

NGĂN CHẶN LỖM/LÒI ÁP TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI BẰNG THIẾT BỊ PHỤC HỒI ĐIỆN ÁP ĐỘNG

MITIGATION OF VOLTAGE SAG/SWELL IN DISTRIBUTION NETWORK USING DYNAMIC VOLTAGE RESTORERS

Đình Thành Việt¹, Nguyễn Hữu Hiếu², Ngô Minh Khoa³, Đoàn Đức Tùng³

¹*Đại học Đà Nẵng; dtviet@ac.udn.vn*

²*Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; huuhieu019@yahoo.com*

³*Trường Đại học Quy Nhơn; nmkhoa@ftt.edu.vn; ddtung@ftt.edu.vn*

Tóm tắt - Lõm/lỗi áp là những sự kiện có thể gây hại cho các tải nhạy cảm trên lưới điện phân phối (LĐPP). Có nhiều giải pháp được áp dụng để ngăn chặn lõm/lỗi áp, trong số đó thiết bị phục hồi điện áp động (DVR) là giải pháp rất hiệu quả. Bài báo đề xuất cấu trúc và phương pháp điều khiển DVR nhằm ngăn chặn lõm/lỗi áp, tránh các tác hại gây ra đối với các tải nhạy cảm trên LĐPP. Phương pháp sử dụng kỹ thuật tạo điện áp bù đồng pha với điện áp nguồn và biến đổi d-q-0 để kịp thời phát hiện và tạo ra điện áp bù giữ cho điện áp tải luôn bằng điện áp định mức trong suốt khoảng thời gian lõm/lỗi áp xảy ra ở phía nguồn. DVR được mô hình hóa trên Matlab/Simulink và các trường hợp lõm/lỗi áp ba pha và một pha được khảo sát để đánh giá hiệu quả tác động của DVR trong việc ngăn chặn lõm/lỗi áp. Các chỉ số méo dạng hài điện áp tải cũng được tính toán bằng phương pháp phân tích Fourier để đánh giá chất lượng điện áp tải.

Từ khóa - Lõm áp; lỗi áp; lưới điện phân phối; chất lượng điện áp; thiết bị phục hồi điện áp động.

Abstract - Voltage sag/swell are events that can affect sensitive equipment in distribution network. There are many solutions to voltage sag/swell. Among them, dynamic voltage restorer (DVR) is an effective solution. This paper proposes structure and method of DVR control for mitigating voltage sag/swell and avoiding harmful effects on sensitive equipment in distribution network. The method uses techniques to generate injected voltage, in-phase with the source voltage and the d-q-0 transform to detect and generate injected voltage in order to maintain load voltage at rated voltage level during voltage sag/swell appearance at source side. DVR has been modeled in Matlab/Simulink. Three-phase voltage and one-phase voltage sag/swell have been examined to assess impacts of DVR on mitigating voltage sag/swell. The total harmonic distortion indexes of voltage load have also been calculated with Fourier analysis method to evaluate quality of load voltage.

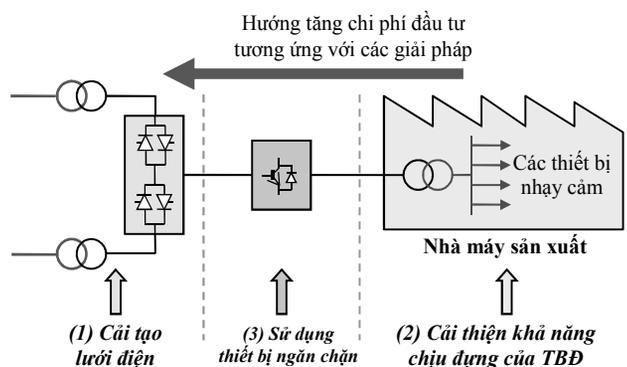
Key words - Voltage sag; voltage swell; distribution network; voltage quality; dynamic voltage restorer.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay việc sử dụng ngày càng nhiều thiết bị điện tử công suất trong công nghiệp đã mang lại nhiều hiệu quả trong hoạt động và hiệu suất công việc được nâng cao. Tuy nhiên, các tải này rất nhạy với các nhiễu loạn điện áp xảy ra ngay tại vị trí đầu nối của tải với lưới. Chúng cũng có thể gây ra gián đoạn quá trình sản xuất của khách hàng và dẫn đến thiệt hại kinh tế [1, 2]. Trong số các nhiễu loạn điện áp, lõm/lỗi áp là các sự kiện thường xảy ra nhất so với các dạng còn lại bởi các nguyên nhân khác nhau [2] như: ngắn mạch trong hệ thống điện, khởi động các động cơ công suất lớn, đóng không tải máy biến áp lực,...

Lõm áp được định nghĩa là sự sụt giảm điện áp trị hiệu dụng xuống thấp hơn điện áp định mức trong khoảng từ 0,1 đến 0,9 p.u và diễn ra trong khoảng thời gian từ nửa chu kỳ đến một phút [1, 2]. Ngược lại, lỗi áp được định nghĩa là sự tăng cao điện áp trị hiệu dụng trên giá trị điện áp định mức trong khoảng từ 1,1 đến 1,8 p.u và cũng diễn ra trong khoảng thời gian từ nửa chu kỳ đến một phút [3]. Ngắt các tải lớn, đóng điện các tụ bù,... có thể là những nguyên nhân gây ra lỗi áp.

Các tải nhạy cảm như thiết bị điện tử công suất, bộ điều khiển logic khả trình, bộ biến tần... có thể bị hư hỏng, bị ngắt gây ngưng trệ quá trình sản xuất, ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm và gây thiệt hại kinh tế cho khách hàng. Các giải pháp khác nhau được thể hiện như trong Hình 1 có thể được sử dụng để ngăn chặn lõm/lỗi áp trong LĐPP [2, 3]. Những giải pháp đó bao gồm: (1) *Cải tạo lưới điện*, (2) *cải thiện khả năng chịu đựng của thiết bị điện (TBD) đối với lõm/lỗi áp*, (3) *sử dụng các thiết bị ngăn chặn lõm/lỗi áp tại các vị trí đầu nối của các tải nhạy cảm*.



Hình 1. Các giải pháp ngăn chặn lõm/lỗi

Giải pháp thông thường nhất được sử dụng để ngăn chặn lõm/lỗi áp là lắp đặt các thiết bị ngăn chặn tại các vị trí kết lưới của tải nhạy cảm chẳng hạn như máy biến áp cộng hưởng sắt từ, hệ động cơ – máy phát, khóa chuyển mạch tĩnh, bộ nguồn cấp liên tục, DVR. Trong số đó, DVR được xem như là giải pháp hiệu quả và kinh tế nhất, được sử dụng để ngăn chặn lõm/lỗi áp [2]. Do đó bài báo này tập trung nghiên cứu, đề xuất giải pháp bảo vệ các tải nhạy cảm để chống lại lõm/lỗi áp dựa trên cơ sở sử dụng DVR.

2. DVR và các kỹ thuật tạo điện áp bù

2.1. Cấu trúc cơ bản của DVR

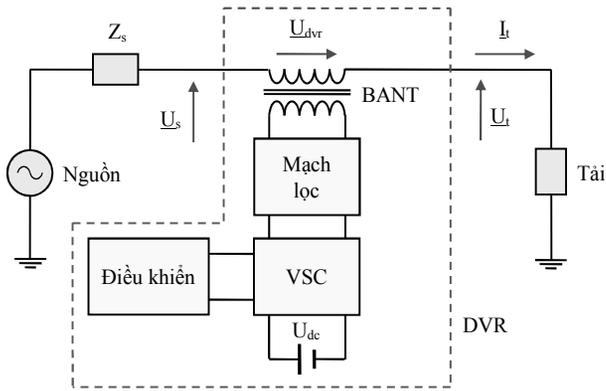
DVR được thể hiện như trong Hình 2 là một thiết bị mắc nối tiếp, được sử dụng để ngăn chặn các lõm/lỗi áp trên LĐPP [4-7]. DVR duy trì điện áp tải ở giá trị góc pha và biên độ định mức bằng cách bù lõm/lỗi áp xuất hiện tại

điểm nổi chung. Thiết bị này bù lôm/lỗi áp bằng cách bổ sung thêm một điện áp nối tiếp với điện áp nguồn để duy trì điện áp tải đạt yêu cầu. DVR có khả năng tác động nhanh để có thể bù điện áp thiếu hụt vào hệ thống, bởi vì các tải nhạy cảm quan trọng rất nhạy đối với nhiều loạn điện áp (NLĐA). Các bộ phận chính của DVR bao gồm:

- *Bộ biến đổi*: Bộ biến đổi nguồn áp (VSC) điều chế độ rộng xung điện áp DC từ DC-link sang điện áp AC để chèn vào lưới điện.

- *Mạch lọc*: Mạch lọc sóng hài để giảm tần số chuyển mạch được tạo ra bởi bộ biến đổi nguồn áp điều chế độ rộng xung.

- *Máy biến áp nối tiếp*: Trong hầu hết các ứng dụng, DVR được trang bị MBA nối tiếp để đảm bảo cách ly hoàn toàn và để đơn giản hóa cấu trúc bộ biến đổi và thiết bị bảo vệ DVR.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý của DVR

- *DC-link và hệ thống tích trữ năng lượng*: Điện áp DC-link được sử dụng bởi bộ VSC để tạo nên điện áp AC đưa vào lưới điện và cung cấp công suất tác dụng cần thiết để phục hồi điện áp nguồn trong suốt thời gian xảy ra lôm áp.

2.2. Các kỹ thuật tạo điện áp bù

Để thuận tiện trong việc so sánh hiệu quả giữa ba kỹ thuật tạo điện áp bù của DVR, trong bài báo sử dụng sơ đồ của DVR như trong Hình 3 để phân tích. Trong đó, \underline{U}_s , \underline{U}_t và \underline{U}_{dvr} lần lượt thể hiện cho điện áp phía nguồn, điện áp phía tải và điện áp bù bởi DVR. Để thuận lợi trong việc phân tích, tính chất phi tuyến của bộ nghịch lưu được bỏ qua. Suốt quá trình xảy ra lôm áp, hệ số công suất của tải được giả thiết không đổi và có tính chậm pha sau so với điện áp. Ngoài ra, tải được giả thiết là đối xứng. Các ảnh hưởng phi tuyến do hiện tượng bão hòa từ của MBA nối tiếp được bỏ qua.

Trong DVR, điện áp \underline{U}_{dvr} được tạo ra bởi bộ VSC dựa trên nguyên tắc điều chế độ rộng xung hình sin (SPWM). Năng lượng bơm vào được thiết lập thông qua hệ thống tích trữ năng lượng nối với bộ nghịch lưu nguồn áp. Trong Hình 2, hệ thống tích trữ năng lượng được thể hiện thông qua điện áp U_{dc} .

Hiệu quả của mỗi kỹ thuật bù phụ thuộc rất nhiều vào việc điều khiển điện áp \underline{U}_{dvr} . Có ba phương pháp tạo điện áp bù của DVR là: “*Bù đồng pha*”, “*bù trước lôm*” và “*bù tiết kiệm năng lượng*” [3]. Sự khác biệt chính giữa ba kỹ thuật này là ở việc lựa chọn điện áp tham chiếu đối với hệ thống điều khiển của DVR trong suốt quá trình phục hồi điện áp động.

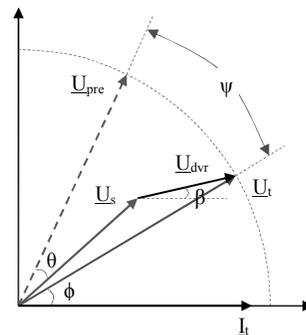
Trong kỹ thuật bù đồng pha điện áp tải, sau khi bù \underline{U}_t luôn

luôn đồng pha với điện áp nguồn \underline{U}_s . Do đó điện áp tham chiếu của hệ thống điều khiển sẽ luôn luôn đồng pha với \underline{U}_s . Nhưng với kỹ thuật bù trước lôm cần phải giám sát liên tục điện áp trước lôm \underline{U}_s . Thông qua điện áp bù \underline{U}_{dvr} , điện áp tải \underline{U}_t được phục hồi bằng với giá trị trước khi lôm áp. Kỹ thuật này sử dụng điện áp trước lôm như là điện áp tham chiếu cho hệ thống điều khiển DVR. Cuối cùng là kỹ thuật bù tiết kiệm năng lượng, là tạo ra điện áp bù U_{dvr} để điều chỉnh góc pha của điện áp tải U_t , nhưng vẫn đảm bảo biên độ của U_t vẫn bằng với giá trị trước khi lôm áp. Do đó, U_t sẽ có hiện tượng dịch góc pha so với điện áp trước khi lôm áp. Bằng cách thay đổi góc dịch pha này, công suất tác dụng bơm vào có thể được điều khiển đến giá trị cực tiểu nhằm tiết kiệm năng lượng của hệ thống tích trữ năng lượng. Đồ thị vectơ ứng với ba kỹ thuật bù có thể được thể hiện dưới dạng tổng quát như Hình 3. Trên Hình 3, tổng công suất tác dụng bơm vào từ DVR dưới điều kiện lôm áp được tính như sau:

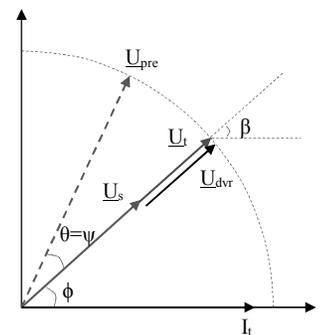
$$P_{dvr} = 3|\underline{U}_{dvr}||\underline{I}_t| \cos \beta$$

$$= 3[|\underline{U}_t| \cos \phi - |\underline{U}_s| \cos(\phi + \psi - \theta)]|\underline{I}_t| \quad (1)$$

Trong đó: β là góc lệch pha giữa \underline{I}_t và \underline{U}_{dvr} . Phương trình (1) sẽ được khảo sát cho từng kỹ thuật tạo điện áp bù được trình bày ở các mục tiếp sau.



Hình 3. Kỹ thuật bù lôm áp



Hình 4. Bù đồng pha

2.2.1. Bù đồng pha (In-phase compensation)

Kỹ thuật bù đồng pha là kỹ thuật cần tạo ra điện áp tải sau khi bù \underline{U}_t đồng pha với điện áp nguồn \underline{U}_s , do đó góc lệch ψ sẽ bằng với góc lệch θ . Đồ thị vectơ của kỹ thuật này được thể hiện như trong Hình 4. Từ Hình 4 và (1) công suất bơm vào từ DVR được xác định như sau:

$$P_{dvr} = 3[|\underline{U}_t| \cos \phi - |\underline{U}_s| \cos(\phi)]|\underline{I}_t| \quad (2)$$

Suốt quá trình lôm áp, $|\underline{U}_t| > |\underline{U}_s|$ nên kỹ thuật này sẽ bơm một lượng công suất tác dụng từ DVR vào lưới điện.

2.2.2. Bù trước lôm (pre-sag compensation)

Kỹ thuật bù trước lôm thường được sử dụng trong các ứng dụng thực tế của DVR, bởi vì nó tạo ra điện áp tải hầu như không bị méo dạng. Bằng cách giám sát liên tục điện áp nguồn \underline{U}_s , điện áp bù \underline{U}_{dvr} được tạo ra bởi DVR sao cho điện áp tải \underline{U}_t được bù đến giá trị trước khi lôm áp xảy ra \underline{U}_{pre} . Do đó góc lệch ψ sẽ bằng 0 và đồ thị vectơ của kỹ thuật này được thể hiện như trong Hình 5. Từ Hình 5 và công thức (1), công suất bơm vào được xác định như sau:

$$P_{dvr} = 3[|\underline{U}_t| \cos \phi - |\underline{U}_s| \cos(\phi - \theta)]|\underline{I}_t| \quad (3)$$

2.2.3. Bù tiết kiệm năng lượng (NL)

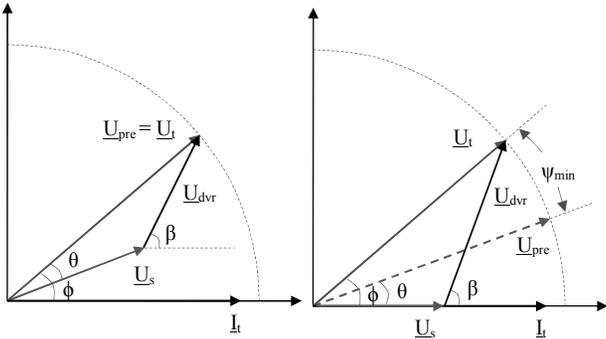
Mục đích của kỹ thuật bù tiết kiệm năng lượng là tạo ra

điện áp bù U_{dvr} để điều chỉnh góc pha của điện áp tải U_t nhưng vẫn đảm bảo biên độ của U_t vẫn bằng với giá trị trước khi lôm áp. Do đó, U_t sẽ có hiện tượng dịch góc pha ψ so với điện áp trước khi lôm áp U_{pre} . Bằng cách thay đổi góc dịch pha này, công suất tác dụng bơm vào có thể được điều khiển đến giá trị cực tiểu nhằm tiết kiệm năng lượng của hệ thống tích trữ năng lượng.

Từ (1), ta thấy khi $\cos(\phi + \psi - \theta) = 1$ thì công suất tác dụng bơm vào sẽ đạt giá trị cực tiểu:

$$P_{dvr} = 3|U_{inj}| |I_t| \cos \beta = 3[|U_t| \cos \phi - |U_s|] |I_t| \quad (4)$$

Biểu thức (4) xảy ra khi $\psi = \psi_{min} = \theta - \phi$. Khi đó $P_{dvr} = P_{min} > 0$. Điều này có nghĩa rằng DVR vẫn phải bơm một lượng công suất tác dụng vào lưới để bù lôm áp, nhưng chỉ với một lượng nhỏ, kỹ thuật bù này được thể hiện dưới dạng đồ thị vectơ Hình 6.



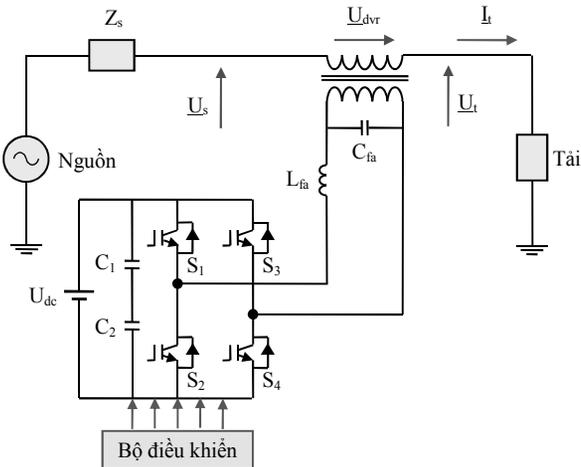
Hình 5. Bù trước lôm

Hình 6. Bù tiết kiệm NL

3. Phương pháp ngăn chặn lôm/ lồi áp bằng DVR

3.1. Cấu trúc đề xuất của DVR

Cấu trúc của DVR dạng một pha được sử dụng trong bài báo này được thể hiện như trong Hình 7. Trong đó bộ chuyển đổi nguồn áp sử dụng các IGBT nhận tín hiệu điều khiển từ bộ điều khiển. Mạch lọc sử dụng cuộn dây điện áp (L_{fa}) và tụ điện (C_{fa}) mắc ở phía bộ chuyển đổi nguồn áp. Sử dụng máy biến áp nối tiếp để chèn điện áp nối tiếp vào lưới điện khi có lôm/lồi áp xảy ra.

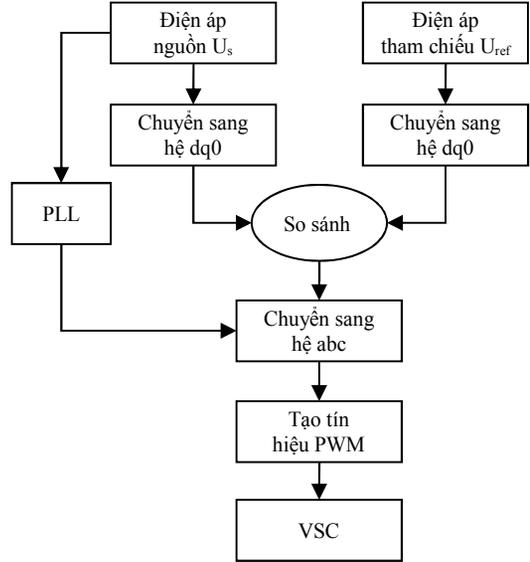


Hình 7. Sơ đồ cấu trúc đề xuất của DVR

3.2. Hệ thống điều khiển DVR

Hệ thống điều khiển DVR được ứng dụng trong bài báo

này sử dụng phương pháp biến đổi d-q-0. Khi lôm/lồi áp xảy ra thì điện áp đầu ra của bộ chuyển đổi nguồn áp sẽ được điều khiển đồng pha với điện áp phía nguồn để điều chỉnh điện áp tải bằng giá trị định mức trong khoảng thời gian lôm/lồi áp xảy ra ở phía nguồn. Sơ đồ khối của hệ thống điều khiển DVR sử dụng phương pháp biến đổi d-q-0 được thể hiện như trong Hình 8.



Hình 8. Sơ đồ điều khiển DVR dựa trên biến đổi d-q-0

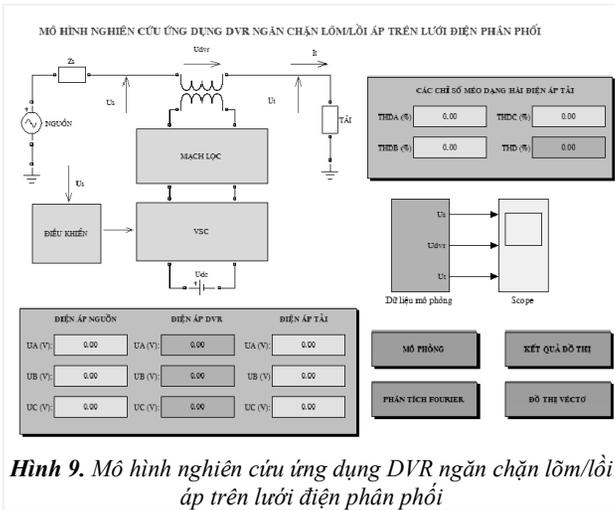
Phương pháp biến đổi d-q-0 hay còn gọi là biến đổi Park tạo ra giá trị biên độ và góc pha của lôm/lồi áp ở phía nguồn để so sánh với giá trị điện áp tham chiếu. Sau đó sự sai khác giữa điện áp nguồn và điện áp tham chiếu trong hệ d-q-0 sẽ được chuyển đổi ngược lại sang hệ a-b-c. Giá trị đó được sử dụng để tạo điện áp tham chiếu và xung kích mở các IGBT trong bộ chuyển đổi nguồn áp bằng cách sử dụng SPWM. Bộ phận vòng khóa pha (PLL) được sử dụng để tạo ra sóng sin đơn vị đồng pha với điện áp phía nguồn. Phương pháp biến đổi từ hệ ba pha a-b-c sang hệ d-q-0 được thực hiện theo phương trình sau:

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ U_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \sin \theta & \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

4. Kết quả nghiên cứu

Mô hình DVR đề xuất trong bài báo này được mô hình hóa trên Matlab/Simulink. Ngoài ra các thông số giám sát điện áp nguồn, điện áp DVR và điện áp tải cũng được thể hiện trên giao diện của chương trình mô phỏng như trong Hình 9.

Sau khi mô phỏng chế độ làm việc của DVR nhằm ngăn chặn lôm/lồi áp thì chương trình có thể thực hiện phân tích Fourier tín hiệu điện áp ở phía tải, để cho biết kết quả chỉ số méo dạng sóng hài điện áp của từng pha và méo dạng hài tổng (THD%) (thể hiện trong giao diện của chương trình mô phỏng). Các thông số của các phần tử trong mô hình nghiên cứu được thể hiện như trong Bảng 1.



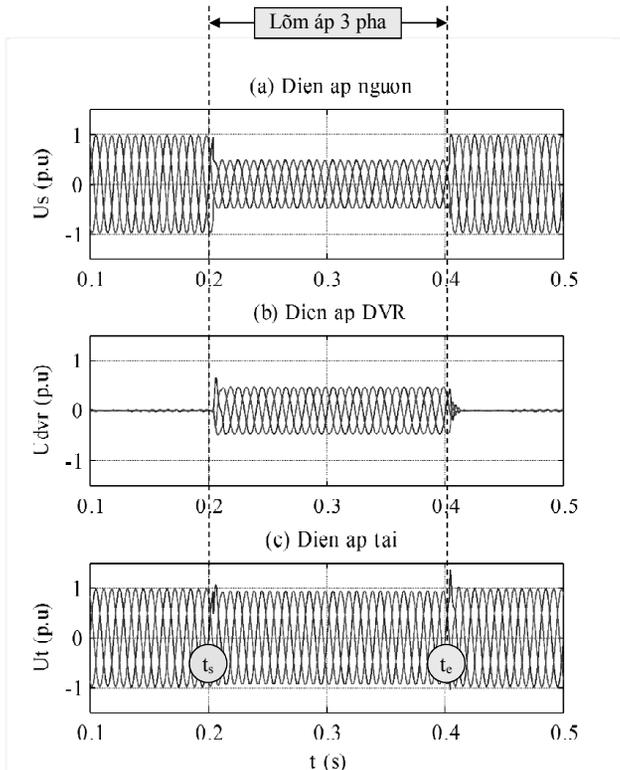
Hình 9. Mô hình nghiên cứu ứng dụng DVR ngăn chặn lôm/lỗi áp trên lưới điện phân phối

Bảng 1. Thông số các phần tử trong mô hình

Phần tử	Thông số
Nguồn	$U = 400 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $R_s = 1 \Omega$; $L_s = 3.2 \text{ mH}$
Tải	$U = 400 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $S = 3 \text{ kVA}$; $\cos\phi = 0.9$
BANT	Tỉ số 1:2; $S_{dm} = 3 \text{ kVA}$; $R = 0.01 \text{ p.u}$; $L = 0.005 \text{ p.u}$;
Mạch lọc	$L_f = 500 \text{ mH}$; $C_f = 4.7 \mu\text{F}$
DC link	$U_{dc} = 565 \text{ V}$

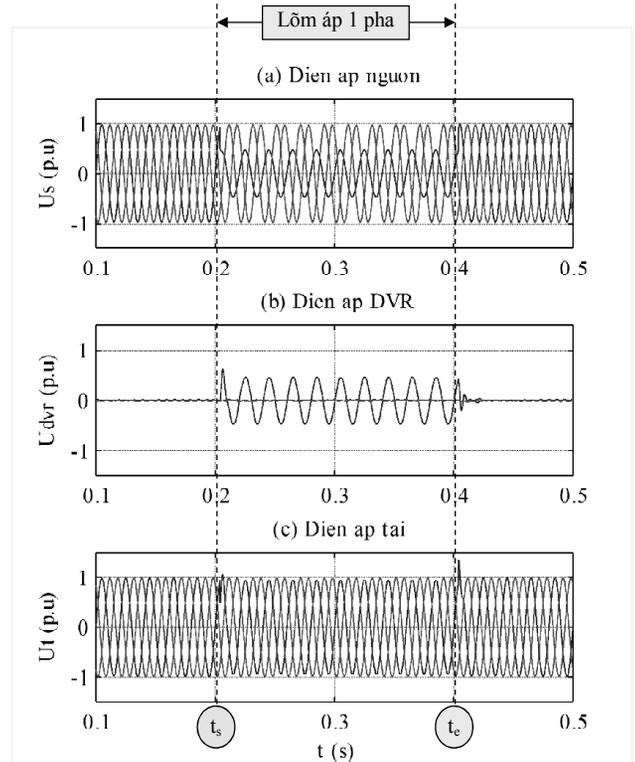
4.1. Lôm áp

Để nghiên cứu hiệu quả của DVR trong việc ngăn chặn lôm áp, hai dạng lôm áp ba pha và lôm áp một pha được khảo sát như sau:



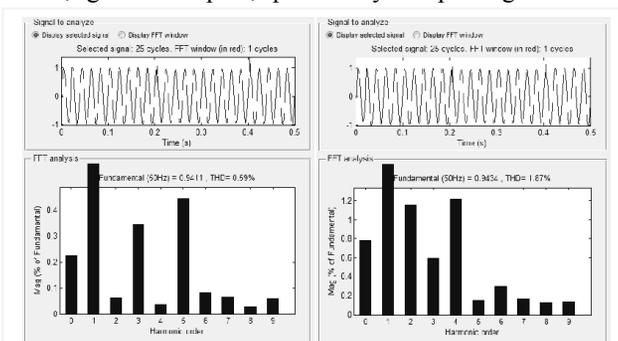
Hình 10. Lôm áp ba pha ($U_{sag} = 0.5 \text{ p.u}$): (a) Điện áp nguồn; (b) Điện áp DVR; (c) Điện áp tải

Giả sử lôm áp ba pha với $U_{sag} = 0,5 \text{ p.u}$ xảy ra ở phía nguồn bắt đầu tại thời điểm $t_s = 0,2 \text{ s}$ và kết thúc tại thời điểm $t_c = 0,4 \text{ s}$. Cả ba pha điện áp nguồn giảm xuống còn $0,5 \text{ p.u}$ trong khoảng thời gian từ $0,2 - 0,4 \text{ s}$ như trong Hình 10(a). Khi lôm áp được phát hiện, DVR tạo ra điện áp bù nối tiếp với điện áp nguồn có dạng sóng như Hình 10(b) để bù điện áp thiếu hụt do lôm áp gây ra. Kết quả điện áp tải được duy trì bằng điện áp định mức $1,0 \text{ p.u}$ như trong Hình 10(c) trong suốt khoảng thời gian lôm áp ở phía nguồn xảy ra. Do đó tải không bị tác động của lôm áp ba pha đã xảy ra ở phía nguồn.



Hình 11. Lôm áp một pha ($U_{sag} = 0.5 \text{ p.u}$) (a) Điện áp nguồn; (b) Điện áp DVR; (c) Điện áp tải

Trường hợp lôm áp một pha ở phía nguồn được khảo sát như trong Hình 11. Trong trường hợp này, pha A bị lôm áp trong khoảng thời gian $0,2 - 0,4 \text{ s}$ như trong Hình 11(a). Khi lôm áp được phát hiện thì DVR cũng tạo ra điện áp bù trên pha A như Hình 11(b). Kết quả điện áp tải được duy trì bằng điện áp định mức như trên Hình 11(c). Do đó tải không bị tác động của lôm áp một pha đã xảy ra ở phía nguồn.



(a) (b)

Hình 12. Phân tích Fourier 1 chu kỳ của tín hiệu điện áp tải sau khi bù: (a) Lôm áp ba pha, (b) Lôm áp một pha

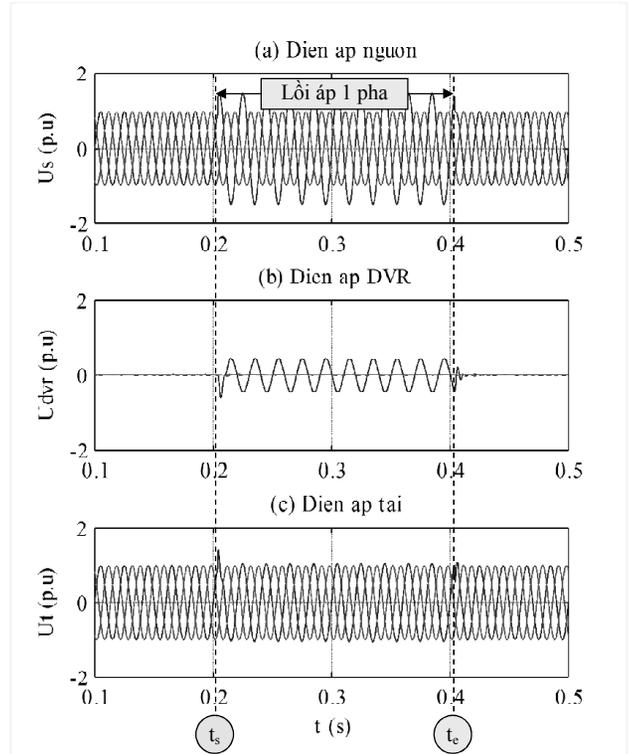
Sau khi DVR bù lôm áp để giữ điện áp tải không đổi, trong bài báo sử dụng phương pháp Fourier để phân tích đoạn sóng 1 chu kỳ của tín hiệu điện áp tải sau khi bù lôm áp, để đánh giá các chỉ số méo dạng hài do DVR có thể gây ra trên tải trong các trường hợp lôm áp xảy ra. Kết quả dưới dạng biểu đồ phổ tần số của hai trường hợp lôm áp ba pha và lôm áp một pha được thể hiện như trong Hình 12. Kết quả cho thấy đối với lôm áp ba pha thì THD của điện áp tải pha A bằng 0,59% còn đối với lôm áp một pha thì THD của điện áp tải pha A bằng 1,87%.

4.2. Lỗi áp

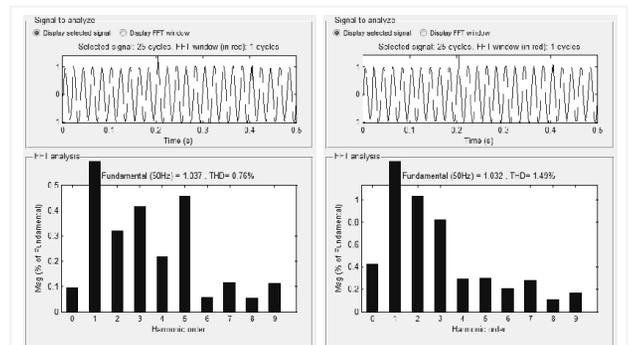
Để nghiên cứu hiệu quả của DVR trong việc ngăn chặn lỗi áp, hai dạng lỗi áp ba pha và lỗi áp một pha được khảo sát như sau:

Giả sử lỗi áp ba pha với $U_{swell} = 1,5$ p.u xảy ra ở phía nguồn bắt đầu tại thời điểm $t_s = 0,2$ s và kết thúc tại thời điểm $t_c = 0,4$ s. Cả ba pha điện áp nguồn tăng lên đến 1,5 p.u trong khoảng thời gian từ 0,2 – 0,4 s như trong Hình 13(a). Khi lỗi áp được phát hiện, DVR tạo ra điện áp bù nối tiếp với điện áp nguồn có dạng sóng như Hình 13(b) để bù điện áp tăng cao do lỗi áp gây ra. Kết quả điện áp tải được duy trì bằng điện áp định mức 1,0 p.u như trong Hình 13(c) trong suốt khoảng thời gian lỗi áp ở phía nguồn xảy ra. Do đó tác động của lỗi áp ba pha đã xảy ra ở phía nguồn.

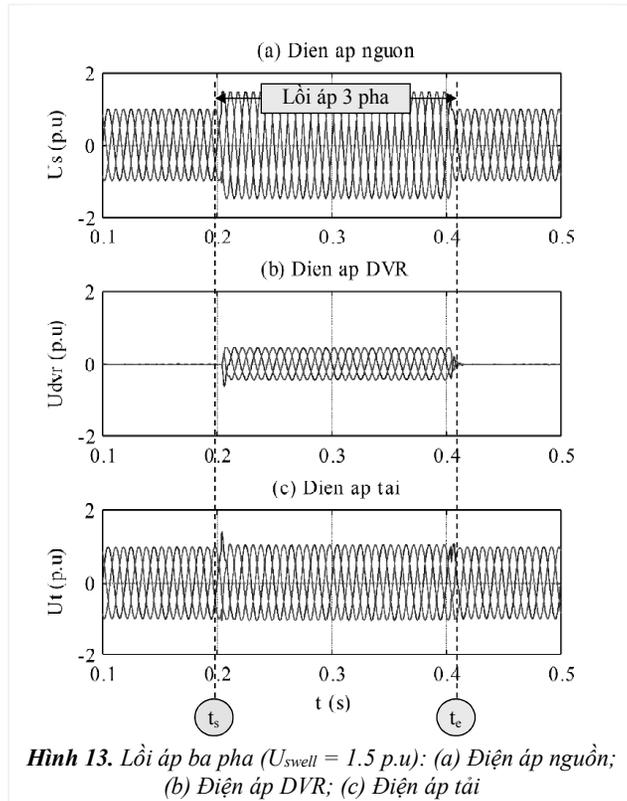
hiệu điện áp tải sau khi bù lỗi áp để đánh giá các chỉ số méo dạng hài do DVR có thể gây ra trên tải trong các trường hợp lỗi áp xảy ra. Kết quả dưới dạng biểu đồ phổ tần số của hai trường hợp lỗi áp ba pha và lỗi áp một pha được thể hiện như trong Hình 15. Qua đó cho thấy, đối với lỗi áp ba pha thì THD của điện áp tải pha A bằng 0,76% còn đối với lỗi áp một pha thì THD của điện áp tải pha A bằng 1,49%.



Hình 14. Lỗi áp một pha ($U_{swell} = 1.5$ p.u): (a) Điện áp nguồn; (b) Điện áp DVR; (c) Điện áp tải



Hình 15. Phân tích Fourier 1 chu kỳ của tín hiệu điện áp tải sau khi bù: (a) Lỗi áp ba pha, (b) Lỗi áp một pha



Hình 13. Lỗi áp ba pha ($U_{swell} = 1.5$ p.u): (a) Điện áp nguồn; (b) Điện áp DVR; (c) Điện áp tải

Trường hợp lỗi áp một pha ở phía nguồn được khảo sát như trong Hình 14. Trong trường hợp này pha A bị lỗi áp trong khoảng thời gian 0,2 – 0,4 s như trong Hình 14(a). Khi lỗi áp được phát hiện thì DVR cũng tạo ra điện áp bù trên pha A như Hình 14(b). Kết quả điện áp tải được duy trì bằng điện áp định mức như trên Hình 14(c). Do đó tác động của lỗi áp một pha đã xảy ra ở phía nguồn.

Tiến hành phân tích Fourier đoạn sóng 1 chu kỳ của tín

5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất cấu trúc và phương pháp điều khiển DVR nhằm ngăn chặn lôm/lỗi áp trên LĐPP. Sử dụng kỹ thuật tạo điện áp bù đồng pha với điện áp nguồn khi xảy ra lôm/lỗi áp kết hợp với phương pháp biến đổi d-q-0 để chuyển đổi điện áp nguồn trong hệ ba pha a-b-c. Sau đó so sánh với điện áp tham chiếu để tạo ra tín hiệu điện áp tham chiếu và sử dụng SPWM để tạo xung kích mở các IGBT trong bộ chuyển đổi nguồn áp. Điện áp tạo ra ở phía thứ cấp của máy biến áp nối tiếp phụ thuộc vào dạng lôm/lỗi

áp cũng như các tham số của chúng, sao cho tạo ra điện áp tải bằng điện áp định mức trong suốt khoảng thời gian xảy ra lôm/lỗi áp.

Ngoài ra, bài báo còn đề xuất chương trình mô phỏng DVR sử dụng Matlab/Simulink giúp dễ dàng khảo sát trường hợp cần nghiên cứu. Các trường hợp lôm/lỗi áp ba pha đã được khảo sát nhằm đánh giá hiệu quả của mô hình đề xuất trong bài báo này. Kết quả mô phỏng cho thấy DVR đã đảm bảo được vai trò ngăn chặn lôm/lỗi áp trên LDPP, đồng thời chỉ số méo dạng sóng hài của điện áp tải sau khi bù cũng không đáng kể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Đình Long, Nguyễn Sỹ Chương, Lê Văn Doanh, Bạch Quốc Khánh, Hoàng Hữu Thuận, Phùng Anh Tuấn, Đinh Thành Việt, *Sách tra cứu về chất lượng điện năng*, NXB Bách khoa, Hà Nội, 2013.
- [2] Math H. Bollen (2000), *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, Wiley-IEEE Press.
- [3] A. Ghosh, G. Ledwich, *Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices*, Springer, 2002.
- [4] Rauf, A.M.; Khadkikar, V., An Enhanced Voltage Sag Compensation Scheme for Dynamic Voltage Restorer, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2015, Vol.62(5):2683-2692.
- [5] Raunak Jangid, Kapil Parkh, Pradeep Anjana, Reducing the Voltage Sag and Swell Problem in Distribution System Using Dynamic Voltage Restorer with PI Controller, *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, January 2014, vol.3(6):193-202.
- [6] Ngo Minh Khoa, Dinh Thanh Viet, Nguyen Huu Hieu, Nguyen Le Hoa (2015), "A Control Strategy for Dynamic Voltage Restorer", *Proceedings of The 11th IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS 2015)*, 9-12 June 2015, Sydney, Australia.
- [7] Mahsan Sadoughipour, Behrooz Vahidi, Gholam Hossein Riahy, Modeling and Simulation of a Dynamic Voltage Restorer for Voltage Sag Mitigation and Harmonics Elimination, *Sci. Int. (Lahore)*, Vol. 26(2):627-631, 2014.

(BBT nhận bài: 10/01/2016, phản biện xong: 22/02/2016)