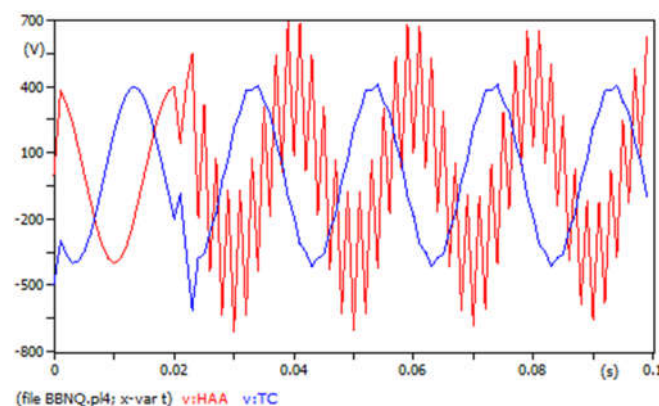
### 5.7. Một số phương pháp hạn chế giá trị quá điện áp khi đóng cắt

Trước khi đề ra các phương pháp giảm QĐA khi xảy ra đóng cắt, cần chú ý đến các yếu tố có thể ảnh hưởng đến giá trị quá điện áp gồm có: Các yếu tố ngẫu nhiên: loại sự cố, vị trí sự cố và thời điểm đóng/cắt MC hoặc attomat; các yếu tố biết trước chủ yếu là các yếu tố liên quan đến các phần tử trên mạng điện có ảnh hưởng đến giá trị QĐA như: đặc điểm phụ tải điện, công suất các động cơ, đường dây, máy biến áp, các bộ tụ bù. Hiện nay, tại Việt Nam đã có một số phương pháp hạn chế QĐA đóng cắt đã được công bố trên đường dây 500kV [6]. Các phương pháp này đều nhằm tới việc tác động làm thay đổi các yếu tố ảnh hưởng đến giá

trị QĐA nhưng chủ yếu cho mạng điện có điện áp cao từ 110kV trở lên. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất hai giải pháp chính đó là: kéo dài thời gian loại trừ sự cố và lắp đặt các thiết bị nhằm hạn chế QĐA.

#### a) Giải pháp kéo dài thời gian loại trừ sự cố

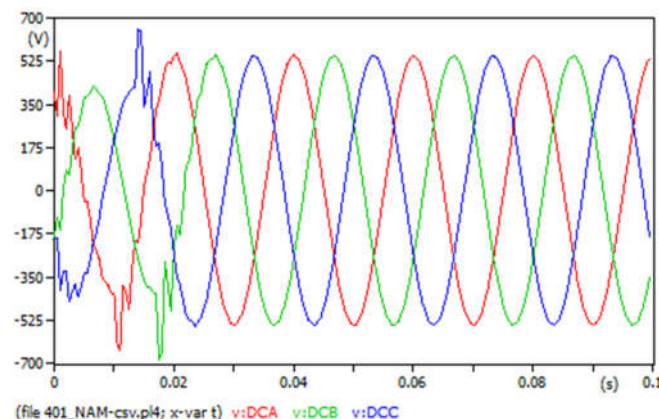
Kết quả mô phỏng ở hình 14 cho thấy khi kéo dài thời gian đóng từ 20ms lên 60ms, trị số QĐA giảm từ 2,1 lần xuống 1,6 lần trị số điện áp xác lập. Mặc dù ở lưới điện hạ áp không quy định thời gian loại trừ sự cố, nhưng nếu thời gian sự cố được kéo dài thì trị số QĐA giảm xuống, dẫn đến ít ảnh hưởng nguy hiểm hơn cho với các thiết bị khác. Phương pháp này có nhược điểm là kéo dài thời gian sự cố thì các thiết bị phải chịu được dòng hồ quang xuất hiện lâu hơn.



Hình 14. Sóng điện áp trên TC2 trước và sau khi sử dụng giải pháp kéo dài thời gian sự cố

#### b) Lắp đặt thêm các thiết bị hạn chế QĐA

Mô phỏng cho trường hợp lắp 1 bộ điện trở phi tuyến, ở chế độ bình thường điện áp đặt lên điện trở phi tuyến nhỏ, do tính chất của vật liệu điện trở sẽ rất lớn ngăn không cho dòng điện đi qua khi đó thiết bị đóng vai trò như một vật liệu cách điện, khi xuất hiện QĐA điện trở phi tuyến giảm xuống lúc này QĐA một phần xả qua điện trở xuống đất, khi hết QĐA điện trở phi tuyến này lại trở về đặc tính ban đầu. Kết quả mô phỏng QĐA tại cuối đường dây khi lắp một điện trở phi tuyến tại TC2 khi đóng M1 vào lưới thể hiện trên hình 15.



Hình 15. Điện áp trên TC2 khi sử dụng giải pháp lắp bộ điện trở phi tuyến

Kết quả mô phỏng cho thấy so với trường hợp chưa có giải pháp (kết quả mô phỏng ở hình 6) trị số QĐA giảm từ 2,3 lần xuống 1,5 lần trị số điện áp xác lập (400V), ngoài ra giải pháp này dạng sóng điện áp đã trơn chu sin chuẩn hơn sau 20ms gần một chu kỳ.

## 6. KẾT LUẬN

Các công trình nghiên cứu về QĐA và TRV hiện nay đều ứng dụng trên mạng lưới điện có cấp điện áp cao, trong khi mạng lưới điện hạ áp cung cấp trực tiếp cho thiết bị sử dụng hầu như chưa được nghiên cứu. Ở mạng điện hạ áp, khi đóng cắt sẽ xuất hiện trị số QĐA, trị số này quá lớn sẽ làm hư hỏng và giảm tuổi thọ cho các thiết bị sử dụng. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi đóng hoặc cắt các động cơ, phụ tải RLC hoặc đóng cắt các nhóm tụ bù đều gây ra QĐA, trị số QĐA lớn nhất có thể tới 3 - 5 lần trị số xác lập (từ 1200 V tới 2000V), mặc dù thời gian tồn tại QĐA không lớn (60ms) nhưng vẫn có thể gây nguy hiểm cho thiết bị sử dụng. Trong đóng cắt các động cơ, đóng cắt các nhóm tải thì việc đóng cắt nhóm tụ bù gây ra QĐA lớn nhất tới 4 - 6 lần trị số điện áp xác lập. Do vậy, khi đóng cắt các nhóm tụ bù nhất thiết phải có thiết bị hạn chế QĐA đi kèm. Trong khi đó thực tế hầu hết các đơn vị lắp đặt tụ bù đều bỏ qua việc này. Ở lưới điện hạ áp trị số QĐA phục hồi TRV và tốc độ gia tăng RRRV của thiết bị đóng cắt khi đóng cắt có trị số không cao, TRV đạt 2,1pu và RRRV đạt 2,3V/ms, nhưng cũng nên được xác định để làm cơ sở sản xuất và lựa chọn thiết bị đóng cắt phù hợp an toàn và kinh tế.

Kết quả áp dụng một số phương pháp hạn chế trị số QĐA cho thấy, việc kéo dài thời gian loại trừ sự cố từ từ 20ms lên 60ms đem lại hiệu quả tốt trong việc hạn chế độ lớn của QĐA (tới 23%). Trong đó, phương pháp bộ điện trở phi tuyến là phương pháp đem lại hiệu quả tốt có thể hạn chế giá trị QĐA được 35%. Trong một số trường hợp khi giá trị QĐA quá lớn, có thể phải áp dụng đồng thời nhiều phương pháp khác nhau.

## LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin trân thành cảm ơn Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường năm 2021 mã số 13-2021-RD/HĐ-ĐHCNHN.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. EVNNPT, 2018. Document No. 1858/EVNNPT-KT dated May 31, 2018 on reporting the situation fault images and solutions to reduce incidents of 220kV and 500kV lines due to lightning.
- [2]. pmis.npt.evn.vn
- [3]. Ministry of Industry and Trade, 2015. Circular No. 39/2015/TT-BCT dated November 18, 2015 on regulations on electricity distribution system.
- [4]. Ninh Van Nam, Nguyen Xuan Phuc, 2017. Application of surge arrester reduce outage rate by lightning on transmission line. Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry, No. 38, pp.16-165.

[5]. Pham Hong Thinh et al., 2016. Research on solutions to reduce incidents caused by lightning on the transmission line 220kV Thanh Thuy - Ha Giang - Tuyen Quang - Yen Bai - Thai Nguyen. The National Power Transmission Corporation (EVNNPT).

[6]. Tran Vinh Tinh, Luong Huu Nhan, 2010. A research on methods to reduce recovery voltage on 500kV Da Nang - Thanh My - Pleiku transmission line. Journal of Science and Technology-The University of Danang No. 4(39).

[7]. Keokhoungning, T. Premrudeeprechacharn, 2009. Switching overvoltage analysis of 500 kV transmission line between Nam Theun 2 and Roi Et 2. Int. Conf. on Asia-Pacific Power and Energy Engineering, Tokyo, Japan, 2009, pp. 1-6.

[8]. Cervantes M., Kocar I., Montenegro A., Goldsworthy D., Tobin T., Mahseredjian J., Ramos R., Marti J.R., Noda T., Ametani A., Martin C., 2018. Simulation of switching overvoltages and validation with field tests. IEEE Trans. Power Deliv, 33, (6), pp. 2884-2893.

[9]. IEEE std C37.011™ - 2011. IEEE Guide for the Application of Transient recovery Voltage for AC High voltage circuit breakers.

[10]. CIGRE, C4/B5.41, 2017. Transient Recovery Voltage (TRV) and Rate of Rise of Recovery. Voltage (RRRV) of Line Circuit Breakers in Over Compensated Transmission Lines.

[11]. H.W. Dommel, 1986. ElectroMagnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book), Bonneville Power Administration, Portland.

## AUTHORS INFORMATION

**Ninh Van Nam, Nguyen Manh Quan**

Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry