

GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU QUÁ ĐIỆN ÁP NỘI BỘ CHO ĐƯỜNG DÂY VÀ TRẠM BIẾN ÁP 220 kV: MỘT TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU

SOLUTION TO MITIGATE THE SWITCHING OVERVOLTAGE FOR 220 kV OVERHEAD LINE AND SUBSTATION: A CASE STUDY

Võ Tiến Dũng*

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: tdungtmv@gmail.com

(Nhận bài / Received: 28/1/2024; Sửa bài / Revised: 10/8/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 26/8/2024)

Tóm tắt - Bài viết này nhằm mục đích đưa ra giải pháp giảm thiểu quá áp nội bộ cho đường dây trên không 220 kV và trạm biến áp. Bài báo trình bày kết quả mô phỏng EMTP hiện tượng quá áp chuyển mạch trên trạm biến áp và đường dây 220 kV nối từ nhà máy thủy điện Bản Vẽ qua trạm biến áp Đô Lương đến trạm biến áp Hưng Đông. Các nguyên nhân chính dẫn đến quá điện áp đóng cắt do đóng cắt đường dây 220 kV không tải, đóng tụ bù và đóng máy biến áp không tải được nghiên cứu và mô phỏng để đánh giá các ảnh hưởng đến sự vận hành hệ thống điện. Đối với những trường hợp gây quá áp nội bộ nghiêm trọng, tác giả đề xuất giải pháp giảm thiểu. Các giải pháp này được kiểm chứng thông qua mô phỏng bằng phần mềm EMTP. Các kết quả mô phỏng được trình bày rõ ràng cho thấy, giải pháp đề xuất có thể giảm giá trị đỉnh của quá điện áp nội bộ với độ chính xác hợp lý.

Từ khóa - Phần mềm EMTP; quá điện áp nội bộ; đóng tụ bù; đường dây trên không; trạm biến áp.

1. Đặt vấn đề

Duy trì điện áp ổn định là một trong những yêu cầu cơ bản để đảm bảo chất lượng điện năng của hệ thống điện. Điện áp thấp quá mức có thể gây nên độ trượt quá lớn ở các động cơ không đồng bộ, dẫn đến quá tải về công suất phản kháng ở các nguồn điện. Điện áp thấp cũng làm giảm hiệu quả phát sáng của các đèn chiếu sáng, và là nguyên nhân của các thiết bị điện tử, thiết bị dân dụng không làm việc. Trong hệ thống điện, điện áp thấp làm giảm khả năng truyền tải của đường dây, tăng tổn thất công suất truyền tải trên đường dây. Với máy biến áp, điện áp thấp ảnh hưởng đến khả năng ổn định của máy biến áp làm việc song song. Điện áp tăng cao có thể làm già cỗi cách điện, giảm tuổi thọ thiết bị điện và là nguyên nhân đánh thủng cách điện, làm hư hỏng thiết bị. Điện áp tăng cao cũng ảnh hưởng đến chế độ làm việc của hầu hết các thiết bị điện.

Trong quá trình vận hành lưới điện, một trong những vấn đề đặc biệt được quan tâm là hiện tượng quá điện áp nội bộ trên các phân tử của lưới điện [1- 8]. Quá điện áp trong hệ thống điện là hiện tượng điện áp trong toàn hệ thống hoặc một bộ phận của hệ thống tăng lên cao hơn trị số điện áp định mức của một hoặc nhiều phân tử trong đó. Quá điện áp nội bộ về cơ bản có liên quan tới cấu trúc vận hành và các tham số khác của hệ thống điện, nó xuất hiện chủ yếu trong quá trình thực hiện các thao tác đóng cắt hoặc do các sự cố. Trong lưới điện người ta phân biệt các quá điện áp nội bộ khác nhau theo các nguyên nhân gây

Abstract - This article presents a solution to mitigate the switching overvoltage for the 220 kV overhead line and substation. This article presents the results of the EMTP simulation of the switching overvoltage phenomenon on the substation and the 220 kV overhead line connecting from Ban Ve hydroelectric plant through Do Luong substation to Hung Dong substation. The main causes leading to switching overvoltage due to switching on the 220 kV overhead line without loads, closing capacitors and closing on transformers are investigated and simulated to evaluate these effects on the operation of the power system. In instances where serious switching overvoltage occurs, the author suggests solutions for mitigation. These solutions are verified through simulation using EMTP software. The simulated results presented clearly show that, the proposed solution can reduce the peak values of switching overvoltages with reasonable accuracy.

Key words - EMTP software; switching overvoltage; closing capacitors; overhead line; substation.

ra chúng, quá điện áp nội bộ được chia làm hai nhóm: Quá điện áp quá độ và quá điện áp trạng thái.

Quá điện áp quá độ hay còn gọi là quá điện áp thao tác vì quá trình gắn liền với các thao tác đóng cắt, chuyển mạch lưới điện. Quá điện áp này sinh ra do các dao động tự do năng lượng điện từ trong các thành phần điện cảm và điện dung của lưới ở các quá trình quá độ khác nhau. Một số nguyên nhân phổ biến bao gồm: đóng cắt đường dây truyền tải, đóng cắt tụ bù, cắt dòng điện cảm nhỏ (máy biến áp không tải, cuộn kháng), đóng cắt phụ tải lớn, cắt các sự cố ngắn mạch, ... Quá điện áp duy trì (hay còn gọi là quá điện áp trạng thái) được sinh ra khi có những trạng thái xấu trong lưới điện như tăng điện dung các máy phát, xuất hiện các điều kiện cộng hưởng hoặc cộng hưởng sắt từ... Quá điện áp duy trì còn được gọi là quá điện áp tĩnh, quá điện áp duy trì có thể tồn tại trong một thời gian dài, khi nào điện dung máy phát chưa giảm hoặc chưa thay đổi các điều kiện mà ở đó xuất hiện cộng hưởng hay cộng hưởng sắt từ.

Trước khi đi vào vận hành trạm biến áp, đường dây truyền tải cần kiểm tra một số trường hợp là nguyên nhân của quá điện áp nội bộ. Việc thử nghiệm thực tế có thể gây nguy hiểm và tốn kém nên trước hết cần tính toán, mô phỏng. Trên cơ sở kết quả mô phỏng để tìm kiếm giải pháp giảm thiểu quá điện áp. Hiện nay, có nhiều giải pháp chống lại hiện tượng quá điện áp nội bộ, chẳng hạn trong các tài liệu [3 -8], tuy nhiên làm thế nào để vận dụng các giải pháp đó trong các trường hợp cụ thể cho bài toán kinh tế - kỹ thuật

¹ Vinh University of Technology Education, Vietnam (Vo Tien Dung)

vấn cần các nghiên cứu cụ thể. Trong bài viết này, tác giả tiến hành khảo sát, mô phỏng một số hiện tượng quá điện áp nội bộ xảy ra trong trạm biến áp và trên đường dây 220 kV nối từ nhà máy thủy điện Bản Vẽ qua trạm biến áp Đô Lương tới trạm biến áp Hưng Đông. Tiếp đến tác giả đề xuất giải pháp hạn chế quá điện áp nội bộ cho các trường hợp nghiêm trọng và mô phỏng kiểm chứng trên phần mềm EMTP.

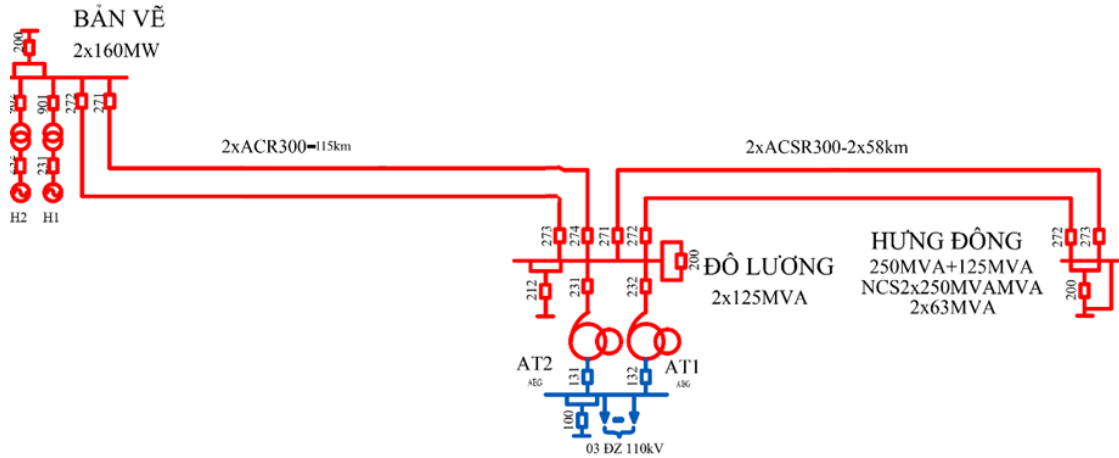
2. Mô phỏng một số nguyên nhân xuất hiện quá điện áp nội bộ trên đường dây và trạm biến áp 220 kV

2.1. Đối tượng nghiên cứu

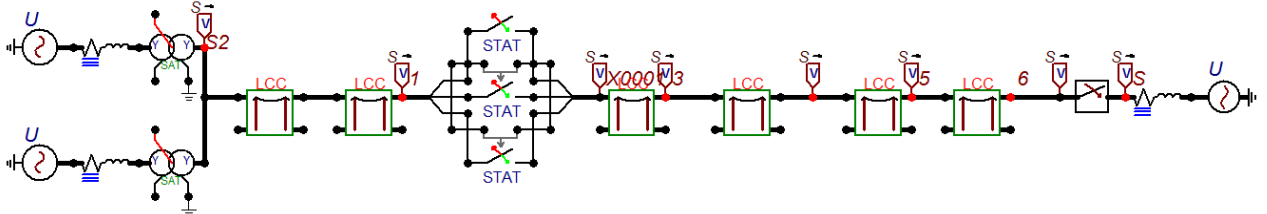
Để nghiên cứu hiện tượng quá điện áp nội bộ, đối tượng được lựa chọn để tiến hành khảo sát, mô phỏng là đường

dây 220 kV nối từ nhà máy thủy điện Bản Vẽ kết nối với trạm biến áp Đô Lương và trạm biến áp Hưng Đông. Sơ đồ lấy từ lưới điện quốc gia 2020 (Hình 1) [9, 10]. Quá trình khảo sát thông số của máy phát, máy biến áp, đường dây, cột được mô hình hóa và mô phỏng bằng phần mềm EMTP [11]. Sơ đồ mô phỏng thể hiện trong Hình 2.

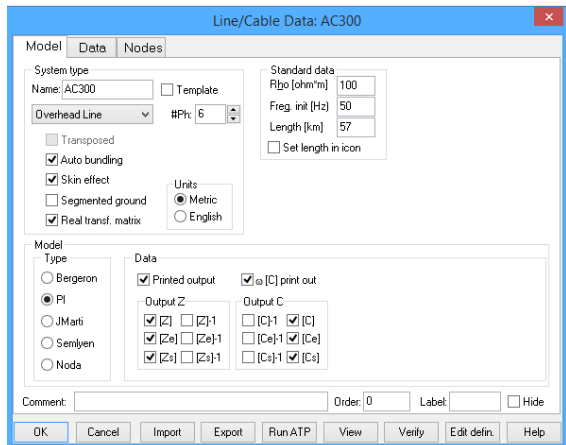
Hình 3 thể hiện mô hình đường dây trên không mô phỏng cho quá trình quá độ, việc thay thế bằng sơ đồ tính R-L-C là chưa chính xác, thay vào đó cần khảo sát kết cấu cột, loại dây dẫn thì khi mô phỏng quá trình quá độ mới chính xác được. Phần mềm EMTP cung cấp giải pháp bằng sử dụng module LCC với nhiều lựa chọn và có xét đến hiệu ứng bề mặt cũng như cấu trúc cột (Hình 3) và vật liệu dây dẫn.



Hình 1. Sơ đồ đường dây 220 kV nối từ thủy điện Bản Vẽ- TBA Đô Lương- TBA Hưng Đông [1]



Hình 2. Sơ đồ mô phỏng hiện tượng đóng cắt đường dây không tải trên phần mềm EMTP

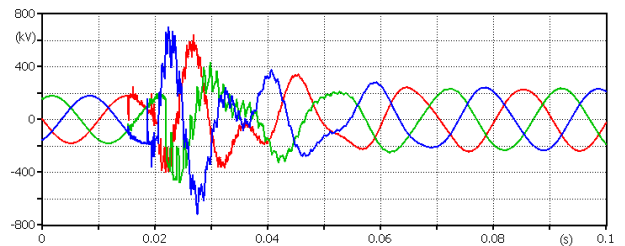


Hình 3. Mô hình đường dây 220 kV bằng module LCC trên EMTP

2.2. Mô phỏng quá điện áp nội bộ khi đóng không tải đường dây

Giả sử rằng khi nhà máy thủy điện Bản Vẽ làm việc, đóng vào lưới 220 kV nối trực tiếp với trạm biến áp Hưng Đông chưa kết nối với phụ tải. Lúc này đường dây có

khoảng cách tương đối dài (173 km), khi đóng máy cắt phía nguồn sẽ tạo nên hiện tượng quá điện áp cuối đường dây. Đề khảo sát mức độ quá điện áp, sơ đồ mô phỏng hiện tượng đóng cắt đường dây không tải trên phần mềm EMTP thể hiện trên Hình 2.



Hình 4. Kết quả mô phỏng điện áp cuối đường dây khi đóng đường dây không tải trên phần mềm EMTP

Giả sử rằng, máy cắt cuối đường dây 220 kV đóng vào tại thời điểm 0,02 giây. Kết quả mô phỏng điện áp cuối đường dây thể hiện trên Hình 4. Khi đóng không tải đường dây 220 kV, do đường dây tương đối dài nên xuất hiện quá điện áp, tùy thuộc vào thời điểm đóng máy cắt mà biên độ điện áp các pha có thể thay đổi. Như kết quả mô phỏng cho

thấy, điện áp cuối đường dây có thể tăng hơn 3,5 lần điện áp định mức, mặc dù chỉ diễn ra trong thời gian ngắn (khoảng 1 chu kỳ). Điều này ảnh hưởng đến tuổi thọ làm việc của đường dây vì dự trữ cách điện (trong thời gian ngắn) chỉ từ 2,5 đến 3 lần điện áp định mức.

2.3. Mô phỏng quá điện áp khi đóng tụ bù

Đến nay (năm 2023) trên đường dây đang khảo sát chưa có tụ bù, tuy nhiên trong nghiên cứu ta có thể đặt vấn đề rằng để nâng cao chất lượng điện áp có thể sử dụng tụ bù đặt tại trạm biến áp Đô Lương. Do đó, có thể khảo sát ảnh hưởng của đóng tụ lên điện áp lưới bằng cách mô phỏng trên phần mềm EMTP. Giả sử rằng đường dây đang mang tải 180 + j120 MVA làm cho điện áp phía 220 kV tại trạm sụt giảm, để nâng điện áp đóng tụ bù có dung lượng 100 MVA. Cần khảo sát sự ảnh hưởng của quá trình đóng tụ đến điện áp lưới.

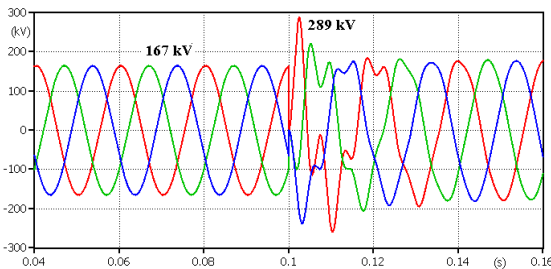
Thông số tụ bù:

$$Q_{dm} = 100 \text{ MVar}$$

$$U_{dm} = 220 \text{ kV}$$

Tụ điện tương đương có thông số:

$$X = \frac{U_d^2}{Q_{dm}} = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow C = \frac{Q_{dm}}{U_d^2 \cdot \omega} = \frac{100}{220^2 \cdot 314} = 6,6(\mu F)$$



Hình 5. Kết quả mô phỏng điện áp phía 220kV trạm biến áp Đô Lương trước và sau khi đóng tụ

Điện áp phía cao áp trạm biến áp nhà máy thủy điện Bản Vẽ là 225 kV, đường dây có tải nên điện áp cuối đường dây chỉ còn 205 kV (điện áp pha có đỉnh là 167 tương ứng với điện áp dây $167 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 205$), giảm 7%. Mô phỏng hệ thống điện

làm việc ổn định, tại thời điểm 0,1 giây, đóng tụ bù để nâng cao điện áp nút. Kết quả mô phỏng cho biết dạng của điện áp cuối đường dây, chỗ nối với tụ (Hình 5). Sau khi đóng tụ, điện áp đầu đường dây tăng lên 219 kV. Kết quả mô phỏng cho thấy, điện áp cuối đường dây có thể dâng cao, cao hơn 1,7 lần (đỉnh điện áp pha là 289 kV so với bình thường là 167 kV) điện áp định mức và kéo dài 1-2 chu kỳ.

2.4. Mô phỏng quá điện áp khi đóng máy biến áp không tải

Máy biến áp đang sử dụng hiện nay ở Trạm biến áp Đô Lương có công suất 125 MVA là MBA tự ngẫu chỉ sử dụng 2 phía điện áp 220 kV và 110kV, thông số cho dưới đây [10]:

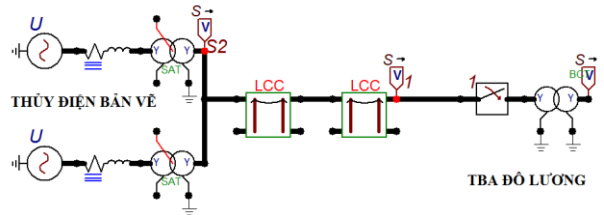
$$S_{dm} = 125 \text{ MVA}; 225/115 (121)/23 (10,5) \text{ kV};$$

$$P_0 = 40 \text{ kW}; P_N = 260 \text{ kW}; u_N = 11\%;$$

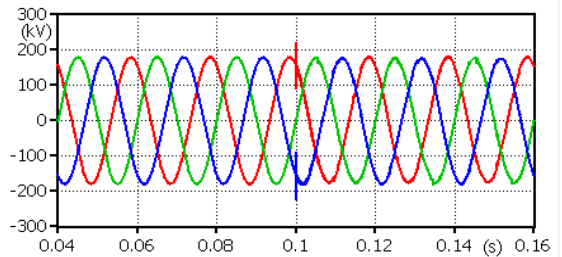
Tổ đấu dây: YNa0 d11, khoảng điều chỉnh: $\pm 8 \times 1,25\%$.

Đóng không tải máy biến áp cũng là một nguyên nhân gây ra quá điện áp nội bộ, dù rằng không lớn như các trường hợp khác. Để khảo sát quá điện áp do đóng máy biến áp không tải, tác giả mô phỏng quá trình quá độ khi đóng máy biến áp không tải cho sơ đồ gồm nhà máy thủy điện Bản Vẽ

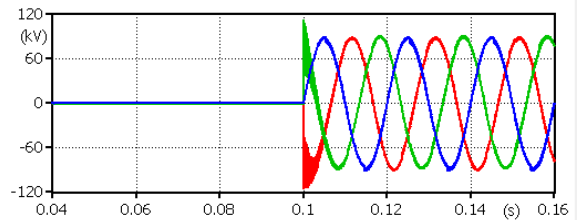
kết nối với đường dây trên không 220 kV cung cấp cho trạm biến áp Đô Lương với máy biến áp 125 MVA (dữ liệu lấy từ trạm biến áp thực, thông tin cho trong Bảng 1). Hiện nay, máy biến áp này làm việc như máy biến áp có hai cấp điện áp 220/110kV, phía hạ áp để hở mạch. Mô phỏng thực hiện với quá trình đóng máy cắt nối với máy biến áp không tải tại thời điểm 0,1 giây. Kết quả thể hiện trên Hình 7, 8.



Hình 6. Sơ đồ mô phỏng đóng máy biến áp không tải 220 kV tại trạm biến áp Đô Lương



Hình 7. Điện áp cuối đường dây khi đóng máy biến áp không tải tại trạm biến áp Đô Lương



Hình 8. Điện áp ở phía thứ cấp máy biến áp khi đóng máy biến áp không tải tại trạm biến áp Đô Lương

Mặc dù, hiện tượng quá điện áp nội bộ xuất hiện khi đóng máy cắt không tải, nhưng trong trường hợp đối tượng đang khảo sát là đường dây 220 kV nối từ nhà máy thủy điện Bản Vẽ đến trạm biến áp Đô Lương, mặc dù có dao động trong hai chu kỳ nhưng điện áp cả phía sơ cấp và thứ cấp tăng không đáng kể (Hình 7, 8).

Như vậy, từ kết quả mô phỏng cho thấy, quá điện áp do đóng máy biến áp không tải là không đáng kể, không gây nguy hiểm đến thiết bị cũng như chế độ vận hành, quá điện áp do đóng tụ bù trên đường dây 220 kV tương đối lớn (tăng hơn 1,5 lần điện áp định mức) và quá điện áp do đóng đường dây dài là nghiêm trọng nhất, có thể cao gấp hơn 3 lần điện áp định mức. Do đó, cần có giải pháp để giảm thiểu hiện tượng quá điện áp do hai nguyên nhân trên.

3. Đề xuất một số giải pháp hạn chế quá điện áp nội bộ

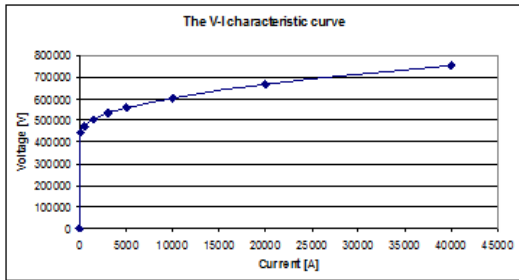
3.1. Giải pháp hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng đường dây không tải

Trong các nghiên cứu được công bố [3-8], các phương pháp hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng đường dây không tải chủ yếu hai giải pháp: 1) sử dụng chống sét van (CSV) và 2) điều khiển thiết bị đóng cắt. Mặc dù giải pháp 2 cho

kết quả (chứng minh qua mô phỏng) tốt hơn nhưng thực hiện rất phức tạp trong khi giải pháp 1 thực hiện đơn giản và tiết kiệm chi phí.

Để giảm điện áp do đóng cắt đường dây đầu vào trạm Hưng Đông, giải pháp kinh tế nhất là sử dụng CSV đặt dọc theo đường dây [5-10]. Nó có hai tác dụng: Bảo vệ chống sét lan truyền trên đường dây; và giảm quá điện áp nội bộ do thao tác trên đường dây (trong đó bao gồm thao tác đóng cắt máy cắt).

Tuy nhiên, việc lựa chọn loại CSV và vị trí đặt sẽ quyết định hiệu quả của giải pháp mà ta sẽ xem xét trong nghiên cứu này. Với đường dây 220kV, tác giả đề xuất sử dụng loại CSV AZG2 với thông số cung cấp bởi nhà sản xuất [12] có đặc tính cho trên Hình 9. CSV này được mô hình hóa và mô phỏng trên module MOV trong EMTP [12, 13].



Hình 9. Đường cong đặc tính Vôn-Ampe của CSV AZG2 [12]

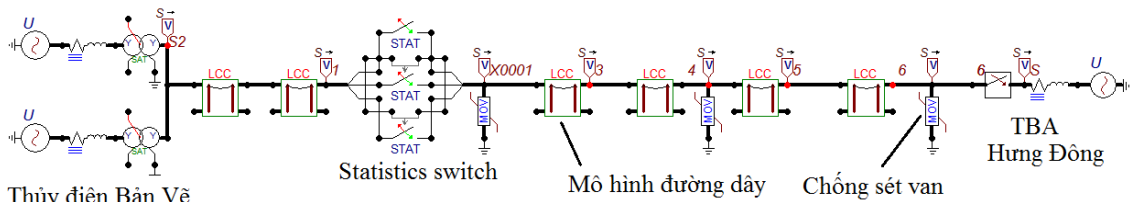
Khi đóng cắt máy cắt cuối đường dây có thể gây nên quá điện áp mà điện áp đỉnh phụ thuộc vào cấu trúc của lưới và thời điểm đóng/cắt. Do đó, các nghiên cứu về thống kê chuyển mạch được sử dụng để xác định quá điện áp dọc theo đường dây. Có ba trường hợp nghiên cứu:

Phương án 1: Sử dụng ba bộ CSV đặt ở đầu, ở giữa và ở cuối đường dây.

Phương án 2: Sử dụng hai bộ CSV đặt ở đầu và ở cuối đường dây.

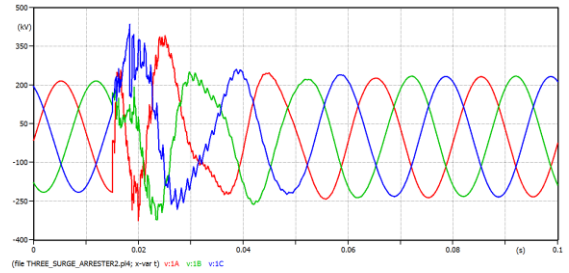
Phương án 3: Sử dụng một bộ CSV đặt ở cuối đường dây.

Xây dựng mô hình mô phỏng trên phần mềm EMTP thể hiện trên Hình 10. Để đơn giản cho quá trình xử lý, giảm khối lượng tính toán cho phần mềm, chỉ mô phỏng các phần tử chính trên lưới, bao gồm máy phát, máy biến áp, đường dây và CSV. Riêng đường dây được chia nhỏ thành nhiều mô hình nối tiếp, mục đích là để đo điện áp tại các điểm dọc theo đường dây. Phần tử quan trọng nhất sử dụng trong mô hình là module *Statistic switch* [11], đây là module sử dụng với mục đích thống kê các khả năng có thể xảy ra trong đóng cắt máy cắt, nó được xây dựng theo Gaussian-type, tuân theo phân phối Gauss hay còn gọi là phân phối chuẩn (Normal Distribution) là phân phối xác suất được sử dụng trong nhiều lĩnh vực [11]. Module dùng để tính xác suất các khả năng điện áp tăng cao do đóng cắt ở cuối đường dây, trước trạm biến áp Hưng Đông. Chỉ có phần

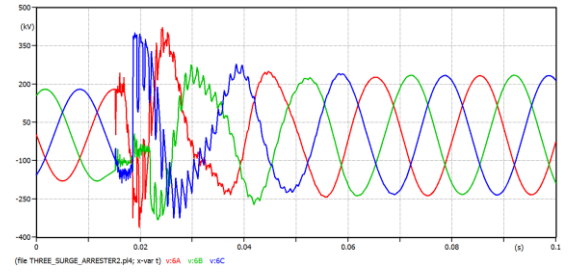


Hình 10. Mô phỏng phương án 1 bằng phần mềm EMTP- Sử dụng ba bộ CSV đặt ở đầu, ở giữa và ở cuối đường dây

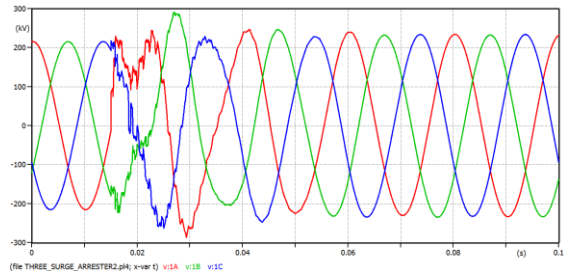
mềm EMTP mới có module với chức năng này. Điện áp các nút được đặt để đo dọc theo đường dây.



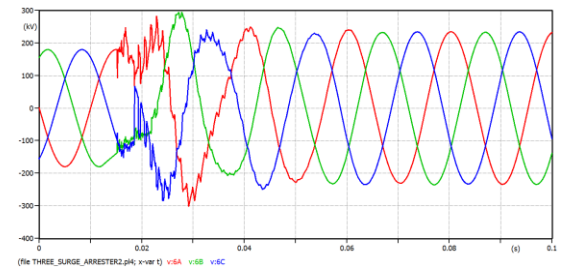
Hình 11. Kết quả mô phỏng phương án 1 khi góc pha A ban đầu 90^0 - Điện áp đầu đường dây



Hình 12. Kết quả mô phỏng phương án 1 khi góc pha A ban đầu 90^0 - Điện áp cuối đường dây



Hình 13. Kết quả mô phỏng phương án 1 khi góc pha A ban đầu 0^0 - Điện áp đầu đường dây



Hình 14. Kết quả mô phỏng phương án 1 khi góc pha A ban đầu 0^0 - Điện áp cuối đường dây

Quá trình mô phỏng điện áp các điểm dọc đường dây khi đóng máy cắt tại thời điểm 0,01 giây. Do hiện tượng quá điện áp còn phụ thuộc vào đỉnh của điện áp nên giá định đo trong hai trường hợp: góc pha (pha A) ban đầu là 0 và 90^0 . Kết quả mô phỏng dạng sóng điện áp khi góc pha A ban đầu là 90^0 thể hiện trên Hình 11, 12, 13 và 14.

Quan sát biến thiên điện áp cho thấy, điện áp dao động cả về biên độ và tần số và tăng lên đáng kể, quá điện áp nặng nề hơn khi góc pha ban đầu là 90°. Điện áp đỉnh tại các điểm đo thay đổi phụ thuộc nhiều yếu tố, trong đó có tính đến thời điểm đóng máy cắt đường dây, Module

Statistic switch cung cấp dữ liệu về xác suất điện áp đỉnh có thể đạt đến, cung cấp thông tin qua LIS- file trong phần mềm EMTP (Hình 15). Quan sát kết mô phỏng trên Hình 15 cho thấy, xác suất cao nhất là điện áp cuối đường dây sẽ tăng 2,2- 2,25 lần khi đóng máy cắt đầu đường dây (trùng ứng với 14%), xác suất điện áp tăng 2,5 lần là 2%.

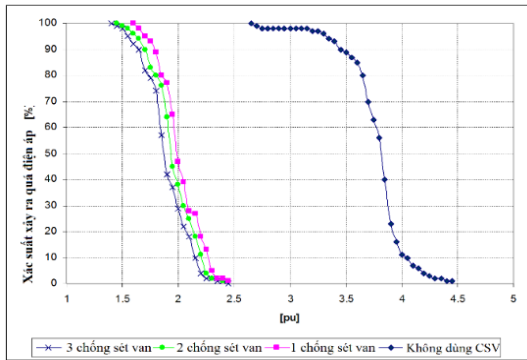
Statistical distribution of peak voltage at node "1A ". The base voltage for per unit printout is V-base = 1.79629000E+05

Interval number	voltage in per unit	voltage in physical units	Frequency (density)	Cumulative Frequency	Per cent current value
26	1.3000000	2.33517700E+05	0	0	100.000000
27	1.3500000	2.42499150E+05	1	1	99.000000
28	1.4000000	2.51480600E+05	2	3	97.000000
29	1.4500000	2.60462050E+05	3	6	94.000000
30	1.5000000	2.69443500E+05	5	11	89.000000
31	1.5500000	2.78424950E+05	1	12	88.000000
32	1.6000000	2.87406400E+05	5	17	83.000000
33	1.6500000	2.96387850E+05	11	28	72.000000
34	1.7000000	3.05369300E+05	4	32	68.000000
35	1.7500000	3.14350750E+05	4	36	64.000000
36	1.8000000	3.23332200E+05	2	38	62.000000
37	1.8500000	3.32313650E+05	1	39	61.000000
38	1.9000000	3.41295100E+05	0	39	61.000000
39	1.9500000	3.50276550E+05	1	40	60.000000
40	2.0000000	3.59258000E+05	2	42	58.000000
41	2.0500000	3.68239450E+05	2	44	56.000000
42	2.1000000	3.77220900E+05	5	49	51.000000
43	2.1500000	3.86202350E+05	8	57	43.000000
44	2.2000000	3.95183800E+05	14	71	29.000000
45	2.2500000	4.04165250E+05	14	85	15.000000
46	2.3000000	4.13146700E+05	10	95	5.000000
47	2.3500000	4.22128150E+05	2	97	3.000000
48	2.4000000	4.31109600E+05	1	98	2.000000
49	2.4500000	4.40091050E+05	0	98	2.000000
50	2.5000000	4.49072500E+05	2	100	.000000

Summary of preceding table follows:

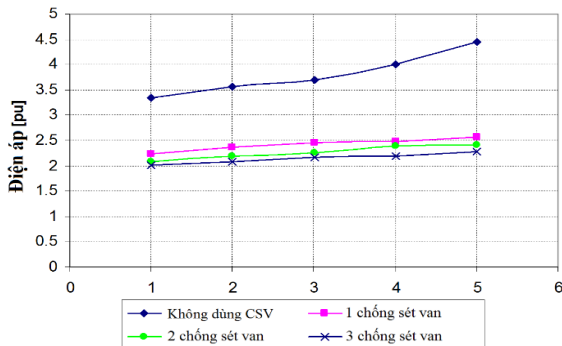
	Grouped data	Ungrouped data
Mean	1.95600000E+00	1.95440142E+00
Variance	9.90292929E-02	9.90463432E-02
Standard deviation	3.14689201E-01	3.14716290E-01

Hình 15. Thống kê xác suất có thể xảy ra khả năng tăng điện áp trong LIS-file



Hình 16. Xác suất điện áp đỉnh xuất hiện tại cuối đường dây khi không sử dụng CSV và khi sử dụng 1, 2, 3 CSV

Bằng phương pháp phân tích dữ liệu điện áp đỉnh tại đầu đường dây, xác suất điện áp đỉnh khi không sử dụng chống sét van và khi sử dụng 1, 2, 3 CSV thể hiện trên Hình 16.

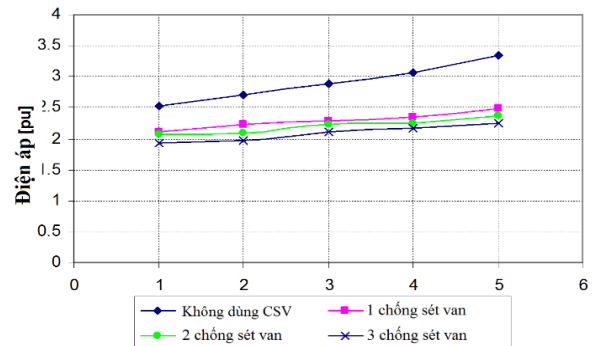


Hình 17. Quá điện áp cực đại với góc pha ban đầu 90°

Hình 17 và 18 thể hiện kết quả mô phỏng trên phần mềm EMTP về điện áp lớn nhất có thể xảy ra trên dọc đường dây trong hai trường hợp góc pha A ban đầu là 90°

và 0°. Kết quả mô phỏng cho thấy:

- Điện áp càng về cuối đường dây càng tăng.
- Quá điện áp với góc pha ban đầu 90° thì lớn hơn so với góc pha ban đầu 0°.



Hình 18. Quá điện áp cực đại với góc pha ban đầu 0°

Đánh giá về hiệu quả của phương án:

- Nếu không sử dụng CSV, quá điện áp cuối đường dây rất lớn (gấp 3,5-4,5 lần so với định mức), vượt quá dự trữ cách điện của đường dây và thiết bị (thường hệ số dự trữ là 3 trong ngắn hạn).
- Khi sử dụng CSV, điện áp cực đại có thể xảy ra cuối đường dây giảm từ 25-45%, giá trị cực đại chỉ gấp 2,5 lần định mức, trong phạm vi cho phép dự trữ cách điện.
- Tất nhiên sử dụng 3 CSV thì cho kết quả tốt hơn 2 cái và tất nhiên tốt hơn so với chỉ lắp đặt 1, tuy nhiên hiệu quả của việc sử dụng 1, 2 hay 3 CSV không chênh lệch nhau nhiều, trong phạm vi 10-20% cho mỗi loại.
- Hiệu quả của giải pháp còn phụ thuộc vào thông số kỹ thuật của CSV, kết quả mô phỏng phản ánh khi tác giả sử dụng loại CSV AZG2.

Hiện tại, hệ thống đang vận hành với CSV đặt ở đầu và cuối đường dây và chưa ghi nhận trường hợp quá điện áp cuối đường dây vượt quá 1,6 lần điện áp định mức [10].

3.2. Giải pháp hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng tụ bù

Từ nghiên cứu gần đây [5, 6, 7, 8] cho thấy, để giảm quá điện áp quá độ khi đóng tụ có các giải pháp sau:

- Chèn điện trở phụ;
- Chèn cuộn cảm phụ;
- Đồng bộ đóng máy cắt (là máy cắt SF6 ba pha sử dụng cơ cấu được thiết kế đặc biệt với ba thanh truyền động có thể điều khiển độc lập. Nó có khả năng đóng khi điện áp bằng 0. Đây chính là giải pháp xác định thời điểm điện áp pha về 0 và có thể tiến hành đóng từng pha độc lập).

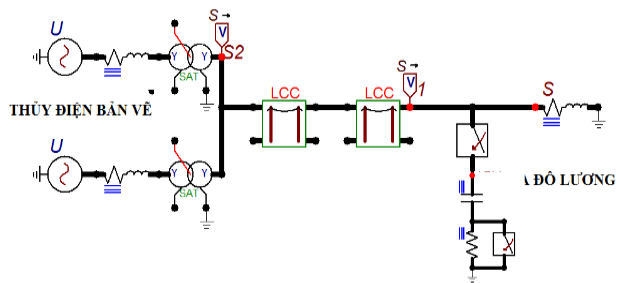
3.2.1. Hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng tụ bằng điện trở

Để hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng tụ bù có thể sử dụng điện trở phụ mắc nối tiếp với tụ. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là sự tiêu hao năng lượng trên điện trở phụ. Vì vậy, sau khi điện áp trở lại bình thường thì cắt điện trở phụ ra.

Trong nghiên cứu mạch R-C mắc nối tiếp, R càng lớn thì biên độ đỉnh giao động càng nhỏ. Tuy nhiên điện trở càng lớn thì tổn thất điện năng tăng theo, do đó phải tính đến bài toán kỹ thuật - kinh tế phù hợp.

Để xem xét hiệu quả của giải pháp, tác giả tiến hành mô phỏng hiện tượng quá điện áp nội bộ do đóng tụ khi mắc thêm điện trở phụ cho hai trường hợp:

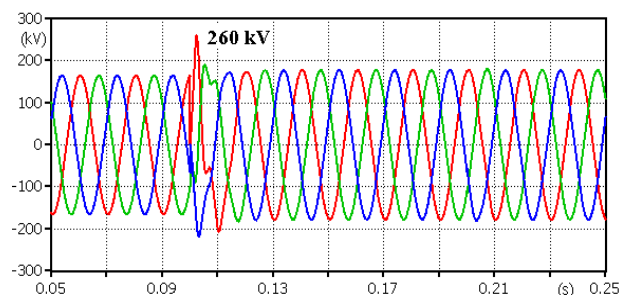
- Điện trở phụ $R = 20 \Omega$.
- Điện trở phụ $R = 100 \Omega$.



Hình 19. Sơ đồ mô phỏng đóng tụ điện mắc nối tiếp với điện trở phụ

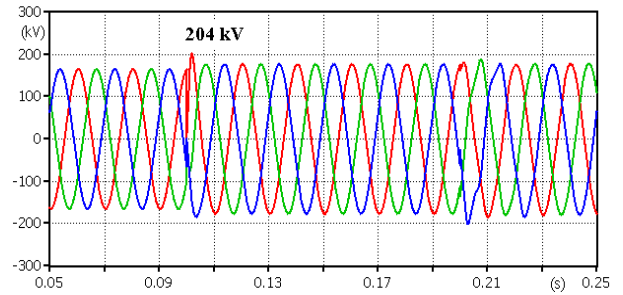
Hệ thống đang hoạt động trong chế độ xác lập với phụ tải, tại thời điểm 0,1 giây, đóng tụ bù (mắc nối tiếp điện trở phụ) để nâng cao điện áp. Sau khi đóng tụ, để giảm tổn hao do điện trở phụ gây ra nó sẽ được cắt ra khỏi lưới, trong mô phỏng là tại thời điểm 0,2 giây.

* Trường hợp điện trở phụ $R = 20 \Omega$, kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 20.



Hình 20. Điện áp cuối đường dây trước và sau khi đóng tụ nối tiếp với $R = 20 \Omega$

* Trường hợp điện trở phụ $R = 100 \Omega$, kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 21.



Hình 21. Điện áp cuối đường dây trước và sau khi đóng tụ nối tiếp với $R = 100 \Omega$

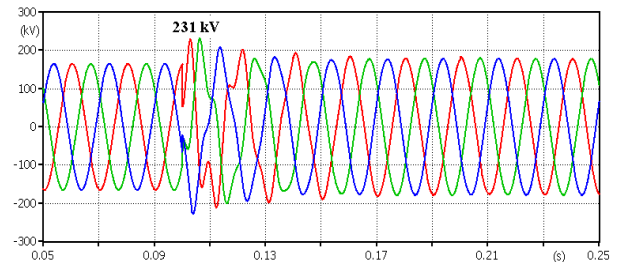
Với điện trở phụ 20Ω , tại thời điểm đóng tụ, điện áp vẫn còn tăng 1,5 lần định mức (Hình 20) nhưng khi cắt điện trở phụ, điện áp gần như không bị ảnh hưởng. Trong khi với điện trở phụ 100Ω , tại thời điểm đóng tụ, điện áp gần như không tăng (Hình 21) nhưng khi cắt điện trở phụ, điện áp vẫn tăng nhẹ 10%. Mức điện áp này chỉ diễn ra trong thời gian ngắn nên không ảnh hưởng đến sự làm việc của thiết bị và lưới.

3.2.2. Hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng tụ bằng điện cảm

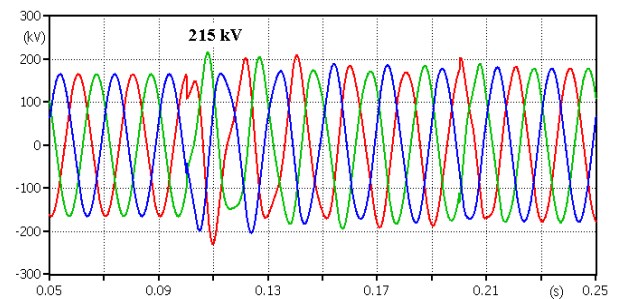
Mô phỏng hiện tượng quá điện áp nội bộ do đóng tụ khi mắc thêm cuộn cảm phụ cho hai trường hợp:

- Điện cảm phụ $L = 50 \text{ mH}$.
- Điện cảm phụ $L = 200 \text{ mH}$.

Kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 22 cho $L = 50 \text{ mH}$ và Hình 23 cho $L = 200 \text{ mH}$.



Hình 22. Điện áp cuối đường dây trước và sau khi đóng tụ nối tiếp với $L = 50 \text{ mH}$



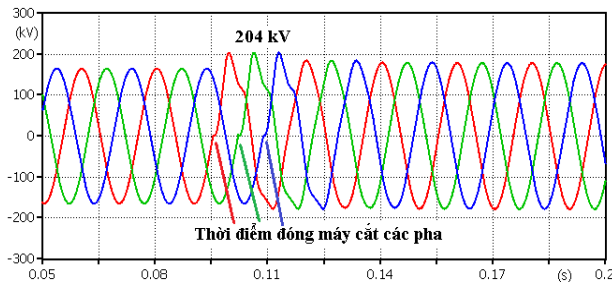
Hình 23. Điện áp cuối đường dây trước và sau khi đóng tụ nối tiếp với $L = 200 \text{ mH}$

Với điện cảm phụ 50 mH , tại thời điểm đóng tụ, điện áp vẫn còn tăng 1,4 lần định mức (Hình 22) nhưng khi cắt điện trở phụ, điện áp gần như không bị ảnh hưởng. Trong khi với điện cảm phụ 200 mH , tại thời điểm đóng tụ, điện áp định có giảm (1,25 lần điện áp định mức) tuy nhiên dạng sóng dao động cho đến khi cắt điện cảm phụ này.

3.2.3. Hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng tụ bằng máy cắt đồng bộ hóa

Từ kết quả phân tích hiện tượng quá độ trong hệ thống điện do đóng tụ bù, ta thấy khi đóng tụ vào thời điểm điện áp lên đỉnh thì điện áp quá độ biến thiên lớn nhất. Vì vậy, nếu lựa chọn thời điểm đóng tụ phù hợp thì sẽ giảm được ảnh hưởng của quá độ. Sử dụng máy cắt ba pha sử dụng cơ cấu được thiết kế đặc biệt với ba thanh truyền động có thể điều khiển độc lập đóng cắt lần lượt ba pha và lập trình để lựa chọn thời điểm đóng tụ khi điện áp pha tương ứng bằng 0.

Bằng phương pháp xác định giá trị điện áp pha về 0 [7], thời gian đóng tụ pha A là 0,0954 giây, thời gian đóng tụ pha B và pha C trễ 1/3 chu kỳ, tương ứng là 0,1021 giây và 0,1087 giây. Mô phỏng quá trình quá độ trên phần mềm EMTP, điện áp đầu cực tụ bù biến thiên trên Hình 24. Kết quả mô phỏng cho thấy, điện áp dao động không đáng kể (chỉ tăng nhẹ 18%) và trở về trạng thái bình thường sau một chu kỳ.



Hình 24. Kết quả mô phỏng biện pháp hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng tụ bằng máy cắt đồng bộ hóa

Từ kết quả mô phỏng cho thấy, giải pháp 3 đem lại hiệu quả cao nhưng cần có thiết bị đặc biệt (máy cắt SF6 ba pha sử dụng cơ cấu được thiết kế đặc biệt với ba thanh truyền động có thể điều khiển độc lập cho từng pha, có khả năng đóng khi điện áp bằng 0) và cần được lập trình để xác định thời gian đóng chính xác thời điểm đóng. Thêm vào đó, nếu tính đến các sai số do sự chậm trễ của thiết bị đo lường và thiết bị thao tác trong thực tế thì hiệu quả không đạt như trạng thái lý tưởng. Hơn nữa, thiết bị này đòi hỏi vốn đầu tư lớn và chi phí vận hành cao và hoạt động phức tạp nên thực tế ít sử dụng. Giải pháp chèn điện trở và chèn điện cảm không đòi hỏi chi phí lớn mà vẫn đem lại hiệu quả nên được xem là giải pháp khả thi hơn cả. Tuy nhiên, nếu chèn điện cảm có thể xảy ra hiện tượng cộng hưởng, đồng thời mạch L-C dao động phức tạp hơn mạch R-C nên giải pháp chèn điện trở phụ được sử dụng phổ biến hơn cả.

4. Kết luận

Trong bài viết tác giả đã tiến hành khảo sát hiện tượng quá điện áp nội bộ trên đường dây và trạm biến áp 220 kV Bản Vẽ - Đô Lương - Hưng Đông và tiến hành đánh giá bằng mô phỏng trên phần mềm EMTP. Kết quả là, trong các nguyên nhân chính gây ra hiện tượng quá điện áp nội bộ, bao gồm: do đóng máy cắt trên đường dây dài, đóng máy biến áp không tải và do đóng tụ bù trên đường dây 220 kV. Trong đó, quá điện áp nội bộ do đóng máy cắt trên đường dây dài tạo nên nguy hiểm hơn cả (có thể lên đến 4,5 lần điện áp định mức) còn đóng máy biến áp không tải không sinh ra quá điện áp đáng kể.

Từ các nguyên nhân gây nên quá điện áp, tác giả đã đề xuất một số giải pháp giảm thiểu. Với hiện tượng quá điện áp do đóng đường dây không tải, sử dụng CSV đặt dọc theo đường dây có thể giảm đáng kể quá điện áp, duy trì trong mức cho phép với chi phí không lớn. Để giải quyết hiện tượng quá điện áp do đóng tụ bù có thể sử dụng ba giải pháp: chèn điện trở, chèn điện cảm và sử dụng máy cắt đặc biệt (có thể điều khiển độc lập cho từng pha, có khả năng đóng khi điện áp bằng 0). Tuy nhiên, giải pháp sử dụng điện trở mắc nối tiếp với tụ để khống chế quá điện áp xuống trong thời gian ngắn (1-2 chu kỳ) có ưu thế về tính kinh tế. Kết quả mô phỏng trên phần mềm EMTP cho thấy sự hiệu quả của giải pháp đề xuất. Hai giải pháp đề xuất đều có tính khả thi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Kuffel, W.S. Zaengl, and J. Kuffel, *High Voltage Engineering*, Second edition 2000, Butterworth-Heinemann press. ISBN 0 7506 3634 3.
- [2] T. V. Top, *High Voltage Engineering*, Science and technology press, Ha Noi, 2020.
- [3] S. Agrawal, "Effect of Surge Arrester on Overhead Transmission Lines as Shield against Over Voltage", *International Journal of New Technologies in Science and Engineering*, Vol. 2, no. 1, 2015, ISSN 2349-0780.
- [4] N. Mungkung, S. Wongcharoen., T. Tanitteerapan, C. Saejao, and D. Arunyasot, "Analysis of Lightning Surge Condition Effect on Surge Arrester in Electrical Power System by using ATP/EMTP Program"; *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering* Vol. 1, No. 4, 2007.
- [5] M. Kondalu and P.S. Subramanyam, "Calculation of Transient Overvoltages by using EMTP software in a 2-Phase 132KV GIS", *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)* Vol. 1, no. 9, 2012.
- [6] H. Chandwani, C. D. Upadhyay, and Goutam Som, "Mitigation of switching overvoltage by application of surge arrester on capacitor bank", *International Journal of Electrical Engineering and Technology (IJEET)*, Vol. 4, no. 2, 2013.
- [7] H. Seyedi, M. Sanaye-Pasand, and M. R. Dadashzadeh, "Limitation of Transmission Line Switching Overvoltages using Switchsync Relays", *International Conference on Power Systems Transients (IPST)*, 2005.
- [8] K. M. C. Dantas *et al.* "Mitigation of switching overvoltages in transmission lines via controlled switching." *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*. IEEE, 2008.
- [9] Electricity Regulatory Authority, "National grid diagram of Vietnam". <https://www.erav.vn/>, [Online]. Available: <https://www.erav.vn/gioi-thieu/c65/so-do-luoi-dien-viet-nam.html>, [Accessed: 31/10/2023]
- [10] Ban Ve hydropower plant, "Technical management system of Ban Ve hydropower plant". <https://www.banvehpc.com/> [Online]. Available: https://home.banvehpc.com/login_up.php [Accessed 31/10/2023].
- [11] E. Haginomor *et al.*, *Power system transient analysis: theory and practice using simulation programs (ATP-EMTP)*. John Wiley & Sons, 2016.
- [12] ArresterWorks., "Selecting Arrester MCOV and Uc", <http://www.arresterworks.com>, Feb 12, 2009. [Online]. Available: http://www.arresterworks.com/arresterfacts/pdf_files/selecting_arrester.pdf [Accessed 31/10/2023].
- [13] V. T. Dung, T. D. Trinh, V. T. Trung, and V. A. Tuan, "Modeling and Simulation of Surge Arresters Using EMTP", *Yersin Journal of Science*, no. 3, pp. 18-23, 2017.

PHỤ LỤC

Một số dữ liệu khảo sát thực tế

Bảng 1. Thông số máy phát

Điều 5. Các thông số kỹ thuật chính của hệ thống máy phát điện thủy lực:

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
a. Máy phát thủy lực SF160-40/10800:			
1	Kiểu	Đồng bộ 3 pha, trục đứng, kích từ tĩnh	
2	Công suất biểu kiến định mức	MVA	188,23
3	Công suất hữu công định mức	MW	160
4	Điện áp định mức	kV	15,75
5	Dòng điện Stator định mức	A	6900
6	Hệ số công suất định mức (Cos φ)		0,85
7	Tần số định mức	Hz	50
8	Số cực	2p = 40	
9	Tốc độ quay định mức	Vòng/phút	150
10	Tốc độ quay lồng tốc	Vòng/phút	288
11	Điện áp kích từ định mức	V	435
12	Dòng điện kích từ định mức	A	1415
13	Hiệu suất ở công suất định mức	%	98,3
14	Tổng tổn hao của máy phát ở U _{dm} , f _{dm} và Cos φ=0,85	kW	2767

Bảng 2. Thông số của máy biến áp của nhà máy thủy điện Bàn Hồ

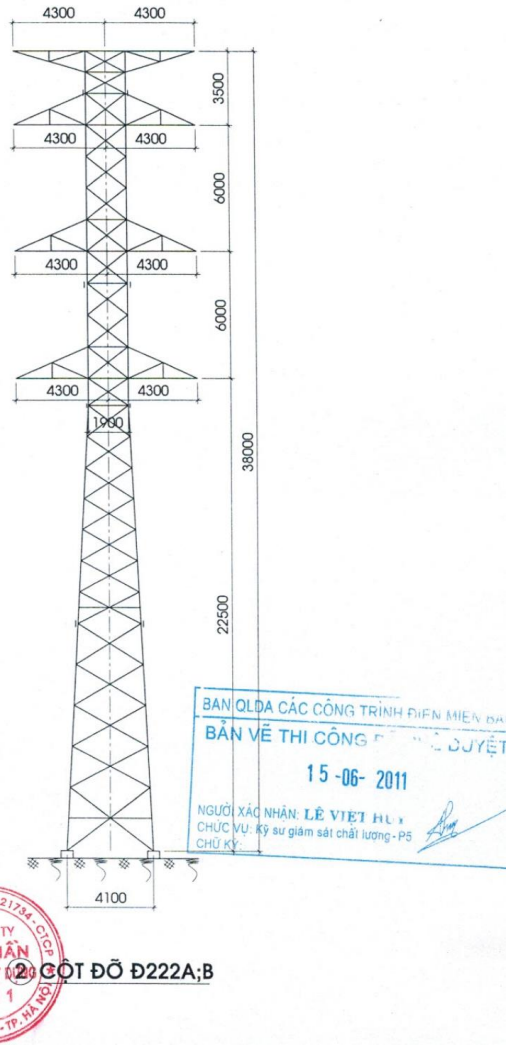
Điều 5. Thông số kỹ thuật MBA 1 pha DF-63000/220TH.

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị	Ghi chú	
1	Kiểu	Một pha, hai cuộn dây, ngâm dầu			
2	Ký hiệu: DF-63000/220TH	D	Đơn pha		
		F	Đặt ngoài trời		
		63000	Công suất (kVA)		
		220	Điện áp phía cao (kV)		
	TH	Môi trường nhiệt đới			
3	Công suất định mức 1 pha	kVA	63000		
4	Điện áp định mức	Cuộn cao áp	kV	230/√3	
		Cuộn hạ áp	kV	15,75	
5	Dòng điện định mức	Cuộn cao áp	A	474,4	
		Cuộn hạ áp	A	4000	
6	Tần số định mức	Hz	50		
7	- Dòng không tải I ₀		%	0,19	Lấy giá trị trung bình các MBA
		- Tổn thất không tải P ₀	kW/pha	47	
8	Điện áp ngắn mạch U _n	%	12,5		
9	Kiểu làm mát: ONAN/ONAF	ONAN	Dầu tuần hoàn tự nhiên, không khí tự nhiên.		
		ONAF	Dầu tuần hoàn tự nhiên, không khí cưỡng bức.		
10	Bộ điều chỉnh điện áp			Phía cao áp	

BM.P4.01.01
.01.2021

Bảng 3. Thông số cơ bản của MBA 125 MVA Đô Lương

MÁY BIẾN ÁP 220 kV, 3 CUỘN DÂY, ĐIỀU CHỈNH DƯỚI TẢI														
Công suất (kVA)	Điện áp (kV)				P ₀ (kW)	Pk (kW)	Uk (%)	Tổ đầu dây	Khối lượng sơ bộ (Tấn)			Kích thước sơ bộ (mm)		
	Cuộn cao áp (HV)	Khoảng điều chỉnh	Cuộn trung áp (MV)	Cuộn hạ áp (LV)					Ruột	Dầu	Tổng	Dài	Rộng	Cao



Hình 1. Cột thông dụng sử dụng cho đường dây 220 kV