

NGHIÊN CỨU QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

AN INVESTIGATION INTO OVERVOLTAGE IN POWER DISTRIBUTION NETWORKS

Đinh Thành Việt, Trần Viết Thành

Đại học Đà Nẵng; Email: dtviet@ac.udn.vn; tranvietthanh90@gmail.com

Tóm tắt - Quá điện áp là một hiện tượng nguy hiểm trong lúc vận hành lưới điện phân phối, gây ảnh hưởng đến các thiết bị điện, làm lão hóa cách điện, giảm tuổi thọ thiết bị điện của các công ty điện lực cũng như của khách hàng. Vì vậy, việc phân tích tìm hiểu các trường hợp có thể gây ra quá điện áp để đưa ra các giải pháp vận hành tốt lưới điện đồng thời nâng cao tuổi thọ thiết bị điện là rất quan trọng. Bài báo này sử dụng phần mềm EMTP (Electro-Magnetic Transient Programme) để mô phỏng phân tích các trường hợp có thể xảy ra quá điện áp trong lưới điện phân phối như sự cố chạm đất 1 pha nhánh cáp ngầm, thao tác đóng từng pha máy biến áp (MBA) không tải, thao tác đóng cùng lúc 3 pha MBA. Kết quả mô phỏng có thể tham khảo cho các công ty Điện lực trong công tác vận hành lưới điện phân phối.

Từ khóa - quá điện áp; sự cố; cách điện; lưới phân phối; thiết bị điện.

1. Đặt vấn đề

Trong quá trình vận hành lưới điện phân phối có hệ thống 3 pha với đường dây trên không cùng cấp ngầm và máy biến áp (MBA), khi thao tác có thể xuất hiện hiện tượng quá điện áp gây nguy hiểm cho cách điện của lưới điện phân phối [1, 3]. Thao tác này thường xuyên được thực hiện trong quá trình vận hành lưới điện phân phối, vì vậy việc nghiên cứu các trường hợp nguy hiểm trong quá trình thao tác vận hành lưới điện phân phối liên quan đến quá điện áp là rất quan trọng đồng thời giúp đảm bảo an toàn cho người vận hành cũng như thiết bị điện.

2. Giải quyết vấn đề

Việc nghiên cứu thực nghiệm cụ thể cho một lưới điện phân phối hiện hữu hầu như khó có khả năng thực hiện trong thực tế do nó phải hoạt động, cung cấp điện cho các khách hàng. Do đó giải pháp mô phỏng thao tác lưới điện trên máy tính có tính khả thi hơn. Trong bài báo có sử dụng phần mềm chuyên dụng EMTP về phân tích quá trình quá độ điện từ trong hệ thống điện [4, 7] để thực hiện mô phỏng và nghiên cứu một xuất tuyến cấp điện áp 22kV ở lưới điện phân phối Điện lực Liên Chiểu, thành phố Đà Nẵng với các thông số được cho trong các Bảng 1-3. Sơ đồ mạch điện thực tế sử dụng để nghiên cứu được cho ở hình 1 và sơ đồ mạch điện mô phỏng tương ứng được trình bày ở Hình 2.

Bảng 1. Thông số cáp ngầm

Tiết diện (mm ²)	Chiều dài (m)	Độ chôn sâu (m)	Điện trở suất (Ω/Km)	Khoảng cách các pha (m)
M(3x70)	368	0,5	0,46	0,1

Abstract - Overvoltage is a dangerous phenomenon in power distribution grid operation, which exerts influence on electrical devices, aging insulation and shortening the service life of electrical equipment used by power companies and customers. Therefore, it is crucial to conduct an analysis of the cases that might cause overvoltage in order to provide good solutions to power grid operation as well as to improve the service life of electrical equipment. In this paper, the EMTP software (Electro-Magnetic Transient Programme) has been used to simulate and analyze the cases that might cause overvoltage in power distribution grid such as earth faults of a phase cable, the operation of phase-to-phase closure of the no-load transformer, the operation of simultaneous closure of three phases of the transformer. The simulation results might be used as reference information for power companies in power distribution grid operation.

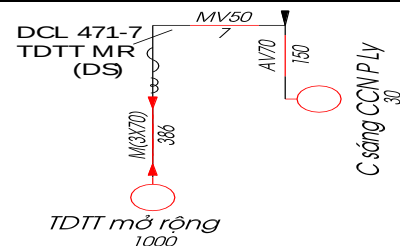
Key words - overvoltage; fault; insulation; power distribution grid; electrical equipment.

Bảng 2. Thông số máy biến áp

Tên MBA	S _{MBA} (kVA)	U ₁ (kV)	U ₂ (kV)	R _{MBA} (Ω)	X _{MBA} (Ω)
TĐTT mở rộng	1000	24	0,4	6,912	34,5
Chiếu Sáng CCNP Ly	30	24	0,4	384	768

Bảng 3. Thông số đường dây trên không

Tiết diện (mm ²)	Chiều dài (m)	Chiều cao lớn nhất (m)	Điện trở suất (Ω/km)	Khoảng cách các pha (m)
MV70	7	6,8	0,46	0,5
MV50	150	6,8	0,64	0,5



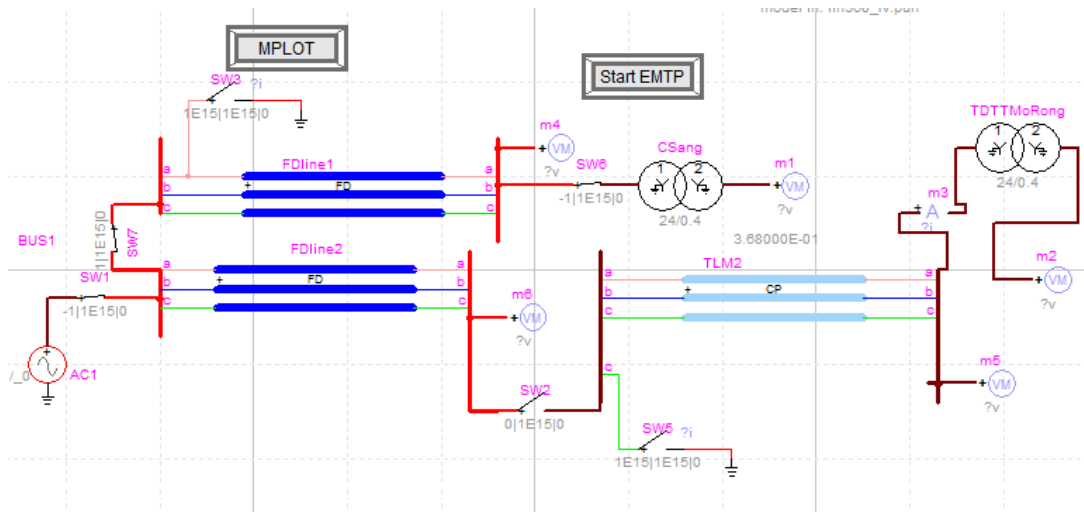
Hình 1. Sơ đồ mạch điện thực tế

Sau khi mô phỏng thu được dạng sóng điện áp, dòng điện và tần số tại các nút và tiến hành phân tích mức độ nguy hiểm do quá trình quá độ gây ra. Các mô phỏng được thực hiện cho 3 trường hợp:

+ Trường hợp sự cố chạm đất 1 pha nhánh cáp ngầm MBA TĐTT mở rộng (chạm đất pha C) với $t = 0s$ cùng với sự tác động của hệ thống bảo vệ cô lập vùng sự cố khi MBA không tải.

+ Thực hiện thao tác đóng từng pha MBA TĐTT mở rộng khi máy biến áp không mang tải.

+ Đóng cùng lúc 3 pha MBA TĐTT mở rộng khi MBA không mang tải.



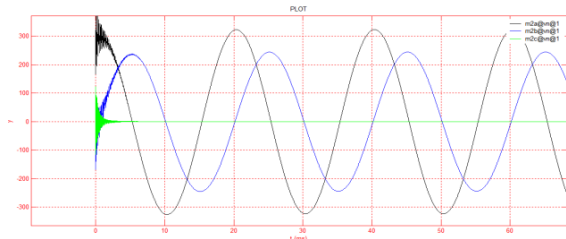
Hình 2. Sơ đồ mạch điện mô phỏng

3. Kết quả mô phỏng

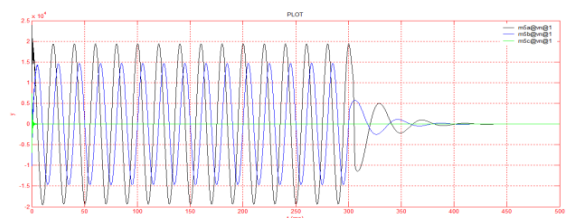
3.1. Sự cố chạm đất 1 pha nhánh cáp ngầm MBA TDTT mở rộng (chạm đất pha C) với $t = 0s$ cùng với sự tác động của hệ thống bảo vệ cô lập vùng sự cố khi MBA không mang tải

3.1.1. Dạng sóng điện áp

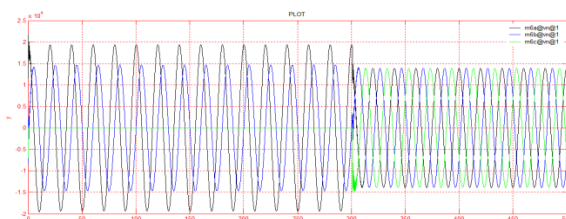
Dạng sóng điện áp 3 pha phía hạ áp MBA được thể hiện ở Hình 3, phía cuối đoạn cáp ngầm thể hiện ở Hình 4, phía đầu đoạn cáp ngầm thể hiện ở Hình 5.



Hình 3. Sóng điện áp phía hạ áp MBA khi chạm đất 1 pha



Hình 4. Sóng điện áp tại cuối đoạn cáp ngầm khi chạm đất 1 pha



Hình 5. Sóng điện áp đầu đoạn cáp ngầm khi chạm đất 1 pha

3.1.2. Giá trị điện áp

Bảng 4 thể hiện các giá trị điện áp của 3 pha sau khi cô lập sự cố chạm đất ở các vị trí khác nhau sau khi mô phỏng.

Bảng 4. Giá trị điện áp khi cô lập sự cố chạm đất

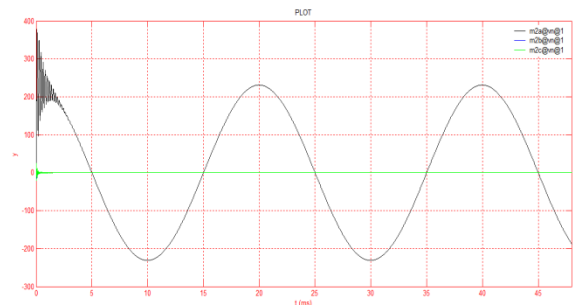
Pha	Điện áp đầu cáp ngầm (kV)	Điện áp cuối cáp ngầm (kV)	Điện áp phía hạ áp MBA (kV)
A	21,61	23,85	0,398
B	14,72	14,717	0,245
C	0	0	0

3.2. Thao tác đóng từng pha MBA TDTT mở rộng khi MBA không mang tải

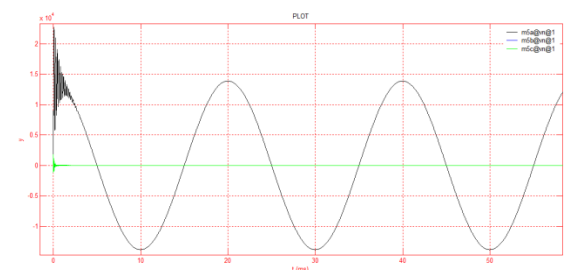
Đầu tiên thực hiện đóng pha A tại thời điểm $t = 0s$, tiếp theo thao tác đóng pha C tại thời điểm $t = 10ms$ và pha B tại thời điểm $t = 20ms$.

3.2.1. Dạng sóng điện áp

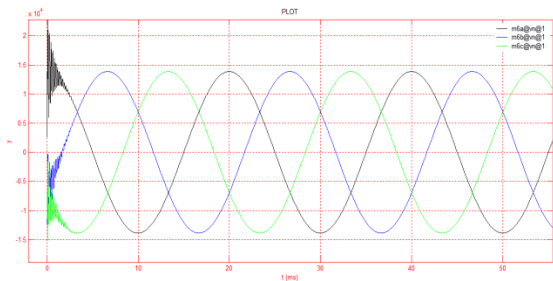
Dạng sóng điện áp khi đóng pha A được thể hiện tại Hình 6 (phía hạ áp MBA), Hình 7 (phía cuối đoạn cáp ngầm), Hình 8 (phía đầu đoạn cáp ngầm).



Hình 6. Sóng quá điện áp phía hạ áp MBA khi đóng pha A

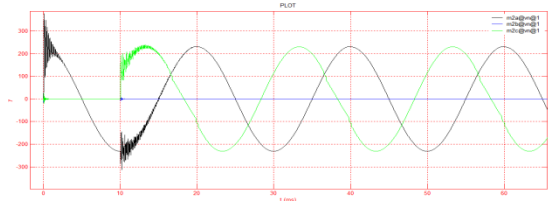


Hình 7. Sóng điện áp tại cuối đoạn cáp ngầm khi đóng pha A

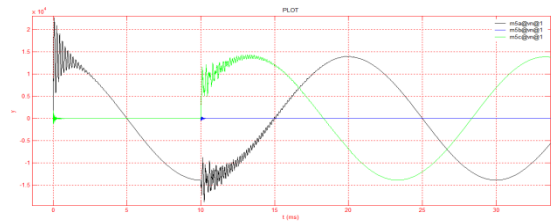


Hình 8. Sóng điện áp đầu đoạn cáp ngầm khi đóng pha A

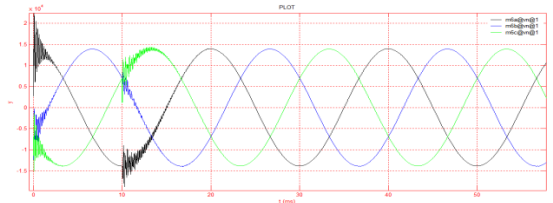
Dạng sóng khi đóng pha C tại các vị trí tương tự được thể hiện ở các Hình 9 - 11.



Hình 9. Sóng điện áp tại phía hạ áp MBA khi đóng pha C

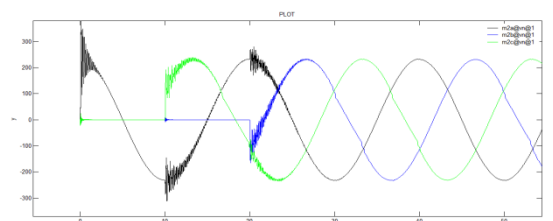


Hình 10. Sóng điện áp cuối đoạn cáp ngầm khi đóng pha C

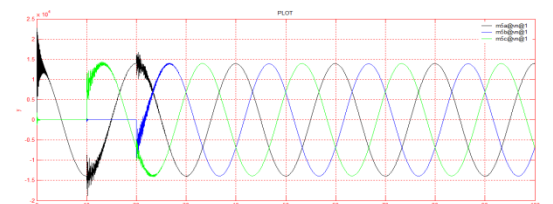


Hình 11. Sóng điện áp tại đầu đoạn cáp ngầm khi đóng pha C

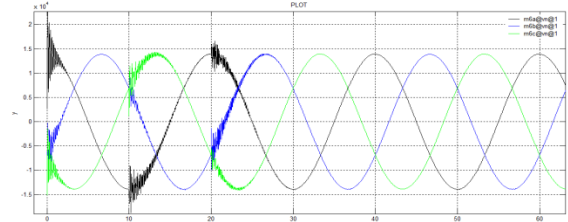
Dạng sóng khi đóng pha B tại các vị trí tương tự được thể hiện ở các Hình 12 - 14.



Hình 12. Sóng điện áp phía hạ áp của MBA khi đóng pha B



Hình 13. Sóng điện áp cuối đoạn cáp ngầm khi đóng pha B



Hình 14. Sóng điện áp đầu đoạn cáp ngầm khi đóng pha B

3.2.2. Giá trị điện áp

Các giá trị điện áp khi đóng lần lượt pha A, pha C, pha B được thể hiện trong các Bảng 5-7.

Bảng 5. Giá trị điện áp khi đóng pha A

Pha	Điện áp đầu cáp (kV)	Điện áp cuối cáp (kV)	Điện áp phía hạ áp MBA (kV)
A	22,675	22,685	0,378
B	14,373	1,151	0,0246
C	15,157	1,178	0,0246

Bảng 6. Giá trị điện áp khi đóng pha C

Pha	Điện áp đầu cáp(kV)	Điện áp cuối cáp (kV)	Điện áp phía hạ áp MBA (kV)
A	22,675	22,685	0,378
B	14,373	1,151	0,0246
C	15,157	14,338	0,2389

Bảng 7. Giá trị điện áp khi đóng pha B

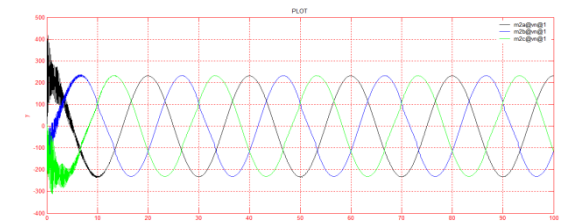
Pha	Điện áp đầu cáp (kV)	Điện áp cuối cáp (kV)	Điện áp phía hạ áp MBA (kV)
A	22,675	22,685	0,378
B	14,373	13,989	0,233
C	15,157	14,338	0,2389

Các kết quả mô phỏng được sử dụng để so sánh với giá trị định mức của 1 pha là $22/\sqrt{3}=12,7$ kV, cho thấy quá điện áp đã xảy ra, có thể lên đến $22,685/12,7=1,786$ lần.

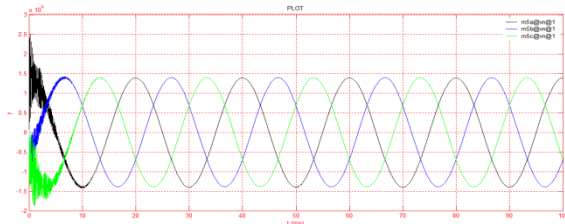
3.3. Đóng cùng lúc 3 pha MBA TDTT mở rộng khi MBA không mang tải

3.3.1. Dạng sóng điện áp

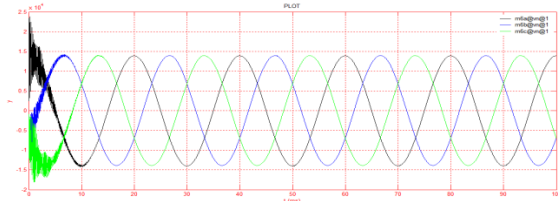
Dạng sóng điện áp khi đóng cùng lúc 3 pha MBA khi không mang tải tương ứng ở phía hạ áp của MBA, ở cuối đoạn cáp ngầm và đầu đoạn cáp ngầm được thể hiện ở các Hình 15-17.



Hình 15. Sóng điện áp 3 pha phía hạ áp của MBA khi đóng cùng lúc 3 pha



Hình 16. Sóng điện áp 3 pha ở cuối đoạn cáp ngầm khi đóng cùng lúc 3 pha



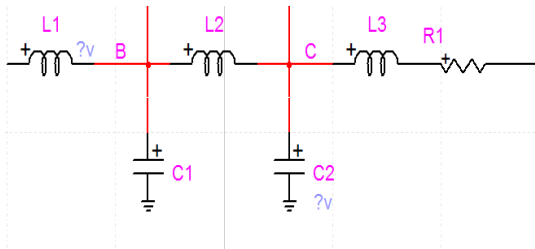
Hình 17. Sóng điện áp đầu đoạn cáp ngầm khi đóng cùng lúc 3 pha

3.3.2. Giá trị điện áp

Giá trị điện áp 3 pha từ kết quả mô phỏng khi đóng đồng thời 3 pha MBA không tải được cho ở Bảng 8.

Bảng 8. Kết quả thao tác đồng thời cả 3 pha

Pha	Điện áp đầu cáp (kV)	Điện áp cuối cáp (kV)	Điện áp phía hạ áp MBA (kV)
A	23,803	25,056	0,417
B	14,221	14,236	0,237
C	18,075	18,634	0,310



Hình 18. Sơ đồ nguyên lý 1 pha của đoạn cáp ngầm kết nối với MBA

Trong đó các thông số được cho ở Hình 18 gồm:

L_2 là cảm kháng đoạn cáp ngầm.

C_1, C_2 là dung kháng đoạn cáp ngầm.

L_3, R_1 là cảm kháng và điện trở của MBA.

L_1 là trở kháng của đường dây trước đoạn cáp ngầm.

Cảm kháng và dung kháng của cáp và đường dây trên không trước đoạn cáp ngầm được xác định từ các công thức [2, 5, 6]:

$$L_1 = \frac{0,144lg \frac{D_{tb}}{R} + 0,016}{2\pi f} = \frac{0,144lg \frac{0,63 \cdot 10^3}{4,9} + 0,016}{2\pi 50} = 1,017 \cdot 10^{-3} H$$

$$\text{Với } D_{tb} = \sqrt[3]{0,5 \cdot 0,5 \cdot 1} = 0,63 m = 0,63 \cdot 10^3 mm$$

$$R = 0,49 mm$$

$$L_2 = \frac{0,144lg \frac{D_{tb}}{R} + 0,016}{2\pi f} = \frac{0,144lg \frac{0,126 \cdot 10^3}{4,9} + 0,016}{2\pi 50} = 1,155 \cdot 10^{-3} H$$

$$\text{Với } D_{tb} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,2} = 0,126 m = 0,126 \cdot 10^3 mm$$

$$R = 0,49 mm$$

$$C_1 = C_2 = l \frac{0,024 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot lg \frac{D_{tb}}{R_{dt}}} = 0,368 \frac{0,024 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot lg \frac{0,126 \cdot 10^3}{4,9}} = 3,13 \cdot 10^{-9} F = 3,13 nF$$

$$R_{dt} = 0,49 mm$$

Hiện tượng quá điện áp xảy ra với các trường hợp trên có thể gây ra các hiện tượng như đánh thủng cách điện MBA, nổ chống sét van và nổ các đầu cáp.

Tần số biến thiên tại cuối đoạn cáp ngầm khi thao tác có thể gây nên hiện tượng cộng hưởng với biên độ điện áp dâng cao:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,155 \cdot 10^{-3} \cdot 3,13 \cdot 10^{-9}}} = 83,706 kHz$$

Tần số biến thiên ở đầu đoạn cáp ngầm khi thao tác:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,107 \cdot 10^{-3} \cdot 3,13 \cdot 10^{-9}}} = 85,501 kHz$$

3.4. Nhận xét

3.4.1. Sự cố chạm đất 1 pha nhánh cáp ngầm MBA TDTT mở rộng (chạm đất pha C) với $t = 0s$ cùng với sự tác động của hệ thống bảo vệ cô lập vùng sự cố khi MBA không mang tải

Khi xảy ra sự cố bị mất 1 pha thì sóng điện áp các pha còn lại sẽ tăng rất cao so với điện áp định mức. Đặc biệt giá trị điện áp pha A ở cuối bằng 23,85kV gấp 1,878 lần so với điện áp định mức.

Sau thời gian cô lập sự cố thì tại cuối đoạn cáp ngầm vẫn còn điện áp dư trong vài chu kỳ do có sự tồn tại của dung kháng của cáp nên sóng điện áp vẫn duy trì, tuy nhiên biên độ này không lớn lắm và sau một khoảng thời gian thì tắt hẳn.

3.4.2. Thao tác đóng từng pha MBA TDTT mở rộng khi MBA không mang tải

Khi thực hiện thao tác từng pha thì với pha đầu tiên được đóng, điện áp trên pha đó bị dao động và chỉ có pha được đóng có điện áp, còn các pha còn lại chỉ có điện áp hồ cảm giữa các cuộn dây MBA nên điện áp không lớn so với định mức.

Đến khi thực hiện thao tác đóng pha thứ 2 thì điện áp sẽ có sự dao động mạnh hơn trên cả 2 pha vừa được đóng.

Đến khi đóng pha cuối cùng thì điện áp cũng bị dao động, tuy nhiên biên độ các pha đã đóng không tăng cao lắm so với điện áp định mức.

3.4.3. Thao tác đóng cả 3 pha MBA TDTT mở rộng khi MBA không mang tải

Khi thực hiện thao tác đóng 3 pha thì biên độ quá điện áp cao hơn so với khi đóng từng pha. Điện áp cuối đoạn cáp ngầm cao hơn điện áp của đầu đoạn cáp ngầm.

Các kết quả mô phỏng được sử dụng để so sánh với giá trị định mức của 1 pha là $22/\sqrt{3} = 12,7 kV$ và sử dụng sơ đồ thay thế 1 pha (Hình 18) để tính toán phân tích. Đặc biệt giá trị quá điện áp 25,056 kV là gấp 1,97 lần so với điện áp pha định mức.

4. Kết luận

Khi thao tác đóng các pha như đã phân tích trên đây, có

thể xảy ra các trường hợp sự cố với tần số dao động quá điện áp lên đến hàng chục kHz.

Đối với đường dây tải điện trên không nối với đường dây cáp, khi có sự chuyển tiếp năng lượng giữa 2 môi trường có tổng trở sóng khác nhau, sóng lan truyền trên đường dây này sẽ tiếp tục lan truyền trên đường dây cáp kia. Tại điểm chuyển tiếp có 1 lượng sóng phản xạ lại, còn một lượng sóng tiếp tục chuyển tiếp trong đoạn cáp ngầm gọi là sóng khúc xạ. Như vậy, tại các điểm đầu nối của đường dây trên không và cáp ngầm sẽ có sự dao động điện áp tạo ra các sóng xung kích rất lớn.

Thông thường $L_2 > L_1$ nên sóng phản xạ bé hơn sóng khúc xạ, điều đó có nghĩa là điện áp cuối đoạn cáp ngầm lớn hơn điện áp đầu đoạn cáp ngầm và thực tế mô phỏng đã cho thấy điều đó.

Đặc biệt quá trình truyền sóng với đường dây không mang tải sẽ tạo ra sóng phản xạ toàn phần và tạo ra sóng cuối đường dây bằng 2 lần sóng tới, vì vậy điện áp quá độ sẽ gấp đôi điện áp nguồn

Với hệ thống cáp ngầm thì điện áp quá độ tại các điểm đầu nối với đường dây trên cao hoặc MBA có biên độ sóng rất lớn. Điều này rất nguy hiểm cho các đầu cáp vì có khả năng phóng điện gây sự cố ngắn mạch. Điện áp bên phía hạ áp cũng tăng rất cao, có thể làm già hóa cách điện của các cuộn dây, giảm tuổi thọ của MBA.

Để giảm thiệt hại do quá điện áp gây ra thì có thể thực hiện các biện pháp mang lại hiệu quả như đặt các chống sét

van tại các điểm đầu nối giữa các đầu cáp và chỗ đầu nối có tổng trở sóng khác nhau, tại vị trí thao tác đóng cắt đường dây. Mặc thêm L, C vào chỗ chuyển tiếp năng lượng giữa 2 tổng trở sóng khác nhau có thể làm cho đầu sóng khúc xạ bớt dốc hơn đầu sóng tới, giúp làm giảm tác hại của sóng xung kích truyền từ đường dây.

Tại chân sứ máy biến áp nên lắp thêm mô phỏng điện. Sử dụng LBS (Load Break Switch) để thao tác cả khi MBA mang tải nhằm giảm quá điện áp. Khi xảy ra sự cố cần giảm thời gian cô lập sự cố càng nhanh càng tốt. Cần phối hợp tốt giữa các thiết bị bảo vệ trong lưới phân phối như Recloser với LBS, giữa Recloser và cầu chì tự rơi (FCO) để giảm hiện tượng quá áp khi xảy ra sự cố.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hoàng Việt, 2007, *Kỹ thuật cao áp*, Đại học Quốc Gia Thành Phố Hồ Chí Minh.
- [2] Arie L. Shenkman, 2005, *Transient analysis of electric power circuits handbook*, Springer Publication.
- [3] Daniel W. Durbak, 2006, *Temporary Overvoltages Following Transformer Energizing*, Siemens.
- [4] R. Schainker, 2005, *Effects of Temporary Overvoltage on Residential Products: System Compatibility Research Project*, EPRI, Palo Alto.
- [5] Maialen Boyra, 2007, *Transient overvoltages in cable systems*, Chalmers University of Technology.
- [6] Juan A. Martinez-Velasco, 2010, *Power system transient parameterdetermination*, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [7] Neville Watson, Jos Arrillaga, *Power systemselectromagnetic transient simulation*, IEE, 2007.

(BBT nhận bài: 23/09/2014, phản biện xong: 16/10/2014)