

ỨNG DỤNG THIẾT BỊ DVR ĐỂ GIẢM SÓNG HÀI TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

HARMONICS REDUCTION IN DISTRIBUTION GRID USING DVR

Trương Ngọc Minh^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2024.259>

TÓM TẮT

Chất lượng điện năng hiện là một trong những vấn đề được các đơn vị quản lý vận hành lưới điện quan tâm đặc biệt. Sóng hài là dạng nhiễu không mong muốn trong lưới điện; có thể gây ra các tác hại như tăng phát nóng của dây dẫn điện, thiết bị điện sinh ra nhiệt cao gây hư hỏng thiết bị, hỏa hoạn và nguy cơ cháy nổ; làm cho tụ điện bị quá nhiệt và trong nhiều trường hợp có thể dẫn tới phá hủy chất điện môi. Bài báo này đề xuất sử dụng thiết bị khôi phục điện áp động Dynamic Voltage Restorer (DVR) nhằm giảm thiểu sóng hài trong lưới điện theo quy định. Mô hình của thiết bị DVR và một xuất tuyến trung áp của lưới phân phối Vinh Phúc được xây dựng trong phần mềm Matlab/Simulink. Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm chứng bằng kết quả mô phỏng.

Từ khóa: Sóng hài, sụt giảm điện áp ngắn hạn, thiết bị bù điện áp động.

ABSTRACT

Harmonics generated by non-linear critical loads are major anxiety for the industries. This paper proposes a method for dynamic voltage restorer (DVR) to limit voltage harmonics. DVR is a well-known a commercially available, popular device to eliminate voltage sags and swells in the distribution lines. Close loop control for DVR and a distribution grid of Vinh Phuc province are modeled and simulated using Matlab software. The simulation results of Vinh Phuc province distribution grid are presented to demonstrate the effectiveness of the proposed DVR system.

Keywords: Harmonics, least square method, voltage sag, dynamic voltage restorer.

¹Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: minh.truongngoc@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/6/2024

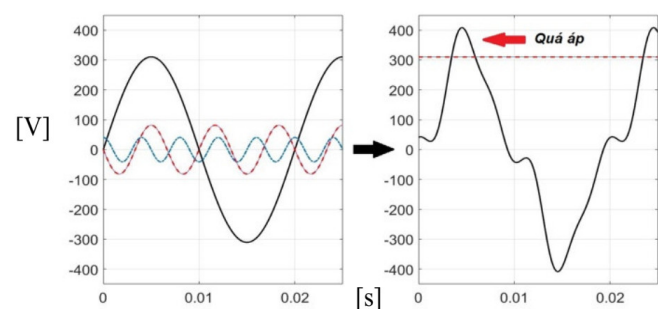
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/7/2024

Ngày chấp nhận đăng: 27/8/2024

1. GIỚI THIỆU

Do mức độ phức tạp về cấu trúc, nguồn điện và phụ tải trong lưới điện phân phối, nên các vấn đề liên quan đến chất lượng điện năng như sụt giảm điện áp ngắn hạn và sóng hài ngày càng được quan tâm rộng rãi.

Sóng hài là một dạng nhiễu không mong muốn trong hệ thống điện. Các sóng điện áp và dòng điện này là bội số nguyên của tần số cơ bản (50Hz hoặc 60Hz) và gây méo mó, biến dạng sóng sin ở tần số cơ bản. Sóng hài có thể làm cho cáp bị quá nhiệt, phá hỏng cách điện. Động cơ cũng có thể bị quá nhiệt hoặc gây tiếng ồn, cộng hưởng cơ khí và gây rung lắc. Tụ điện bị quá nhiệt, phần lớn các trường hợp có thể dẫn tới phá hủy chất điện môi. Như vậy, sóng hài có ảnh hưởng không tốt tới phụ tải và gây ảnh hưởng trực tiếp đến kế hoạch sản xuất và thiệt hại về kinh tế. Do đó cần phải giảm thiểu tối đa ảnh hưởng của sóng hài đảm bảo cho công tác vận hành hiệu quả, nâng cao chất lượng điện năng cung cấp cho phụ tải.



Hình 1. Minh họa sóng hài

Thiết bị Dynamic Voltage Restorer (DVR) [1] là một thiết bị FACTS được sử dụng để ngăn chặn hiện tượng sụt giảm điện áp ngắn hạn. Để tận dụng khả năng và tính linh hoạt của thiết bị DVR, tác giả đề xuất sử dụng thiết bị DVR để cải thiện điện áp và hạn chế ảnh hưởng của sóng hài

trong lưới điện trong bài báo này. Hiệu quả của phương pháp đề xuất sẽ được kiểm chứng bằng kết quả tính toán mô phỏng cho một lưới điện tỉnh Vĩnh Phúc bằng phần mềm Matlab/Simulink.

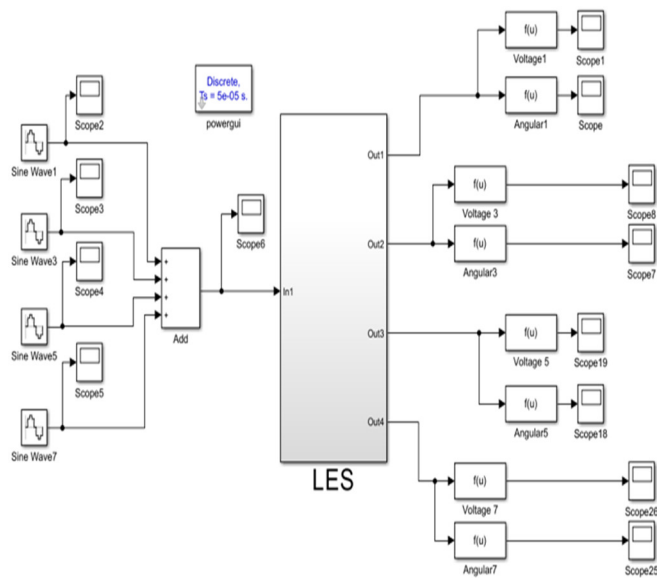
2. PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG ĐIỆN ÁP VÀ GÓC PHA ĐỀ XUẤT

2.1. Cơ sở toán học

Phương pháp ước lượng điện áp và góc pha dựa trên cơ sở thuật toán bình phương cực tiểu [3-6] đã được tác giả ứng dụng và xây dựng mô hình bộ ước lượng điện áp và góc pha trong bài báo [2].

2.2. Mô hình bộ ước lượng điện áp

Bộ ước lượng điện áp và góc pha được mô hình hoá trong Matlab/Simulink như hình 2.



Hình 2. Mô hình bộ ước lượng điện áp và góc pha

Khối tín hiệu Sine Wave1, Sine Wave3, Sine Wave5, Sine Wave7: là tín hiệu đầu vào các bậc 1, 3, 5, 7. Khối LES: xử lý tín hiệu sử dụng hệ phương trình với thời gian hoạt động đặt $t = 0,02s$.

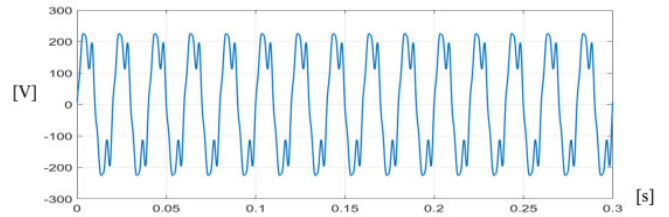
Khối Voltage1, Voltage3, Voltage5, Voltage7 thu thập tín hiệu điện áp đầu ra của các tần số bậc 1, 3, 5, 7.

Khối Angular1, Angular3, Angular5, Angular7: thu thập tín hiệu góc pha của các tần số bậc 1, 3, 5, 7.

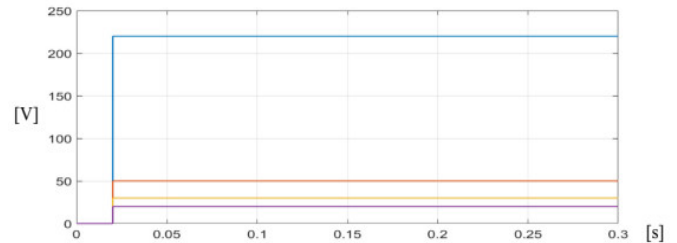
Ví dụ: Khảo sát bộ LES với tín hiệu đầu vào gồm các thành phần tần số cơ bản và sóng hài các bậc 3, 5, 7.

Giả sử dạng tín hiệu đầu vào có dạng như sau:

$$v(t) = 220 \sin(50t) + 50 \sin\left(3 * 50t - \frac{\pi}{4}\right) + 30 \sin\left(5 * 50t + \frac{\pi}{3}\right) + 20 \sin\left(7 * 50t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (1)$$



Hình 3. Tín hiệu điện áp đầu vào bộ LES



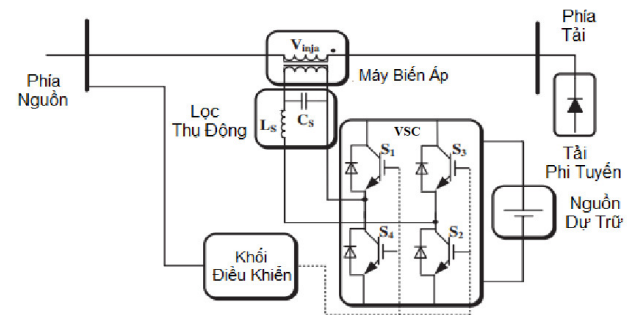
Hình 4. Điện áp ước lượng thành phần bậc cơ bản và các thành phần bậc 3, 5, 7

Nhận xét: Kết quả mô phỏng (hình 4) cho thấy, giá trị độ lớn thành phần cơ bản cũng như các thành phần bậc cao đều được ước lượng nhanh, chính xác với sai số rất nhỏ. Từ đó, tín hiệu hiệu sau khi được phân tích sẽ đưa vào bộ điều khiển để đưa ra điện áp bù thích hợp.

3. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA THIẾT BỊ DVR

3.1. Cấu tạo

Thiết bị khôi phục điện áp động DVR bao gồm: bộ phận cấp năng lượng, bộ biến đổi, bộ lọc tần số chuyển mạch, máy biến áp, bộ điều khiển [7] như hình 5.



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc 1 pha của DVR kết nối lưới

3.2. Nguyên lý làm việc

Khi có sự thay đổi điện áp tại điểm kết nối thiết bị DVR thì bộ ước lượng điện áp đề xuất ở trên sẽ phát hiện sự chênh lệch giữa phía nguồn cấp và phụ tải. Tín hiệu điện áp chênh lệch này sẽ được gửi đến khối điều khiển. Khối điều khiển có chức năng tính toán biên độ điện áp cần bù, tín hiệu điện áp bù này được gửi đến bộ điều chế xung điều khiển của thiết bị nguồn áp VSC. Xung điều khiển mạch nghịch lưu cầu Full H-Bridge, mạch nghịch lưu áp

này biến đổi điện áp DC từ nguồn dự trữ thành điện áp xoay chiều đúng với tín hiệu điện áp cần bù của khối điều khiển.

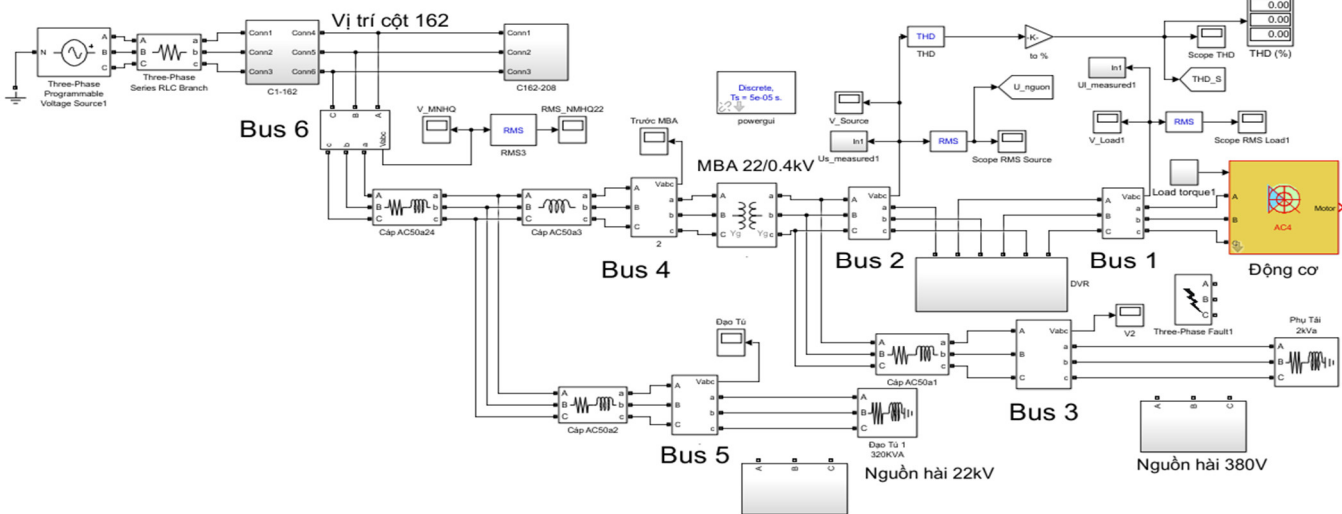
4. ÁP DỤNG TÍNH TOÁN XUẤT TUYẾN 474E25.5 LƯỚI ĐIỆN VINH PHÚC

4.1. Sơ đồ tính toán

Dựa trên số liệu thực tế của lưới điện trung thế tỉnh Vĩnh Phúc, tác giả đã xây dựng xuất tuyến 22kV474E25.5 cung cấp điện cho các phụ tải từ trạm biến áp 110kV Vĩnh Tường trên phần mềm Matlab/Simulink.

Sơ đồ mô phỏng gồm những khối chính như sau: nguồn 22kV đầu xuất tuyến 474E25.5, khối phụ tải và đường dây từ cột 1 đến cột 162 và từ cột 162 đến cột 208, máy biến áp 22/0,4kV, đường dây AC50, nguồn hài cấp 380V, nguồn hài 22kV, động cơ không đồng bộ 2kVA, phụ tải tuyến tính có công suất 2kVA và thiết bị DVR. Thông số của thiết bị DVR: VDC = 150V; bộ nghịch lưu IGBT có tần số wsw = 30kHz; mạch lọc L = 3.10⁻⁴H, C = 4.10⁻⁴F; MBA tổ đấu dây Y/Y, tỉ số biến đổi 1/2,5 và công suất 3kVA.

Sơ đồ mô phỏng được thể hiện chi tiết qua hình 6.



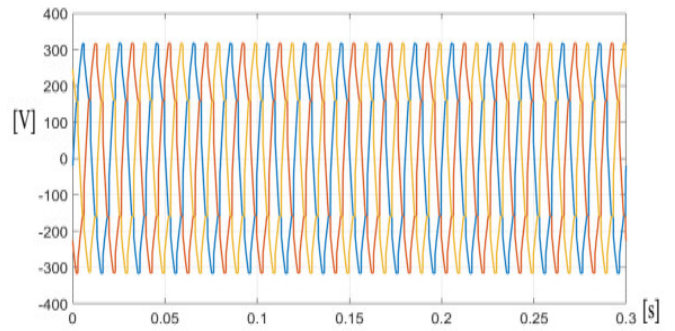
Hình 6. Sơ đồ mô phỏng xuất tuyến 474E25.5

4.2. Các kịch bản mô phỏng

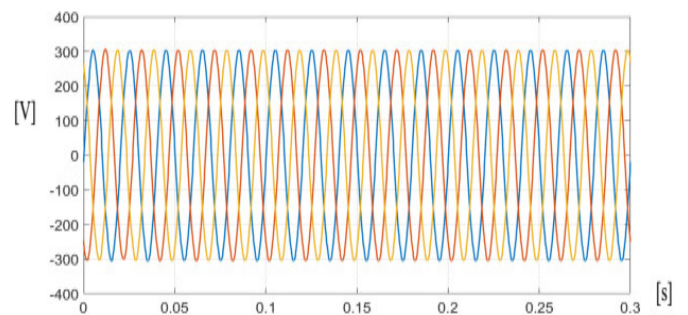
Theo báo cáo của điện lực Tam Dương (Vĩnh Phúc), hằng ngày cứ vào khoảng thời gian 22h ngày hôm trước đến 5h00 ngày hôm sau chất lượng điện năng không tốt, một số bộ tụ của điện lực đặt tại một số vị trí trong lưới rất nhanh bị hư hỏng. Qua quan sát các bộ tụ hỏng thường bị phồng do quá nhiệt.

Kịch bản 1: Sóng hài từ động cơ (núT 1)

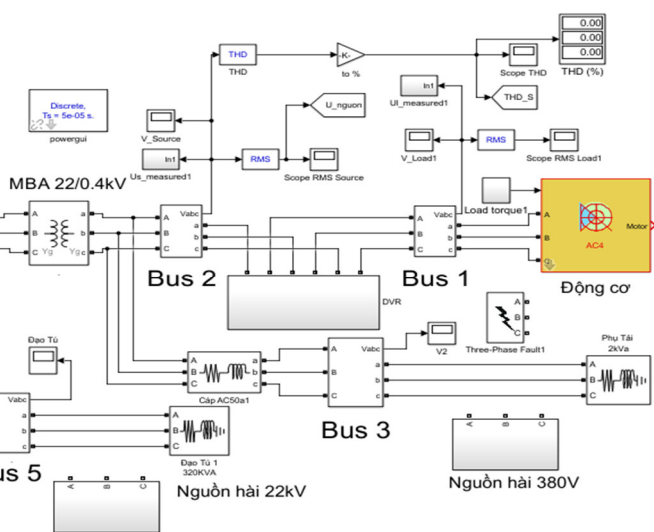
Trong kết quả mô phỏng này, mô hình động cơ không đồng bộ có công suất 2kVA được sử dụng với thời gian mô phỏng trong 0,3s trong các kịch bản khác nhau.



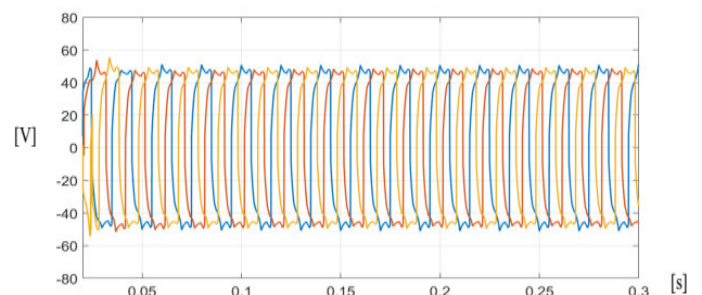
Hình 7. Điện áp động cơ với THD = 11,77%



a)



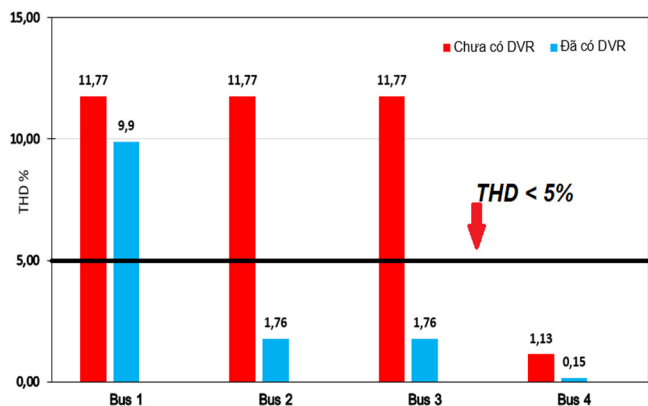
b)



Hình 8. a) Điện áp phía nguồn với THD = 1,76% b) Điện áp DVR

Kết quả mô phỏng hình 7, 8 cho thấy, DVR đã giảm thiểu sóng hài phát sinh từ động cơ lên lưới điện cụ thể

THD phía động cơ khi chưa lắp DVR là 11,77%, THD khi có DVR phía lưới điện là 1,76%. Độ méo điện áp tại một số nút trong hệ thống được thống kê trong hình 9 qua chỉ số THD.

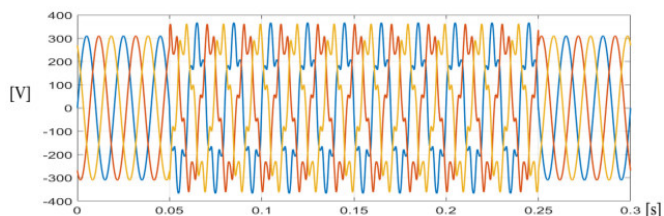


Hình 9. THD tại một số nút trong hệ thống

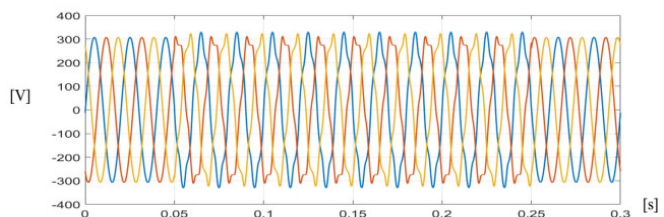
Tại nút 2 và 3, sóng hài đã được loại bỏ đáng kể, chỉ số THD giảm rõ rệt nhỏ hơn 5% đã nằm trong giới hạn cho phép.

Kịch bản 2: Sóng hài từ nút 3

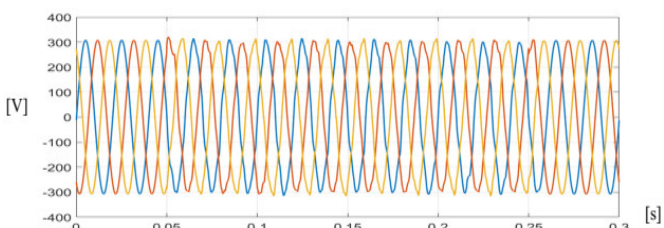
Trong kịch bản này, xét sự ảnh hưởng của sóng hài phát sinh từ nhánh 380V lân cận (THD = 19,44%). Nguồn hài đặt tại phụ tải 2 (nút 3) bao gồm các bậc 3, 5, 7, 11... Sự cố phát sinh từ phụ tải 2 trong khoảng thời gian từ 0,05s đến 0,25s.



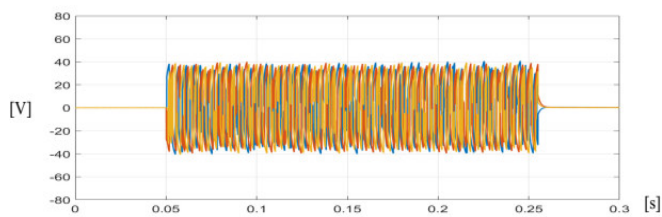
Hình 10. Điện áp phụ tải 2 với THD = 19,44%



a)



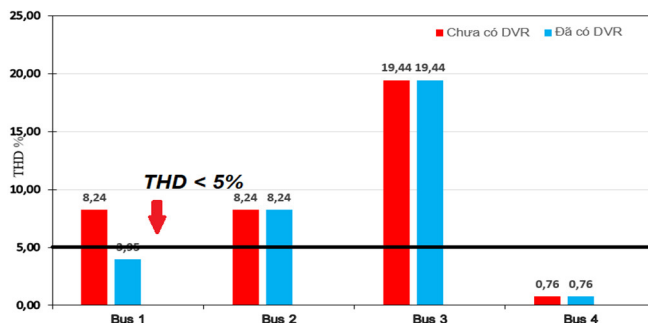
b)



c)

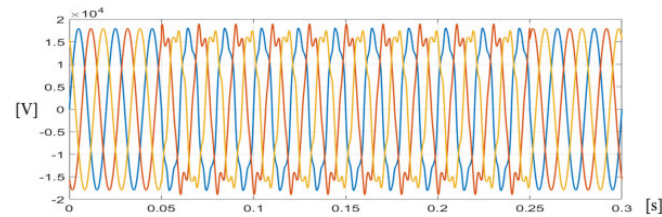
Hình 11. a) Điện áp tải trước khi bù với THD = 8,24%, b) Điện áp tải sau khi bù với THD = 3,95%, c) Điện áp DVR

THD trước và sau khi đặt thiết bị DVR tại nút 1 lần lượt là 8,24% và 3,95%. Độ méo điện áp tại các nút được thống kê trong hình 12.

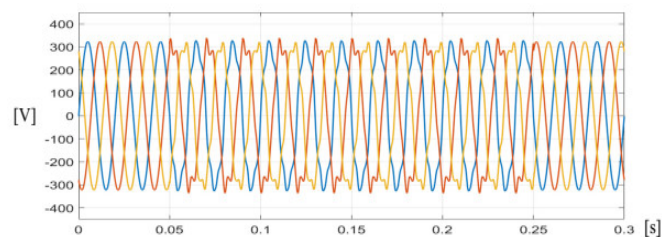


Hình 12. THD tại một số nút trong hệ thống

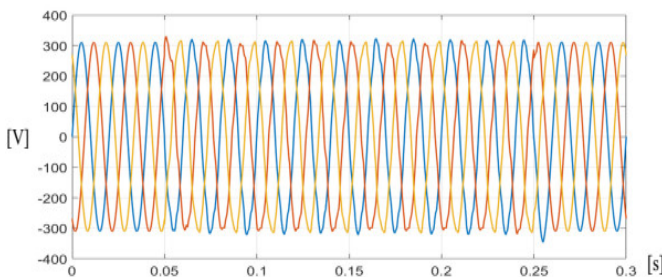
Kịch bản 3: Sóng hài từ xuất tuyến 22kV (nút 5)



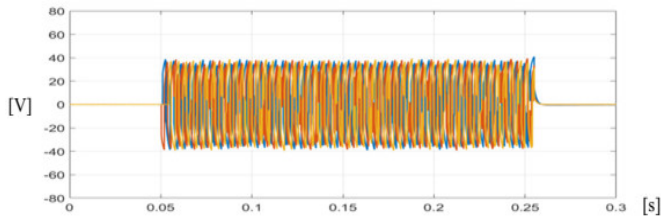
Hình 13. Điện áp tại nút 5 với THD = 11,75%



a)



b)

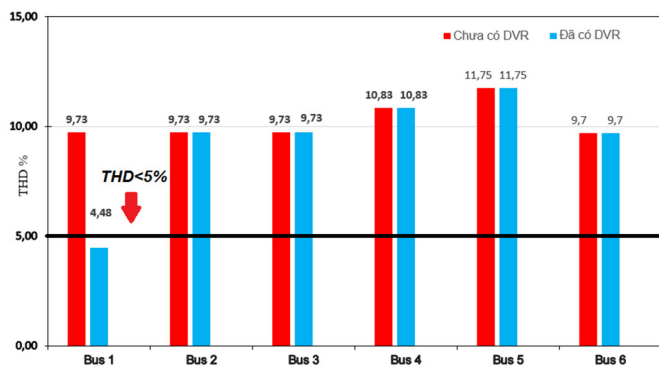


c)

Hình 14. a) Điện áp tại nút 1 trước khi bù với THD = 9,73%, b) Điện áp tại nút 1 sau khi bù với THD = 4,48%, c) Điện áp DVR

Trong kịch bản này, sóng hài phát sinh từ phụ tải công nghiệp lấy điện trực tiếp từ cấp 22kV. Nguồn hài đặt tại nút 5 trong hệ thống với giá trị THD = 8,47% làm ô nhiễm sóng hài trên toàn tuyến. Hệ thống xuất hiện sự cố sóng hài từ thời điểm 0,05s đến 0,25s.

Từ kết quả mô phỏng, có thể thấy thiết bị DVR đặt trước động cơ không đồng bộ, sóng hài đã được giảm thiểu rất đáng kể cụ thể độ méo THD đã giảm từ 9,73% xuống còn 4,48%. Phụ tải 2 tại nút 3 do chưa được lắp thiết bị DVR trị số THD tại nút 3 rất cao 9,73%. Độ méo điện áp tại một số nút được thể hiện qua hình 15.



Hình 15. THD tại các nút trong hệ thống

5. KẾT LUẬN

Trong phạm vi nghiên cứu của bài báo, tác giả đã đề xuất phương pháp ước lượng điện áp và góc pha cho thiết bị khôi phục điện áp động DVR nhằm ngăn ngừa sụt giảm điện áp ngắn hạn và ảnh hưởng xấu của sóng hài đến lưới điện. Kết quả mô phỏng của các kịch bản khác nhau cho xuất tuyến 474E25.5 tỉnh Vĩnh Phúc cho thấy phương pháp đề xuất đã giảm thiểu ảnh hưởng của sóng hài trong lưới điện và ngăn ngừa hiệu quả sụt giảm điện áp ngắn hạn.

Các kết quả bước đầu này có thể là căn cứ để xem xét lắp đặt thiết bị DVR trong lưới điện phân phối nhằm đảm bảo công tác vận hành, nâng cao chất lượng điện áp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Naeem Abas, Saad Dilshad, Adnan Khalid, Muhammad Shoaib Saleem, Nasrullah Khan, "Power Quality Improvement Using Dynamic Voltage Restorer," *IEEE Access*, 8, 2020.
- [2]. Trương Ngọc Minh, Đào Anh Tú, "Research the Method Estimation of Fast and Accurate Sag Voltage", *JST: Engineering and Technology for Sustainable Development*, 31, 5, 2021.
- [3]. M.V.Kasuni Perera, *Control of a Dynamic Voltage Restorer to compensate single phase voltage sags*. Master of Science Thesis, Stockholm, Sweden, 2007.
- [4]. Gabriele D'Antona, "The Full Least-Squares Method", *IEEE Trans. Inst. Mea*, 52, 1, 2003.
- [5]. M. S. Sachdev, M. M. Giray, "A Least Error Squares Technique For Determining Power System Frequency," *IEEE Trans. Pow. Appa. Sys*, PAS-98, 6, 1979.
- [6]. Guo Hengdao, *Frequency Tracking and Phasor Estimation Using Least Squares and Total Least Squares Algorithms*. Theses and Dissertations-Electrical and Computer Engineering, 57p, 2014.
- [7]. S. J. Yao, et al., "The Design of Filter Parameters of Dynamic Voltage Restorer in Medium Voltage Network," *Applied Mechanics and Materials*, 654, 133-141, 2014.

AUTHOR INFORMATION

Trương Ngọc Minh

School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam