

CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG ĐIỆN ÁP TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI 22KV CÓ PHỤ TẢI PHI TUYẾN DÙNG D-STATCOM VÀ BỘ LỌC SÓNG HÀI

VOLTAGE QUALITY IMPROVEMENT IN 22KV DISTRIBUTION NETWORK CONNECTED NONLINEAR LOAD USING D-STATCOM AND HARMONIC FILTERS

Nguyễn Hữu Vinh¹, Hoàng Văn Khải², Nguyễn Hùng³, Lê Kim Hùng⁴

¹Tổng Công ty Điện lực Thành phố Hồ Chí Minh; nguyenuuvinhdllhcm@gmail.com

²Trường Trung cấp Kinh tế - Kỹ thuật Đồng Nai; hoangkhaikcn@gmail.com

³Trường Đại học Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh; n.hung@hutech.edu.vn

⁴Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; lekimhung@dut.udn.vn

Tóm tắt - Bài báo này đã đưa ra mô hình kết hợp bộ bù đồng bộ tĩnh (D-Statcom) dùng nghịch lưu nguồn áp (VSC) với bộ lọc sóng hài để cải thiện chất lượng điện áp của lưới điện phân phối có phụ tải phi tuyến. Bộ điều khiển PID được áp dụng trong mô hình D-Statcom để ổn định biên độ điện áp tại nút phụ tải khi công suất phụ tải thay đổi. Bộ lọc sóng hài được lắp đặt cùng ở nút tải để loại bỏ các thành phần sóng hài bậc cao nhằm giảm độ méo dạng sóng hài (THD) do phụ tải chỉnh lưu phi tuyến gây ra. Kết quả mô phỏng trong miền thời gian và miền tần số cho thấy hiệu quả của mô hình dùng D-Statcom và bộ lọc sóng hài đưa ra trong việc cải thiện chất lượng điện áp. Các hệ số THD đạt yêu cầu khi đối chiếu với các tiêu chuẩn quốc tế IEEE Std 519-2014 và Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) về chất lượng điện áp trong vận hành hệ thống điện phân phối của Thông tư 39/2015/TT-BCT của Bộ Công thương.

Từ khóa - bộ bù đồng bộ tĩnh lưới phân phối (D-Statcom); bộ nghịch lưu nguồn áp (VSC); chất lượng điện áp; bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ (PID); bộ lọc sóng hài; tổng độ méo dạng sóng hài (THD); phân tích phổ (FFT); Tiêu chuẩn quốc tế IEEE Std 519-2014; Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN).

1. Giới thiệu

Xu hướng sử dụng ngày càng nhiều thiết bị phụ tải phi tuyến trong công nghiệp và dân dụng như bộ chuyển đổi điện tử công suất dùng trong truyền động điện, máy hàn hồ quang, lò luyện kim hồ quang, thiết bị sạc điện ắc quy công suất lớn, đèn điện tử, máy vi tính, tivi, lò vi sóng,... chính là nguồn sản sinh ra nhiều sóng hài. Sự xuất hiện các thành phần hài trong lưới điện sẽ là nguyên nhân dẫn đến hệ số công suất thấp, làm tăng tổn hao nhiệt trong thiết bị điện. Nó cũng là nguyên nhân làm rung động và tăng độ ồn trong các động cơ điện, và khiến cho các thiết bị điện tử có độ nhạy cao làm việc không chính xác hoặc hư hỏng, đặc biệt là những thiết bị trong các ngành y tế, hàng không và thông tin liên lạc. Sóng hài gây nên các nhiễu loạn trong hệ thống điện có thể làm cho hệ thống bảo vệ rơ le tác động sai, điều này ảnh hưởng trực tiếp đến sự vận hành ổn định và chất lượng điện cung cấp [1, 2].

Do sự gia tăng của các phụ tải phi tuyến, cùng với yêu cầu cao về chất lượng điện, độ tin cậy cao đã dẫn đến sự thay đổi và nâng cao ý thức của các khách hàng sử dụng điện và các công ty điện lực. Để đảm bảo chất lượng điện năng khi có đầu nối các phụ tải, đặc biệt là phụ tải phi tuyến, Bộ Công thương đã ban hành các quy định đầu nối lưới điện vào năm 2010 và hiệu chỉnh vào năm 2015, đặc biệt là quy định về tiêu chuẩn độ méo dạng sóng hài (THD), chi tiết được nêu trong [3]. Những vấn đề chung của chất lượng điện năng là dao động điện áp, sóng hài và hệ số công suất [1-5].

Abstract - This paper proposes the combination of a static synchronous compensator (D-Statcom) based on a voltage source converter (VSC) and a harmonic filter for voltage quality improvement of power distribution network connected to nonlinear loading. The PID controller is applied to the proposed D-Statcom for stabilizing voltage amplitude at power load buses in the studied power system under changing power load. The harmonic filter is added to remove the harmonics and reduce a total harmonic distortion (THD) caused by nonlinear rectify load. Simulation results in a time domain and frequency domain are presented to show effectiveness of the proposed D-Statcom and the harmonic filter for improving voltage quality. THD coefficients satisfy the requirements when compared with IEEE Standard 519-2014 and Vietnam National Standards (TCVN) in Circular No. 39/2015/TT-BCT.

Key words - distributionstatic synchronous compensator (D-Statcom); Voltage Source Converter (VSC); voltage quality; Proportional Integral Derivative (PID); harmonics filter; Total Harmonic Distorsion (THD); Fast Fourier Transform (FFT); IEEE Standard 519-2014; Vietnam National Standards (TCVN).

Đã có nhiều công trình nghiên cứu về ổn định điện áp hệ thống điện trong chế độ xác lập [6-12]. Trong [6], các tác giả phân tích ổn định điện áp truyền tải 220 kV dựa trên đường cong PV/QV và sử dụng thiết bị SVC để hỗ trợ nâng cao điện áp. Tuy nhiên SVC được tính toán theo vài mức tải riêng rẽ của hệ thống chứ không có khả năng đáp ứng liên tục khi tải thay đổi. Trong [7], các tác giả chứng minh Statcom hiệu quả hơn SVC trong việc nâng cao ổn định, giảm dao động công suất cho hệ thống điện có nhiều máy phát điện. Mô hình hóa mô phỏng trên Matlab/Simulink và điều khiển Statcom đã được thực hiện trong [8, 9], kết quả cho thấy Statcom hiệu quả trong việc điều khiển biên độ điện áp trong xác lập, tuy nhiên mô hình nghiên cứu chỉ áp dụng trong lưới điện hạ thế với bộ bù công suất nhỏ dùng nghịch lưu cầu 6 bước với chuyển mạch IGBT. Trong [10-12], các tác giả áp dụng Statcom dùng bộ PID tự điều chỉnh để bù công suất kháng, nâng cao hệ số công suất, giảm tổn thất và điều chỉnh biên độ điện áp lưới phân phối. Lựa chọn tối ưu vị trí Statcom dùng để hỗ trợ công suất kháng trong lưới điện có nguồn phân tán DG được trình bày trong [13]. Trong [14], Statcom với bộ điều khiển PID được dùng để giảm dao động công suất và ổn định động máy phát điện khi xảy ra ngắn mạch ba pha trên hệ thống điện xoay chiều có tụ điện bù dọc. Giải pháp tích hợp Statcom vào hệ thống điện gió nối lưới nhằm cải thiện đáp ứng quá độ, nâng cao ổn định điện áp khi xảy ra ngắn mạch được trình bày trong [15]. Tất cả các công trình nghiên cứu trên cho thấy hiệu quả của D-Statcom để ổn định biên độ điện áp

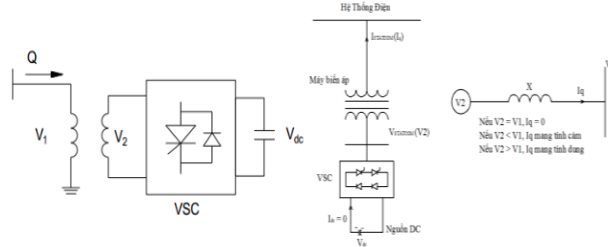
trong xác lập và quá độ, tuy nhiên yêu cầu về độ méo dạng điện áp thì D-Statcom chưa giải quyết được.

Bài báo này đưa ra mô hình kết hợp bộ bù đồng bộ tĩnh (D-Statcom) dùng nghịch lưu đa bậc chuyển mạch GTO điều chế PWM và bộ lọc sóng hài để cải thiện chất lượng điện áp của lưới điện phân phối có phụ tải phi tuyến. Bộ bù D-Statcom được dùng để ổn định biên độ điện áp khi phụ tải thay đổi, còn bộ lọc sóng hài được dùng để loại bỏ các sóng hài bậc cao do phụ tải phi tuyến sinh ra nhằm giảm tổng độ méo dạng sóng hài (THD) của điện áp. Các kết quả mô phỏng trong miền thời gian và miền tần số cho thấy hiệu quả của mô hình đưa ra trong việc ổn định biên độ và khử sóng hài điện áp. Các hệ số THD đạt yêu cầu khi đối chiếu với các Tiêu chuẩn Việt Nam [3] và tiêu chuẩn quốc tế IEEE Std 519-2014 [4].

2. Mô hình hóa D-Statcom và bộ lọc sóng hài

2.1. Nguyên lý làm việc của D-Statcom

Hình 1 trình bày cấu trúc cơ bản của D-Statcom, bao gồm bộ biến đổi nguồn áp ba pha (VSC) dựa vào chuyển mạch điện tử công suất chuyển nguồn điện áp DC sang AC kết nối với phía thứ cấp của máy biến áp lên lưới phân phối.



Hình 1. Cấu trúc cơ bản D-Statcom

Hình 2. Nguyên lý hoạt động của D-Statcom

Nguyên lý hoạt động của D-Statcom được trình bày trên Hình 2. Việc điều chỉnh công suất phản kháng được thực hiện bằng việc điều khiển bộ VSC. VSC sử dụng các linh kiện điện tử công suất để điều chế thành điện áp xoay chiều ba pha V₂ từ nguồn một chiều V_{dc} được tích trên các tụ điện. Điện áp V₂ được điều khiển cùng pha với điện áp lưới V₁ nhưng có biên độ lớn hơn hoặc nhỏ hơn sẽ dẫn đến D-Statcom phát hay thu công suất kháng từ lưới để ổn định biên độ điện áp.

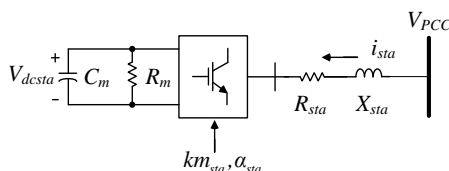
2.2. Mô hình toán của D-Statcom

Với điện áp tạo ra từ D-Statcom theo 2 thành phần trực d và trực q được tính theo công thức sau [8-9]:

$$V_{qsta} = V_{dcsta} \cdot km_{sta} \cdot \cos(\theta_{pcc} + \alpha) \tag{1}$$

$$V_{dsta} = V_{dcsta} \cdot km_{sta} \cdot \sin(\theta_{pcc} + \alpha) \tag{2}$$

với km_{sta} là hệ số điều chế; α_{sta} là góc pha trong điều khiển D-Statcom; θ_{pcc} là góc pha tại PCC; V_{dcsta} là điện áp DC của D-Statcom; C_m là giá trị tụ điện DC của D-Statcom.



Hình 3. Sơ đồ đơn tuyến D-Statcom nối lưới

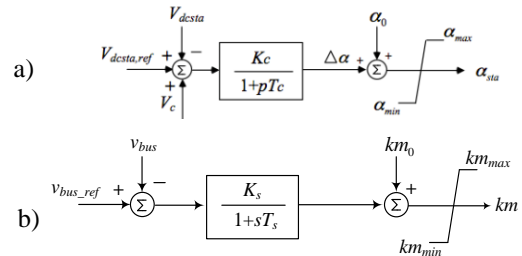
Phương trình quan hệ giữa điện áp DC và dòng điện trong D-Statcom được tính như sau:

$$(C_m)(\dot{V}_{dcsta}) = \omega_b[I_{dcsta} - (V_{dcsta}/R_m)] \tag{3}$$

với dòng điện một chiều được tính bằng công thức sau:

$$I_{dcsta} = i_{qsta} km \cos(\theta_{pcc} + \alpha) + i_{dsta} km \sin(\theta_{pcc} + \alpha) \tag{4}$$

với i_{qsta} và i_{dsta} là hai thành phần trực q và trực d của dòng điện tại đầu cực ngõ ra của D-Statcom.



Hình 4. Sơ đồ khối điều khiển D-Statcom

Sơ đồ khối điều khiển D-Statcom để điều chỉnh điện áp được trình bày trên Hình 4. Bằng cách thay đổi góc kích α_{sta} cho D-Statcom ta có thể điều khiển điện áp DC (Hình 4a). Trong khi đó, thay đổi hệ số điều chế km_{sta} thì có thể điều khiển được điện áp xoay chiều v_{sta} của D-Statcom (Hình 4b).

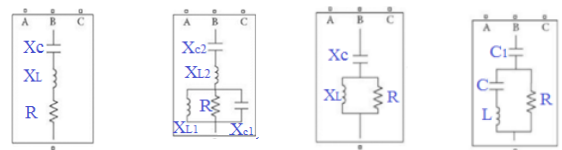
2.3. Độ méo dạng áp và bộ lọc sóng hài

Thông số cơ bản dùng để phân tích sóng hài là tổng độ méo dạng sóng hài (THD), được tính bằng trị hiệu dụng của các sóng hài chia cho trị hiệu dụng tần số cơ bản, được biểu diễn dưới dạng phần trăm như sau:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hmax} M_h^2}}{M_1} \cdot 100\% \tag{5}$$

trong đó, M_h là trị hiệu dụng sóng hài bậc h; M₁ là trị hiệu dụng sóng tần số cơ bản.

Vấn đề lớn của sóng hài là làm méo dạng sóng điện áp. Ta có thể tính toán THD bằng cách phân tích phổ dòng điện và điện áp để xác định từng thành phần sóng hài. Hình 5 trình bày 4 loại bộ lọc sóng hài được mô phỏng trên môi trường Matlab/Simulink được dùng để giảm độ méo dạng điện áp (THD) bằng cách lọc bỏ các sóng hài bậc cao. Hình 5a là bộ lọc tần số thấp đơn được thiết kế để lọc bỏ sóng hài bậc thấp: bậc 5, bậc 7, bậc 11,... Bộ lọc thông dải có thể được thiết kế cho bộ lọc tần số thấp kép như Hình 5b. Bộ lọc tần số cao được sử dụng để lọc một dải rộng các tần số cao như bậc 21, bậc 23,... như Hình 5c. Hình 5d trình bày bộ lọc thông cao loại C với nhiều ưu điểm vượt trội so với bộ lọc thông cao như tránh cộng hưởng song song, được dùng để lọc sóng hài bậc 3.

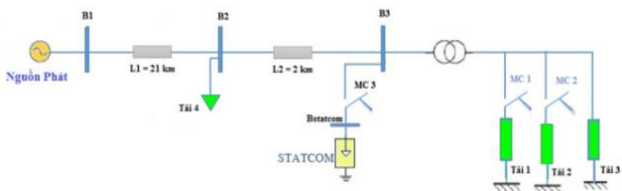


(a) Lọc tần số thấp đơn (b) Lọc tần số thấp kép (c) Lọc tần số cao (d) Lọc tần số cao loại C

Hình 5. Các loại bộ lọc sóng hài

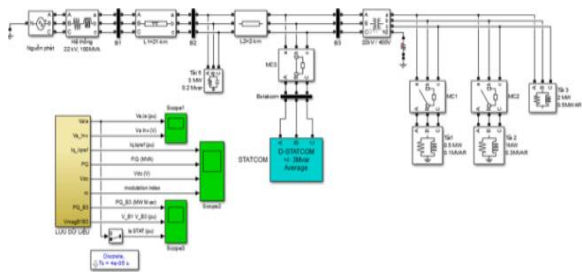
3. Mô phỏng bộ lọc sóng hài kết hợp với D-Statcom cải thiện chất lượng điện áp lưới phân phối

3.1. Hệ thống điện nghiên cứu 1



Hình 6. Sơ đồ đơn tuyến hệ thống điện nghiên cứu 1

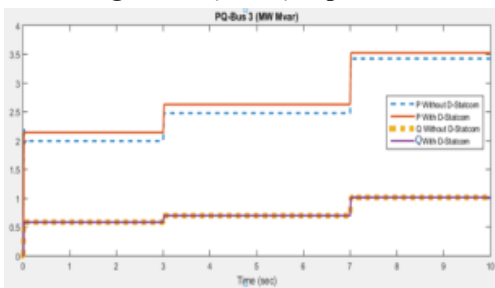
Hình 6 trình bày sơ đồ của hệ thống điện nghiên cứu 1 với điện áp hệ thống là 22 kV, tần số 50 Hz. Các đường dây B1-B2 dài 21 km, đường dây B2-B3 dài 2 km. Các phụ tải tiêu thụ bao gồm Tải 4 công suất 3+j0,2 (MVA) nối tại nút B2 và Tải 1 công suất 0,5+j0,1 (MVA), Tải 2 công suất 1+j0,3 (MVA), Tải 3 công suất 2+j0,5 (MVA) kết nối với nút B3 thông qua máy biến thế (MBT) 22 kV/400 V. Bộ D-Statcom được lắp tại nút B3 thông qua máy cắt MC3 nhằm mục đích ổn định biên độ điện áp cho các phụ tải được kết nối đến nút này.



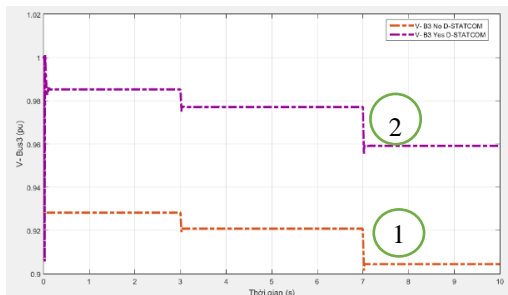
Hình 7. Sơ đồ mô phỏng hệ thống điện nghiên cứu 1

Hình 7 trình bày mô hình mô phỏng hệ thống điện có D-Statcom ±3Mvar kết hợp với máy biến áp để nối lên lưới phân phối 22 kV tại nút B3 nhằm ổn định biên độ điện áp tại nút này trên Matlab/Simulink.

+ Trường hợp 1: Phụ tải nút B3 thay đổi tăng, D-Statcom dùng để ổn định điện áp nút tải



(a) Công suất P, Q khi tải tăng



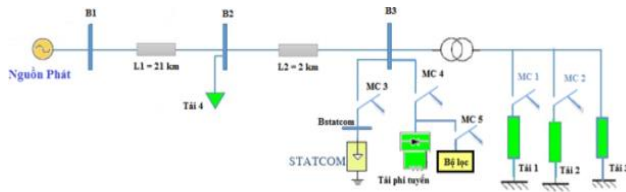
(b) Điện áp khi tải tăng

Hình 8. Các đặc tính P, Q và U tại nút B3 khi tải tăng

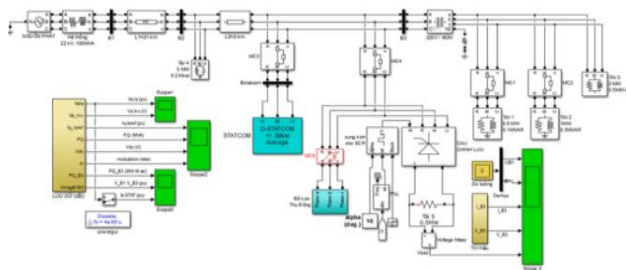
Khảo sát khi công suất phụ tải tại nút B3 tăng theo từng cấp với thời gian mô phỏng 10s: Tải 3 được đóng cố định, Tải 2 được đóng tại thời điểm 3s và Tải 1 được đóng tại thời điểm 7s. Kết quả mô phỏng P, Q, U tại B3 được trình bày trên Hình 8. Trường hợp không có D-Statcom, điện áp tại nút B3 giảm dần đến mất ổn định khi đóng tải tại các thời điểm 3s (0,92 pu) và 7s (0,905 pu) (đường số 1). Còn khi có D-Statcom thì điện áp được nâng lên cao hơn 0,96pu (đường số 2) trong phạm vi ổn định ±10% khi tải tăng.

+ Trường hợp 2: Có phụ tải phi tuyến tại nút B3, kết hợp D-Statcom và bộ lọc sóng hài để cải thiện điện áp

Sơ đồ đơn tuyến hệ thống điện nghiên cứu 1 và sơ đồ mô phỏng trong trường hợp có phụ tải phi tuyến 1MW dạng chỉnh lưu được nối tại nút B3 được trình bày trên Hình 9 và Hình 10.

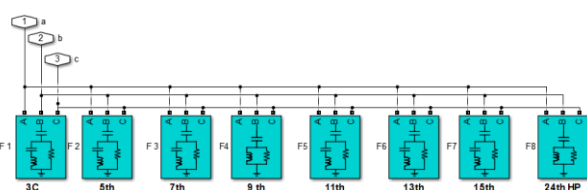


Hình 9. Sơ đồ hệ thống điện khi có phụ tải phi tuyến tại B3



Hình 10. Sơ đồ mô phỏng khi có phụ tải phi tuyến nối tại nút B3

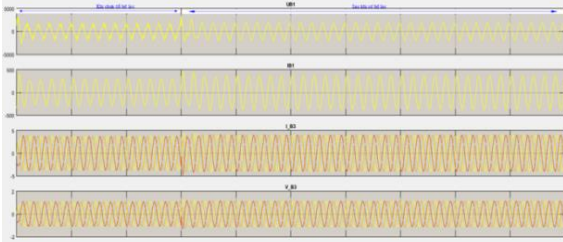
Mô hình của bộ lọc sóng hài bậc cao được trình bày trên Hình 11.



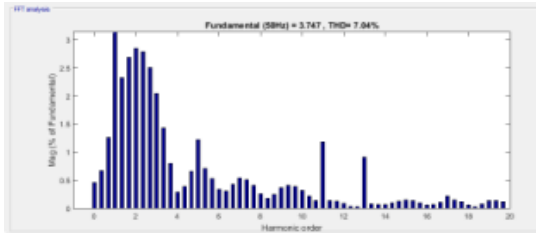
Hình 11. Mô hình bộ lọc sóng hài bậc cao

Mô hình bộ lọc sóng hài bao gồm các bộ lọc thông cao loại C cho bậc 3 (F1) 700 Kvar, bậc 5 (F2) 1.000 Kvar, bậc 7 (F3) 700 Kvar, bậc 11 (F5) 400 Kvar, bậc 13 (F6) 300 Kvar, bậc 15 (F7) 250 Kvar, bậc 24 (F8) 200 Kvar và bộ lọc thông cao cho bậc 9 (F4) 400 Kvar.

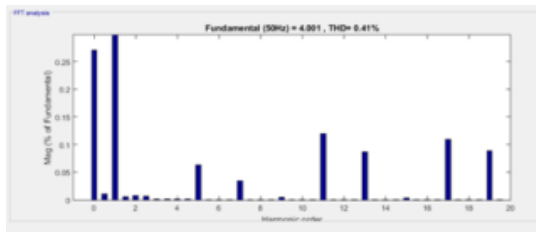
Kết quả khảo sát điện áp và dòng điện tại các nút B1; B3 được trình bày trong Hình 12. Trong khoảng thời gian trước thời điểm 0,3s khi chưa có bộ lọc sóng hài thì phụ tải phi tuyến là nguồn phát ra sóng hài bậc cao. Trong khoảng thời gian sau 0,3s, có sự hoạt động của bộ lọc sóng hài kết hợp với D-Statcom thì biên độ điện áp và dòng điện tại các nút B1, B3 được ổn định và các sóng hài bậc 3, 5, 7, 11... (do phụ tải phi tuyến sinh ra) cũng được loại bỏ, góp phần cải thiện chất lượng điện áp.



Hình 12. Dạng sóng điện áp và dòng điện tại nút B1 và B3



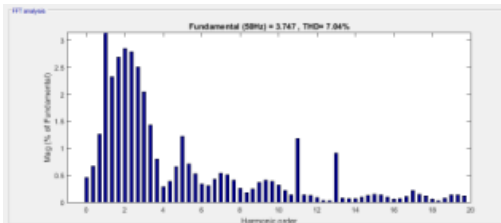
(a) Khi chưa có bộ lọc sóng hài



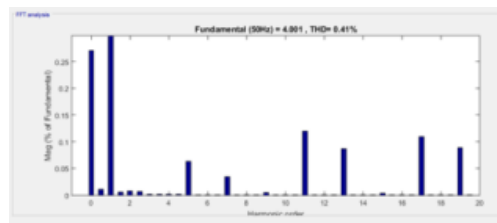
(b) Khi có bộ lọc sóng hài

Hình 13. Kết quả phân tích phổ dòng điện tại nút B3

Kết quả phân tích phổ và đo độ méo dạng sóng hài dòng điện tại nút B3 được trình bày trong Hình 13. Tại thời điểm 0,25s (khi chưa có bộ lọc sóng hài) có rất nhiều thành phần hài và THD dòng điện là 7,04%; còn tại thời điểm 0,5s (sau khi có bộ lọc sóng hài) thì các thành phần hài được giảm đi rất nhiều và tổng độ méo dạng chỉ còn 0,41%. Đối chiếu với tiêu chuẩn IEEE Std 519-2014 [4] cho thấy hệ số THD nằm trong giới hạn cho phép (<5%) và thỏa mãn điều kiện chất lượng sóng hài dòng điện trên lưới điện phân phối.



(a) Khi chưa có bộ lọc sóng hài



(b) Khi có bộ lọc sóng hài

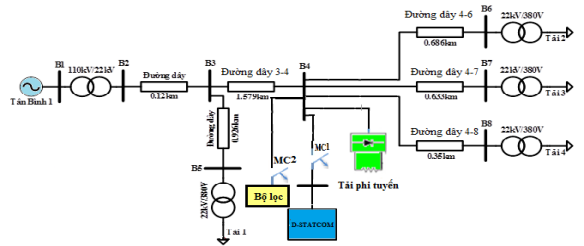
Hình 14. Kết quả phân tích phổ điện áp tại nút B3

Kết quả phân tích phổ và đo độ méo dạng sóng hài điện áp tại nút B3 được trình bày lần lượt trong Hình 14. Với kết quả phân tích này, tại thời điểm 0,25s thì THD điện áp

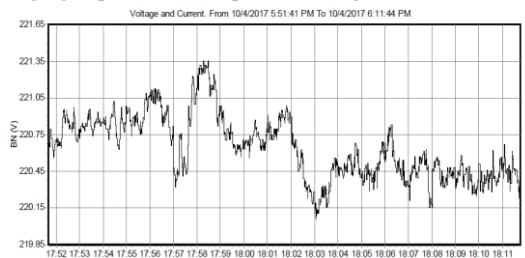
là 7,41% và xuất hiện rất nhiều thành phần hài bậc lẻ, còn tại thời điểm 0,5s thì các thành phần hài giảm đi rất nhiều nhờ bộ lọc và tổng độ méo dạng sóng hài điện áp là 0,47%. So sánh với tiêu chuẩn IEEE Std 519-2014 [4] và TCVN theo Thông tư 39 [3] (<6,5% đối với lưới trung và hạ áp) thì khi có bộ lọc, hệ số THD đạt yêu cầu.

3.2. Hệ thống điện nghiên cứu 2: Hệ thống điện phân phối KCN IV, quận Tân Bình, Thành phố Hồ Chí Minh

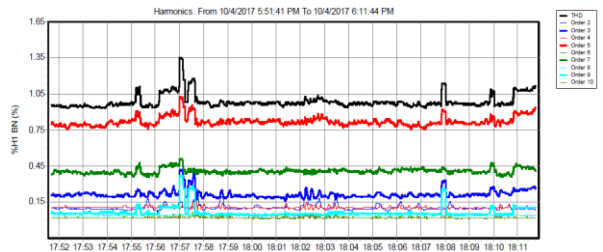
Hình 15 là sơ đồ tuyến KCN IV (quận Tân Bình, Thành phố Hồ Chí Minh), nguồn điện áp từ trạm biến áp Tân Bình 1 – 110 KV/22 KV, 63 MVA, 50 Hz. Đường dây B2-B3 dài 0,12 km, nhánh rẽ B3-B5 dài 0,926 km kết nối Tải 1 công suất 1,7+j0,5 (MVA) qua máy biến áp 22 kV/380 V. Đường dây B2-B4 dài 1,579 km, tại B4 kết nối D-Statcom 22 kV, ± 3MVAR. Sau B4 có 3 nhánh đường dây: B4-B6 dài 0,686 km kết nối Tải 2 qua máy biến áp 22kV/380V; B4-B7 dài 0,633 km kết nối Tải 3 qua máy biến áp 22kV/380V, đường dây B4-B8 dài 0,35 km kết nối Tải 4 qua máy biến áp 22kV/380V. Dữ liệu tải được thu thập thực tế từ kho dữ liệu đo đếm từ xa của Công ty Công nghệ Thông tin, thuộc Tổng Công ty Điện lực Thành phố Hồ Chí Minh. Việc lắp đặt D-Statcom tại vị trí nút B4 vì đường dây 22kV nằm ở gần trung tâm tải khu công nghiệp gồm các nút tải B6 có công suất 0,9+j0,3 (MVA), B7 có công suất 1,3+j0,4 (MVA), B8 có công suất 1,1+j0,3 (MVA). Bộ lọc sóng hài cũng được nối tại nút B4 để cùng D-Statcom ổn định điện áp và khử sóng hài tại nút tải tập trung này.



Hình 15. Sơ đồ đơn tuyến hệ thống điện phân phối khu công nghiệp IV có kết hợp bộ lọc sóng hài với D-Statcom



(a) Biến độ điện áp pha B

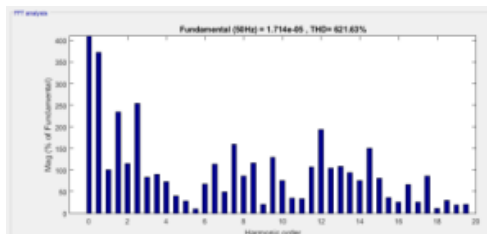


(b) THD và các thành phần sóng hài bậc cao từ 2 đến 10 của áp pha B

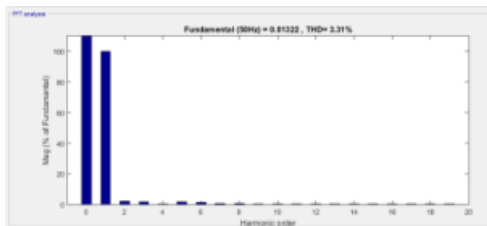
Hình 16. Biến độ điện áp và các thành phần số hài bậc cao, độ méo dạng tổng của áp pha A

Kết quả ghi nhận biên độ điện áp và độ méo dạng sóng hài (pha B lớn nhất) tại đầu nguồn thanh cái B2 trên máy Fluke 435-II từ 17h30 đến 18h30 ngày 04/10/2017 cho kết quả như trên Hình 16. Điện áp nhấp nhô do phụ tải thay đổi khoảng 2% và THD 1,35% vẫn nằm trong giới hạn cho phép [3, 4].

Xét trường hợp có xuất hiện phụ tải phi tuyến dạng chỉnh lưu nối vào nút tải B4: Khi chưa có bộ lọc, phụ tải phi tuyến sinh ra các sóng hài bậc cao làm tăng rất cao độ méo dạng điện áp mặc dù biên độ được ổn định tốt bằng D-Statcom. Quan sát kết quả phân tích phổ điện áp cho thấy có nhiều thành phần sóng hài bậc cao, biên độ lớn làm độ méo dạng toàn phần (THD) là 621,63% tại thời điểm 0,2s. Độ méo dạng quá lớn, vượt giá trị cho phép theo tiêu chuẩn IEEE và TCVN rất nhiều nên cần phải khử sóng hài để cải thiện chất lượng điện áp cho phụ tải.



(a) Khi chưa có bộ lọc sóng hài



(b) Khi có bộ lọc

Hình 17. Kết quả phân tích phổ điện áp nút B4

Sau khi lắp đặt bộ lọc thông dải thì các thành phần sóng hài bậc cao bị loại bỏ, tổng độ méo dạng toàn phần (THD) bây giờ là 3,31% tại thời điểm 0,2s nằm trong giới hạn quy định yêu cầu trong vận hành hệ thống điện phân phối cho phép 6,5% của TCVN. Chất lượng điện áp được đảm bảo cả về biên độ và độ méo dạng, đáp ứng yêu cầu về chất lượng điện áp.

4. Kết luận

Bài báo đưa ra mô hình kết hợp việc sử dụng bộ lọc thông dải kết hợp với bộ bù đồng bộ tĩnh D-Statcom để ổn định biên độ điện áp và lọc sóng hài bậc cao để cải thiện chất lượng điện áp của lưới điện phân phối có phụ tải phi tuyến. Mô hình mô phỏng trên Matlab/Simulink được thực hiện trên hai lưới điện phân phối 22kV bao gồm hệ thống nghiên cứu 1 và lưới điện phân phối KCN IV, quận Tân Bình, Thành phố Hồ Chí Minh trong hai trường hợp có và không có bộ lọc sóng hài. Kết quả

phân tích phổ dòng điện và điện áp tại nút phụ tải cho thấy, khi có bộ lọc thông dải đã góp phần giảm đáng kể các thành phần hài bậc cao trong dòng điện và điện áp do phụ tải phi tuyến sinh ra. Các giá trị THD giảm xuống rất nhiều và nằm trong phạm vi cho phép theo Tiêu chuẩn Việt Nam [3] và tiêu chuẩn IEEE Std 519-2014 [4] khi có lắp đặt bộ lọc sóng hài đề xuất. Điều này cho thấy hiệu quả của việc sử dụng kết hợp bộ bù D-Statcom với bộ lọc sóng hài vào việc cải thiện chất lượng điện áp lưới phân phối trong chế độ xác lập khi phụ tải thay đổi và có phụ tải phi tuyến.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Đình Long, *Tra cứu về chất lượng điện năng*, Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội, 2013.
- [2] J. Arrillaga, N. R. Watson, *Power System Harmonics*, Wiley, 2004.
- [3] Bộ Công thương, Thông tư số 39/2015/TT-BCT “*Quy định hệ thống điện phân phối*”, Bộ Công thương, Hà Nội, ngày 18/11/2015.
- [4] IEEE-SA Standards Board, “IEEE Standard 519-2014 Recommend Practice and requirements for harmonic Control in Electric Power Systems”, *IEEE Power and Energy Society*, 2014, pp. 1-17.
- [5] Barry W. Kennedy, *Power Quality Primer*, McGraw Hill, 2005.
- [6] Nguyễn Xuân Dũng, Đinh Thành Việt, “Sử dụng đường cong PV/QV để đánh giá ổn định điện áp lưới điện 220kV khu vực miền Trung”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, Số 1(62), 2013, trang 35-39.
- [7] Nguyen Huu Vinh, Nguyen Hung, Le Kim Hung, “Using a Statcom to Enhance Stability of a Grid Connected Wind Power System”, *The University of Da Nang, Journal of Science and Technology*, Vol. 11 (96), 2015, pp. 215-219.
- [8] D. Shen, and P. W. Lehn, “Modeling, analysis and control of a current source inverter based Statcom”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 17. No. 1, 2002, pp. 248-253.
- [9] A. Jain, K. Joshi, A. Behal, and N. Mohan, “Voltage regulation with Statcoms: Modeling, control and results”, *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 21, No. 2, 2006, pp. 726-735.
- [10] N. Goel, R.N. Patel, S.T Chacko, “Genetically Tuned Statcom for Voltage Control and Reactive Power Compensation”, *International Journal of Computer Theory and Engineering*, Vol. 2, No. 3, June 2010, pp. 345-351.
- [11] A.R.Gupta, A. Kumar, “Impact of DG and D-Statcom placement on improving the reactive loading capability of mesh distribution system”, *Procedia Technology*, Vol. 25, 2016, pp. 676-683.
- [12] A. Kanchana, M. A. Kumar, R. Goud, “A comparative Study of Control Algorithms for D-Statcom for Power Quality Enhancement”, *International Journal of Emerging Trend in Engineering and Development*, Vol. 4, Issue 2, May 2012, pp. 380-388.
- [13] A.R.Gupta, A. Kumar, “Energy saving using D-Statcom placement in radial distribution system under reconfigured network”, *Procedia Technology*, Vol. 90, 2016, pp. 124-136.
- [14] K. V. Patil, J. Senthil, J. Jiang, and R. M. Mathur, “Application of Statcom for damping torsional oscillations in series compensated AC system”, *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol. 13, No. 3, 1998, pp. 237-243.
- [15] H. Chong, A. Q. Huang, M. E. Baran, S. Bhattacharya, W. Litzemberger, L. Anderson, A. L. Johnson, and A. A. Edris, “Statcom impact study on the integration of a large wind farm into a weak loop power system”, *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol. 23, No. 1, 2008, pp. 226-233.

(BBT nhận bài: 21/08/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 18/12/2017)