

XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ BỘ BÙ ĐIỆN ÁP ĐỘNG (DVR) CHO TRẠM BIẾN ÁP XÍ NGHIỆP

DETERMINING THE LOCATION OF DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) FOR INDUSTRIAL SUBSTATION TRANSFORMER

TRƯỜNG HOÀI PHONG^{1,a}, NGUYỄN VĂN MINH²

¹Học viên cao học, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

^aTác giả liên hệ: phongthvlc@gmail.com

Nhận bài(Received): 16/5/2023; Phản biện (Reviewed):24/5/2023; Chấp nhận (Accepted):06/10/2023

TÓM TẮT

Sụt giảm điện áp ngắn hạn (SAG) là hiện tượng chất lượng điện năng (CLĐN) trong đó trị số hiệu dụng của điện áp giảm xuống dưới 0,9 pu trong thời gian dưới 1 phút. Nguyên nhân chính dẫn đến SAG chủ yếu là do ngắn mạch trong lưới điện, khởi động các động cơ, đóng điện không tải máy biến áp, trong đó ngắn mạch là nguyên nhân dẫn đến trên 90% các sự kiện SAG trong hệ thống điện. Hiện tượng SAG có thể gây nên những hậu quả thiệt hại về kinh tế. Để khắc phục hiện tượng SAG, nâng cao CLĐN, kinh tế ổn định cho doanh nghiệp, hiện có nhiều giải pháp mà trong đó, hiện nay, sử dụng các thiết bị FACTS nói chung, các thiết bị như bộ điều áp động (Dynamic Voltage Restorer – DVR) kết nối nối tiếp nói riêng là hướng giải quyết ngày càng được áp dụng rộng rãi. Việc xác định vị trí đặt thiết bị bù điện áp động (DVR) cho các nhà máy xí nghiệp là nhiệm vụ quan trọng để cho đảm bảo chất lượng điện áp nhằm mang lại hiệu quả kinh tế.

Từ khóa: lưới phân phối; chất lượng điện áp; sụt giảm điện áp ngắn hạn (SAG); thiết bị điều hòa công suất DVR; tối ưu hóa

ABSTRACT

Short-term voltage sag (SAG) is a power quality phenomenon in which the effective value of voltage drops below 0.9 pu for a duration of less than 1 minute. The main cause of SAG is typically due to short circuits in the power grid, motor starting, and no-load transformer energization, with short circuits being responsible for over 90% of SAG events in the power system. The SAG phenomenon can result in economic losses. To mitigate SAG, enhance power quality, and ensure economic stability for businesses, there are various solutions, among which, the use of FACTS devices in general, and devices such as Dynamic Voltage Restorers (DVR) in particular, are increasingly being widely applied. Determining the optimal location for installing DVR in industrial plants is an essential task to ensure power quality and maximize economic benefits.

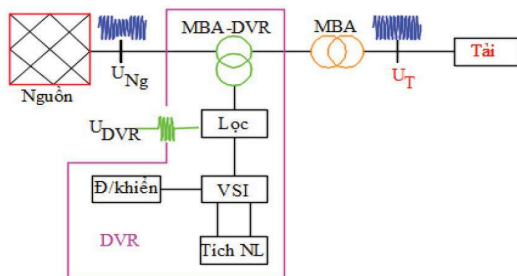
Keywords: power distribution grid; power quality; short-term voltage sag (SAG); dynamic voltage restorer (DVR); optimization.

Giới Thiệu

Chất lượng điện áp và tổn thất điện năng trong vận hành lưới phân phối điện luôn được quan tâm đối với các đơn vị vận hành tại Việt Nam cũng như tại Vĩnh Long hiện nay như các công ty Điện lực thường xuyên bị sự cố gây sụt giảm điện áp theo thống kê hàng năm khoảng 10 lần/năm. Gần đây, có nhiều phương pháp được nghiên cứu về việc xây dựng mô hình mô phỏng thiết bị DVR và các tác động khắc phục SAG của nó nhờ các điểm thuận lợi như thực hiện đơn giản và có khả năng làm việc hiệu quả, tin cậy trong giai đoạn xảy ra sự cố[1][2][3][4]. Việc xác định vị trí đặt thiết bị DVR trước hay sau MBA cho các phụ tải trong xí nghiệp về tác động biên độ điện áp, góc pha, công suất DVR chưa được quan tâm trong thực tế nên công trình nghiên cứu này mô phỏng DVR đặt trước và sau MBA nhằm khắc phục SAG trong lưới phân phối 6 nút, xây dựng mô hình toán DVR trong Matlab để tối ưu hóa vị trí của DVR.

2. Mô tả hệ thống lưới phân phối

Phát tuyến 479 của Long Hồ, Vĩnh

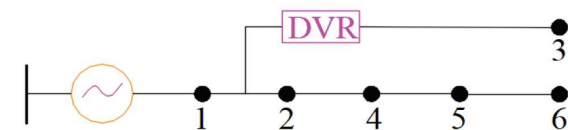


Hình 2. Vị trí đặt DVR trước và sau MBA nhà máy

Từ các vị trí này, tiến hành khảo sát và mô phỏng trên Matlab để phân tích, so sánh và chọn vị trí tốt nhất dựa trên các thông số kỹ thuật và kinh tế [3][4]. Điện áp U_{ng} là 22kV và điện áp sau máy biến áp U_T là 0,4kV. Giá trị điện áp hoạt động hiệu quả của các thiết bị trong nhà máy từ 0,9pu đến 1,1pu.

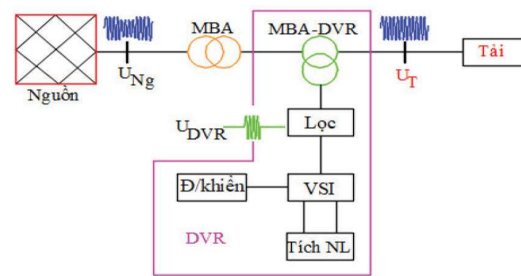
Long bắt đầu từ Trạm biến áp 110kV Phước Hòa, Hòa Phú đến Trạm máy biến áp ba pha 10MVA cho Nhà máy nước đá Long Phước số 162A, Long Thuận, Long Phước, Long Hồ, Vĩnh Long. Theo lưới phân phối 22kV theo mẫu 6 nút được thực hiện trong bài báo này có dạng hình tia, chiều dài khoảng 20km. Trạm biến áp 110kV/22kV. Nguồn điện cấp cho trạm biến áp này từ lưới điện Quốc gia thông qua tuyến đường dây 110kV chạy dọc theo tuyến Quốc lộ 1A. Hình 1 mô tả lưới phân phối của phát tuyến 479 theo cấu hình mẫu mạng phân phối 6 nút. Các phần tử đều là tải ba pha, cấu trúc hình tia và liên thông với nhau.

Mô hình lưới điện phát tuyến 479 theo 6 nút



Hình 1. Mạng phân phối phát tuyến 479

3. Sơ đồ nhà máy khi DVR đặt trước và sau máy biến áp



Nguyên tắc tác động bù điện áp của bộ DVR là chỉ bù áp cho phát tuyến không bị sự cố ngắn mạch trực tiếp, tức là bù sụt áp lan truyền do ngắn mạch gây nên. Khi tuyến có đặt bộ DVR xảy ra ngắn mạch, DVR sẽ không tác động và cô lập với lưới.

4. Mô hình toán để bù điện áp bằng hệ thống DVR [5]

Xem xét sơ đồ thể hiện trong hình 3

$$Z_{th} = R_{th} + jX_{th} \quad (0.1)$$

$$V_{DVR} + V_{th} = V_L + Z_{th}I_L \quad (0.2)$$

Khi đó điện áp rơi xảy ra tại V_L , DVR sẽ bơm một điện áp nối tiếp V_{DVR} thông qua máy biến áp cách ly do đó biên độ điện áp V_L có thể được phục hồi.

$$V_{DVR} = V_L + Z_{th}I_L - V_{th} \quad (0.3)$$

$$I_L = \left(\frac{P_L + jQ_L}{V_L} \right)^* \quad (0.4)$$

Trong đó V_L là điện áp mong muốn

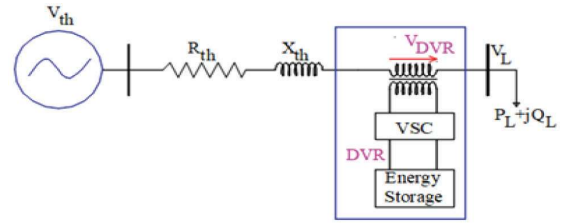
$$V_{DVR} \angle \alpha = V_L \angle 0^\circ + Z_{th}I_L (\beta - \theta) - V_{th} \angle \delta \quad (0.5)$$

Ở đây α , β và δ là góc của V_{DVR} , Z_{th} và V_{th} , tương ứng và θ là góc hệ số công suất tải với

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Q_L}{P_L} \right)$$

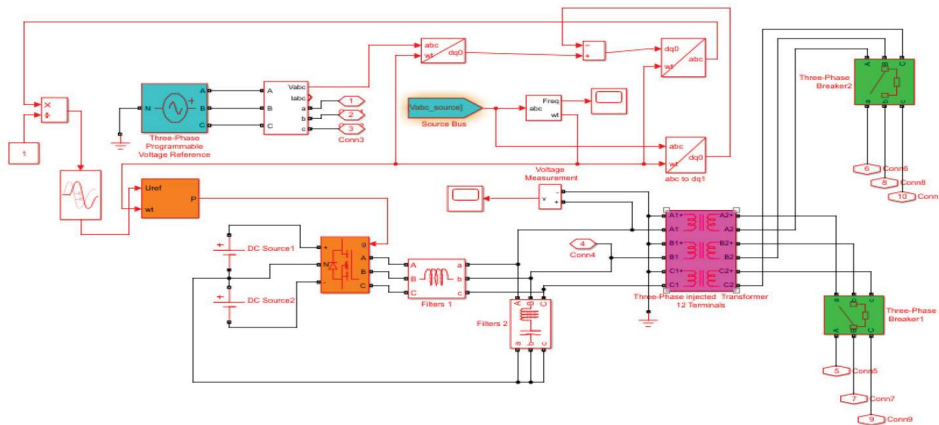
Công suất phát của DVR là

$$S_{DVR} = V_{DVR} I_L^* \quad (0.6)$$



Hình 3. Mô hình toán của DVR

Để thực nghiệm khảo sát các trường hợp nêu trên bám sát mô hình toán của DVR, nghiên cứu này đã xác định cấu trúc bộ điều khiển DVR như hình 4 sử dụng [6] [7]: vòng khóa pha PLL là một hệ thống điều khiển phản hồi vòng khép kín tạo ra một tín hiệu cùng tần số và góc pha của tín hiệu đầu vào, bao gồm 3 giai đoạn: tách pha, tạo dao động và vòng phản hồi. Khi có sự thay đổi của tần số và góc pha của tín hiệu đầu vào, bộ tạo dao động thay đổi tần số góc pha tạo ra bằng với tần số góc pha của tín hiệu đầu vào, xác định giá trị biên độ sụt giảm điện áp lúc sự cố để tác động bộ chuyển đổi DC-AC, bộ lọc để bù đúng điện áp sụt giảm lúc sự cố và tác động các khóa tự mở ra khi sự cố được lân cận được cô lập.



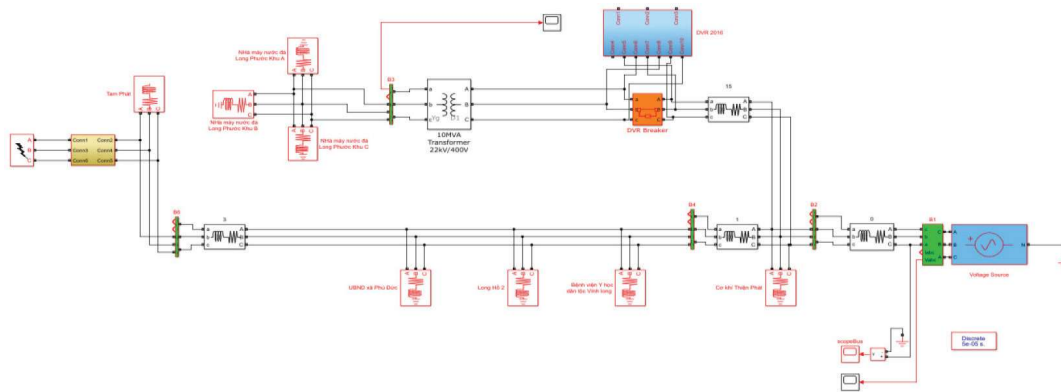
Hình 4. Cấu trúc bộ điều khiển DVR trong hệ thống

5. Khảo sát các trường hợp

5.1 DVR đặt trước MBA

Mô hình mô phỏng DVR được kết nối trước MBA, điểm mắc nối tiếp của MBA cách ly của bộ DVR phía cao áp 22kV. Bộ DVR được kết nối tự động thông qua 03 bộ đóng cắt tự động. Hai bộ đóng cắt nối tiếp

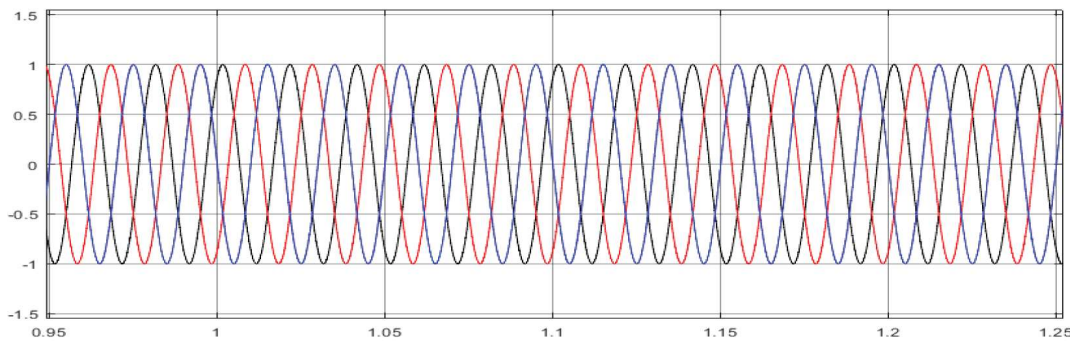
để bù nối tiếp điện áp kết hợp điện áp hiện hữu của hệ thống giúp cho điện áp đầu vào MBA trung thế gần như không đổi và vì thế điện thứ cấp MBA giữ ổn định và phụ tải nhà máy hoạt động bình thường lúc sự cố xảy ra. Một bộ đóng cắt để nối tắt bộ DVR lúc phụ tải làm việc bình thường khi không có sự cố.



Hình 5. Mô phỏng DVR đặt trước MBA

Trong sơ đồ cấu trúc, có đặt thiết bị đo để xác định công suất bù của DVR khi đặt trước và sau MBA để thu thập dữ liệu.

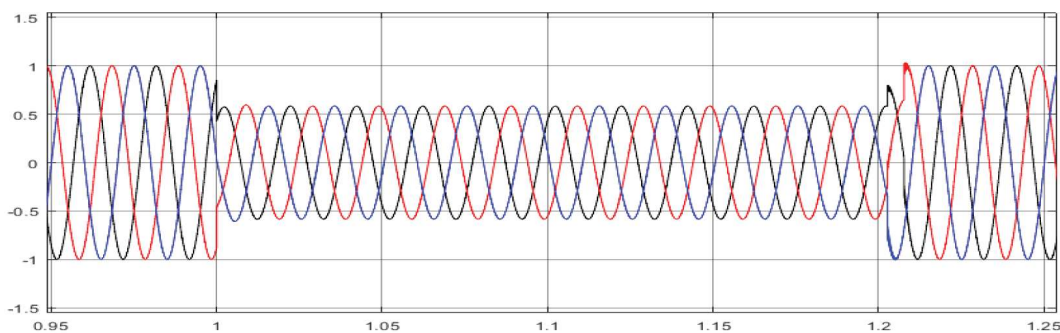
5.1.1 Trường hợp lưới điện 3 pha hoạt động bình thường



Hình 6. Dạng sóng điện áp lúc bình thường.

Điện áp tại thanh cái sau máy biến áp là 1pu, các pha đối xứng.

5.1.2 Khi ngắn mạch 3 pha chưa có DVR

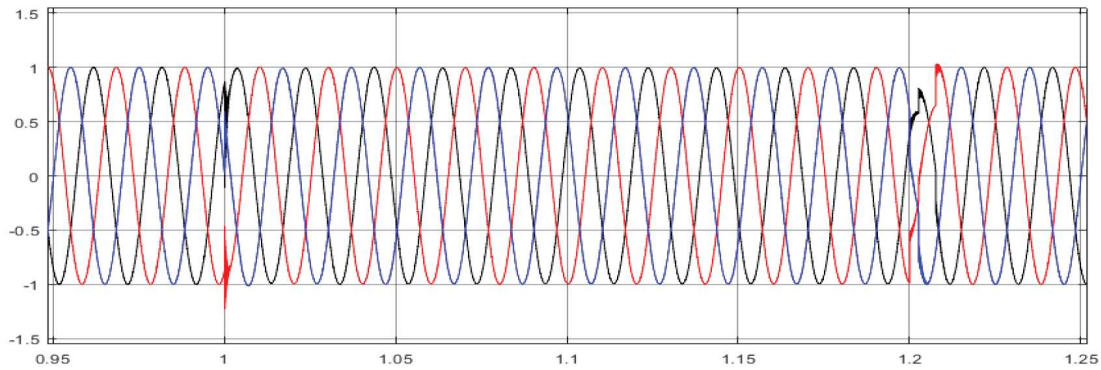


Hình 7. Dạng sóng điện áp lúc sự cố ngắn mạch với tổng trở ngắn mạch $Z_{ng} = Z_{ng} = 0,2574 + j1,675 \cdot 10^{-4}$ và không có DVR

Biên độ điện áp lúc ngắn mạch ảnh hưởng tại nhà máy chỉ còn 0,56pu. Trong thời gian này, các thiết bị nhạy cảm của nhà máy sẽ ngưng hoạt động hoặc

động không chính xác (như các thiết bị làm việc theo biên độ, số, góc pha..) gây thiệt hại rất lớn về kinh tế cũng như tuổi thọ của các thiết bị dùng điện.

5.1.3 Khi ngắn mạch 3 pha có DVR



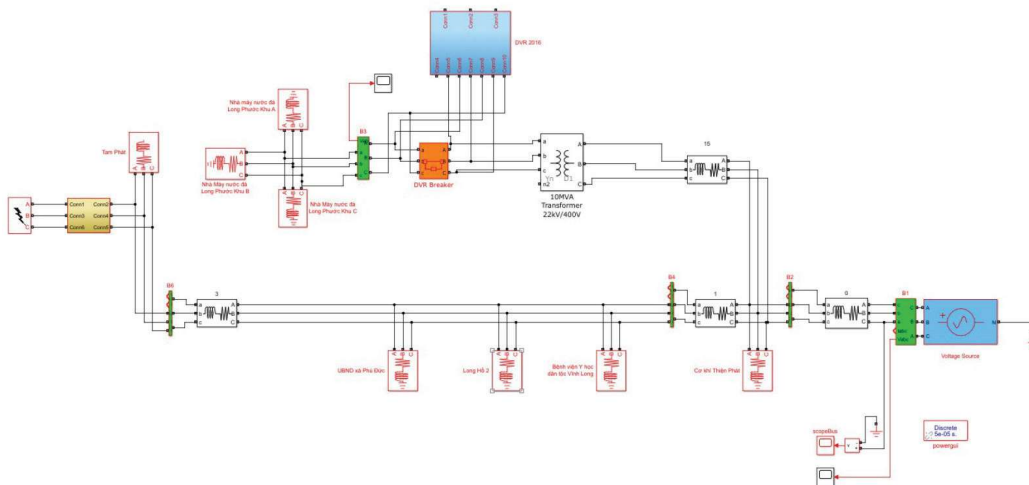
Hình 8. Dạng sóng điện áp lúc sự cố ngắn mạch với tổng trở ngắn mạch $Z_{ng}=Z_{ng}=0,2574+j1,675.10^{-4}$ và có đặt DVR trước MBA

Hệ thống cho thấy biên độ điện áp lúc xảy ra ngắn mạch từ 1s đến 1,2s, biên độ điện áp sau MBA vẫn bằng 1, góc pha vẫn duy trì như trước đảm bảo cho thiết bị làm việc hiệu quả không gây hậu quả kinh tế và tuổi thọ thiết bị đảm bảo. Tuy nhiên, lúc thời điểm xảy ra sự cố (1s), có sự quá độ dao động tuy rất nhỏ ít nhiều cũng ảnh hưởng đến hệ thống. Vì vậy, cấu trúc bộ điều khiển DVR và bộ lọc của nó đóng vai trò quan trọng quyết định hiệu quả và độ tin cậy khi bảo vệ cho nhà máy. Điện áp bù nối tiếp vào lưới là 0,44pu với dòng công suất chạy qua phía sơ cấp định mức của máy biến áp tương ứng là 260A. Công suất DVR bù cho trường hợp này là:

4359,2kVA.

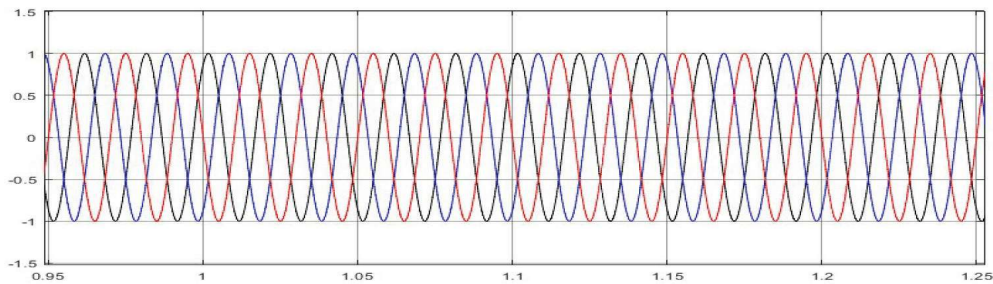
5.2 DVR đặt sau MBA

Mô hình mô phỏng DVR được kết nối trước MBA, điểm mắc nối tiếp của MBA cách ly của bộ DVR phía cao áp 22kV. Bộ DVR được kết nối tự động thông qua 03 bộ đóng cắt tự động. Hai bộ đóng cắt nối tiếp để bù nối tiếp điện áp kết hợp điện áp hiện hữu của hệ thống giúp cho điện áp đầu vào MBA trung thế gần như không đổi và vì thế điện thứ cấp MBA giữ ổn định và phụ tải nhà máy hoạt động bình thường lúc sự cố xảy ra. Một bộ đóng cắt để nối tắt bộ DVR lúc phụ tải làm việc bình thường khi không có sự cố.



Hình 9. Mô hình các thiết bị DVR

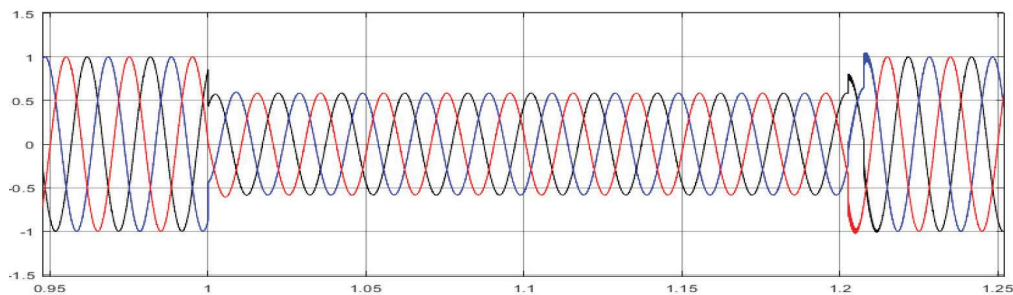
5.2.1 Trường hợp lưới điện 3 pha hoạt động bình thường



Hình 10. Dạng sóng điện áp lúc bình thường.

Điện áp tại thanh cái sau máy biến áp là 1pu, các pha đối xứng.

5.2.2 Khi ngắn mạch 3 pha chưa có DVR



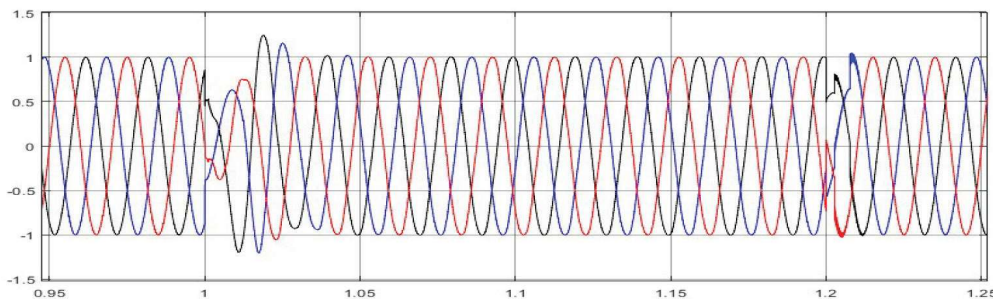
Hình 11. Dạng sóng điện áp lúc sự cố ngắn mạch với tổng trở ngắn mạch $Z_{ng} = 0,2574 + j1,675 \cdot 10^{-4}$ và không có DVR

Biên độ điện áp lúc ngắn mạch ảnh hưởng tại nhà máy chỉ còn 0,56pu. Trong thời gian này, các thiết bị nhạy cảm của nhà máy sẽ ngưng hoạt động hoặc hoạt động không chính xác (như các thiết bị làm việc theo biên độ, số, góc pha..) gây thiệt hại rất lớn về kinh tế cũng như tuổi thọ của các thiết bị dùng điện.

5.2.3 Khi ngắn mạch 3 pha có DVR

Hệ thống cho thấy biên độ điện áp lúc xảy ra ngắn mạch từ 1s đến 1,2s, biên độ

điện áp sau MBA vẫn bằng 1, góc pha vẫn duy trì như trước đảm bảo cho thiết bị làm việc hiệu quả không gây hậu quả kinh tế và tuổi thọ thiết bị đảm bảo. Tuy nhiên, lúc thời điểm xảy ra sự cố (1s), quá độ dao động dài hơn, do ảnh hưởng đến hệ thống. Vì vậy, cấu trúc bộ điều khiển DVR và bộ lọc của nó đóng vai trò quan trọng quyết định hiệu quả và độ tin cậy khi bảo vệ cho nhà máy. Điện áp bù phía hạ áp cũng bằng 0,44pu và dòng tải định mức là 14.433A. Công suất DVR bù cho trường hợp này là: 4399,76 kVA



Hình 12. Dạng sóng điện áp lúc sự cố ngắn mạch với tổng trở ngắn mạch $Z_{ng} = 0,2574 + j1,675 \cdot 10^{-4}$ và có đặt DVR sau MBA

6. Kết luận.

Tuy nhiên trong quá trình nhận dạng sóng điện áp tại thời điểm bắt đầu bù có thể xảy ra hiện tượng vọt lố điện áp tức thời tại thời điểm bắt đầu bù áp như hình 8 và hình 12.

Qua nghiên cứu về mô hình toán học DVR, cấu trúc bộ điều khiển DVR và khảo sát mô phỏng hai vị trí đặt bộ DVR trước và sau MBA cho thấy rằng: 1. Điện áp bù của bộ DVR cho hệ thống là tin cậy, hiệu quả, bù cả biên độ và góc pha giúp phụ tải nhà máy vượt qua sụt áp ngắn hạn do ngắn mạch gây ra; 2. Công suất đặt của DVR trường hợp đặt trước MBA là 4359,2 kVA

và sau MBA là 4399,76 kVA, chi phí đầu tư ban đầu cho hai trường hợp này là tương đương nhau về công suất; 3. So sánh về kỹ thuật, thông số bù, hiệu quả kinh tế nghiên cứu chọn đặt DVR tại phía cao áp tốt hơn vì có tính kỹ thuật tốt, vận hành dễ dàng, an toàn và đặc biệt khi có sự cố ngắn mạch xảy ra ở vùng lân cận DVR bù điện áp trước MBA nhanh chóng và hiệu quả hơn. Ngoài các trường hợp nghiên cứu trên, tác giả định hướng sẽ khảo sát các trường hợp bù áp khi ngắn mạch không đối xứng cũng như tác động hiệu quả về kỹ thuật cũng như kinh tế của trường hợp này để xác định vị trí DVR phù hợp hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. Rong Sun¹, Haifeng Qiu²(2016), “Voltage sag improvement using DVR and SVG in power systems”.
- [2] A. Pradesh (2017), “Support Dynamic Voltage Restorer (DVR) to reduce the rating of Voltage Source Converter (VSC) applied”.
- [3] V. Van Thang, N. Van Vien, and T. D. Tung(2019), “Tính Toán Vị Trí Và Dung Lượng Bù Tối Ưu Trong Lưới Điện Optimal Allocation and Sizing of Capacitors in Distribution,” vol. 195, no. 02, pp. 55–60, 1859.
- [4] Trần Duy Trinh(2014), “Nghiên cứu điều khiển bộ khôi phục điện áp động (DVR) để bù lờm điện áp cho phụ tải quan trọng trong xí nghiệp công nghiệp. Luận án tiến sĩ điều khiển và tự động hóa- Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.”.
- [5] INAGENDRABABU VASA 2SREEKANTH G, 3NARENDER REDDY NARRA, 4Dr. SRUJANA A(2012), “Series Compensation Technique for Voltage Sag Mitigation”.
- [6] N. H. M. Trần Duy Trinh , Nguyễn Văn Liên , Trần Trọng Minh(2014), “Thiết kế mô phỏng và thực nghiệm bộ khôi phục điện áp động (DVR) cho bù lờm điện áp trên lưới điện công nghiệp,” vol. 7, pp. 67–74, 2014.
- [7] Michael H. Bierhoff and Friedrich Wilhelm Fuchs(2009), “Active damping for three-phase PWM rectifiers with high-order line-side filters”.