

ỨNG DỤNG D-STATCOM ĐỂ CẢI THIẾN CHẤT LƯỢNG ĐIỆN ÁP TRÊN HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI 22KV: KHU CÔNG NGHIỆP TÂN BÌNH, TP. HỒ CHÍ MINH

D-STATCOM APPLICATION TO IMPROVE VOLTAGE QUALITY IN 22KV POWER DISTRIBUTION SYSTEM: A CASE STUDY AT TAN BINH INDUSTRIAL PARK, HO CHI MINH CITY

Nguyễn Hữu Vinh¹, Hồ Thanh Tuấn¹, Nguyễn Hùng², Lê Kim Hùng³

¹Tổng công ty Điện lực TP.HCM; nguyennhuuvinhdlhcm@gmail.com, thanhantuanho90@gmail.com

²Trường Đại học Công nghệ TP.HCM; n.hung@hutech.edu.vn

³Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; lekimhung@dut.udn.vn

Tóm tắt - Bài báo này trình bày kết quả mô phỏng của việc sử dụng bộ bù đồng bộ tĩnh (D-STATCOM) dùng nghịch lưu nguồn áp (VSC) để nâng cao ổn định, cải thiện chất lượng điện áp của lưới điện phân phối 22kV thực tế tại Khu công nghiệp Tân Bình, Thành phố Hồ Chí Minh. Bộ bù D-STATCOM dùng điều khiển PID được áp dụng để ổn định và cải thiện điện áp tại các nút phụ tải của hệ thống điện phân phối dưới các chế độ làm việc xác lập khi điện áp nguồn dao động hoặc phụ tải thay đổi và chế độ quá độ khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha thoáng qua. Kết quả mô phỏng trong miền thời gian cho thấy hiệu quả của việc có sử dụng bộ bù D-STATCOM trong việc ổn định biên độ và cải thiện chất lượng điện áp khi xảy ra nhiễu nhỏ trong chế độ xác lập cũng như việc nâng cao biên độ, giảm dao động điện áp, phục hồi nhanh về giá trị ban đầu trong quá trình quá độ khi xảy ra nhiễu lớn trong hệ thống điện.

Từ khóa - bộ bù đồng bộ tĩnh lưới phân phối (D-STATCOM); bộ bù tĩnh (SVC); bộ nghịch lưu nguồn áp (VSC); cải thiện chất lượng điện áp; bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ (PID).

1. Giới thiệu

Trong những năm qua đã có nhiều công trình nghiên cứu về đánh giá ổn định điện áp hệ thống điện trong chế độ xác lập [1-4]. Trong [1], các tác giả sử dụng phương pháp phân tích theo đường cong PV/QV để xác định được các nút bị mất ổn định tĩnh hoặc độ dự trữ ổn định điện áp kém để cần phải xem xét cải thiện ổn định áp chứ chưa đưa ra biện pháp giải quyết. Trong [2-4], các tác giả cũng phân tích ổn định hệ thống điện trong chế độ xác lập bình thường và sự cố bị mất một đường dây hay máy phát cũng bằng phương pháp phân tích PV/QV từ đó xác định được vị trí và dung lượng thiết bị bù SVC cần thiết để nâng cao ổn định điện áp cho các nút có nguy cơ mất ổn định tĩnh. Tuy nhiên, việc áp dụng bộ bù SVC trên với giá trị cố định chỉ hiệu quả cho một vài trạng thái vận hành xác định chứ không hiệu quả bằng bộ bù đồng bộ tĩnh STATCOM, do có đáp ứng nhanh và liên tục nhờ vào bộ điều khiển và chuyển mạch của linh kiện điện tử công suất trong VSC [4-5]. Ứng dụng STATCOM điều khiển dòng công suất và ổn định điện áp được sử dụng trong [6]. Tuy nhiên, hiệu quả khi dùng STATCOM để điều khiển dòng công suất tác dụng thì không nhiều cộng với lưới điện kín nên việc cải thiện biên độ điện áp tại tất cả các nút không rõ rệt. Trong [7], các tác giả áp dụng STATCOM để ổn định điện áp và cải thiện đáp ứng quá độ nhưng áp dụng cho lưới truyền tải 500kV dùng bộ điều khiển PI nên đáp ứng hơi chậm và sai số xác lập lớn. Mô hình hóa và điều khiển STATCOM, đã

Abstract - This paper presents the simulation results of using a static synchronous compensator (D-STATCOM) based on voltage source converter (VSC) to enhance voltage stability and improve voltage quality of the actual 22kV power distribution system in Tan Binh Industrial Park, Ho Chi Minh City. The PID controller based D-STATCOM is applied to stabilize and improve voltage waveforms at load buses in the studied power system under various operating conditions such as oscillation of supply voltage source or variable load and transient conditions when three-phase short circuit fault occurs. Simulation results in a time domain are presented to show effectiveness of using the D-STATCOM for stability and improvement of voltage quality when small disturbances occur, and of enhancing voltage magnitude, mitigating voltage oscillation in transient conditions under a severe disturbance in the power system.

Key words - Distribution static synchronous compensator (D-STATCOM); Static var compensator (SVC); Voltage Source Converter (VSC); Voltage quality improvement; Proportional Integral Derivative (PID).

được đưa ra trong [8, 9] và cho thấy hiệu quả trong việc điều khiển biên độ điện áp trong xác lập. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu mới cho thấy hiệu quả cho bộ bù công suất nhỏ và chỉ áp dụng trong lưới điện hạ thế. Gần đây có nhiều công trình nghiên cứu ứng dụng STATCOM trong hệ thống truyền tải cao thế, cho thấy hiệu quả của nó trong việc cải thiện đáp ứng quá độ và giảm dao động hệ thống điện [10-16]. Trong [10, 11], các tác giả chứng minh STATCOM hiệu quả hơn SVC trong việc nâng cao ổn định động, giảm dao động công suất cho hệ thống điện có nhiều máy phát điện. Trong [12-14], các tác giả ứng dụng STATCOM trong việc cải thiện đáp ứng quá độ, nâng cao ổn định áp khi xảy ra ngắn mạch đối xứng và không đối xứng cho hệ thống điện có nguồn điện gió kết lưới. Trong [15], 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. Trong [16], tác giả cũng áp dụng bộ điều khiển PID cho STATCOM để cải thiện chất lượng điện áp khi có nhiễu lớn trong hệ thống có nguồn điện mặt trời nối lưới. Phương pháp điều khiển bền vững áp dụng vào tìm bộ điều khiển vòng kín cho STATCOM, tuy nhiên tác giả chỉ phân tích mà chưa mô phỏng để thấy được hiệu quả của nó [17]. Trong [18], tác giả dùng bộ điều khiển PI cho D-STATCOM để bù công suất kháng và ổn định điện áp nhưng chỉ áp dụng cho lưới điện công suất nhỏ một pha.

Phần lớn các công trình nghiên cứu trên được áp dụng

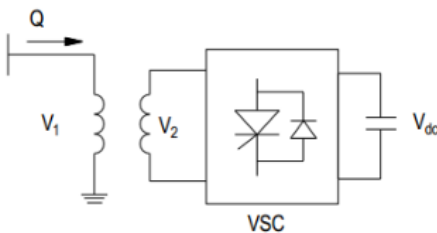
manh mẽ vào hệ thống truyền tải điện cao áp mà ít đề cập đến việc giải quyết chất lượng điện cung cấp gần chỗ khách hàng. Hơn nữa, đa phần các bộ STATCOM trên sử dụng nghịch lưu 6 bước dùng IGBT nên dạng sóng ngõ ra còn chứa nhiều sóng hài, quá trình chuyển mạch làm mất cân bằng điện áp trên tụ DC, chưa giải quyết được hiệu quả cả trong xác lập và quá độ.

Bài báo này, đã trình bày việc ứng dụng bộ bù D-Statcom sử dụng nghịch lưu đa bậc với chuyển mạch GTO kết hợp kỹ thuật điều chế PWM vào mạng lưới điện phân phối KCN IV, Tân Bình, Thành phố Hồ Chí Minh để cải thiện chất lượng điện áp của phụ tải trong chế độ xác lập khi điện áp nguồn dao động và phụ tải thay đổi theo các mức bình thường, thấp điểm, cao điểm trong ngày và chế độ sự cố ngắn mạch ba pha thoáng qua. Kết quả mô phỏng trong chế độ xác lập cho thấy rằng khi có lắp đặt D-Statcom tại nút phụ tải thì điện áp tại nút đó được điều chỉnh ổn định, biên độ điện áp luôn nằm trong giới hạn cho phép $\leq \pm 5\%$, giảm thời gian dao động, ổn định biên độ điện áp không những tại nút lắp đặt D-Statcom mà còn cho những nút lân cận cũng ảnh hưởng tốt từ việc lắp đặt này. Kết quả mô phỏng quá trình quá độ khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha: khi có D-Statcom biên độ điện áp tại các nút được nâng cao hơn so với khi không có D-Statcom và biên độ điện áp phục hồi nhanh lại giá trị định mức I_{pu} như trước khi sự cố và không xảy ra dao động. Điều này cho thấy hiệu quả của việc dùng bộ bù D-Statcom vào việc cải thiện chất lượng điện áp lưới phân phối trong chế độ xác lập và quá độ, đồng thời cho thấy khả năng ứng dụng D-Statcom vào thực tế để đảm bảo chất lượng điện áp khi vận hành và bị tác động của nhiễu cho các phụ tải quan trọng trong các khu công nghiệp.

2. Mô hình D-Statcom

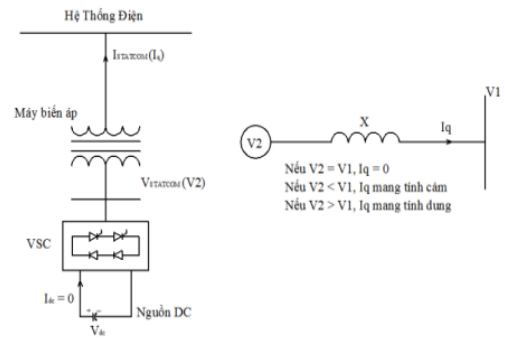
2.1. Nguyên lý làm việc của D-Statcom

Hình 1 trình bày cấu trúc cơ bản của D-Statcom bao gồm: một bộ biến đổi nguồn điện 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

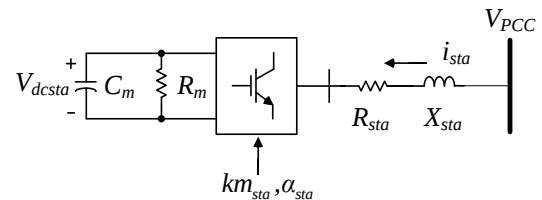
Nguyên lý hoạt động của D-Statcom được trình bày trên Hình 2. Việc điều chỉnh công suất phản kháng được thực hiện bằng việc điều khiển bộ VSC. VSC sử dụng các linh kiện điện tử công suất để điều chế thành điện áp xoay chiều ba pha V_2 từ nguồn một chiều V_{dc} được tích trên các tụ điện. D-Statcom là một thiết bị bù ngang, nó điều chỉnh điện áp tại vị trí nó lắp đặt đến giá trị mong muốn (V_{ref}) thông qua việc điều chỉnh biên độ và góc pha của điện áp roi giữa D-Statcom và hệ thống điện.



Hình 2. Nguyên lý hoạt động của D-STATCOM

Trong chế độ hoạt động ổn định điện áp thì D-Statcom phát ra điện áp V_2 cùng pha với V_1 ($\delta = 0$), do đó nó chỉ có chức năng điều khiển công suất phản kháng. Bằng cách điều khiển VSC để điện áp V_2 tạo ra cùng pha với điện áp V_1 của hệ thống nhưng có biên độ lớn hơn khiến dòng phản kháng (I_q) chạy từ D-Statcom vào hệ thống điện, lúc này dòng điện I_q hoạt động như một điện dung cung cấp công suất phản kháng vào hệ thống điện, vì thế sẽ làm điện áp hệ thống lên tăng lên. Ngược lại, nếu điện áp V_2 tạo ra bởi VSC có biên độ thấp hơn điện áp V_1 của hệ thống khiến dòng phản kháng (I_q) chạy từ hệ thống vào D-Statcom, lúc này dòng điện I_q hoạt động như một điện cảm tiêu thụ công suất phản kháng từ hệ thống, qua đó làm giảm điện áp hệ thống điện tại chỗ kết nối. Nếu điện áp V_2 tạo ra bởi VSC và điện áp hệ thống V_1 bằng nhau thì không có trao đổi công suất phản kháng.

2.2. Mô hình toán của D-Statcom



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

Với điện áp tạo ra từ D-Statcom theo 2 thành phần trực d và trục q được tính theo công thức sau [5-7]:

$$v_{qsta} = V_{dcsta} \cdot k m_{sta} \cdot \cos(\theta_{pcc} + \alpha) \quad (1)$$

$$v_{dsta} = V_{dcsta} \cdot k m_{sta} \cdot \sin(\theta_{pcc} + \alpha) \quad (2)$$

với $k m_{sta}$ là hệ số điều chế; α_{sta} 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.

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

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

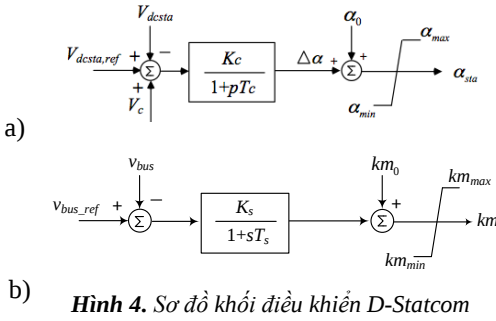
với dòng điện một chiều được tính bằng công thức sau

$$I_{dcsta} = i_{qsta} k m \cos(\theta_{pcc} + \alpha) + i_{dsta} k m \sin(\theta_{pcc} + \alpha) \quad (4)$$

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

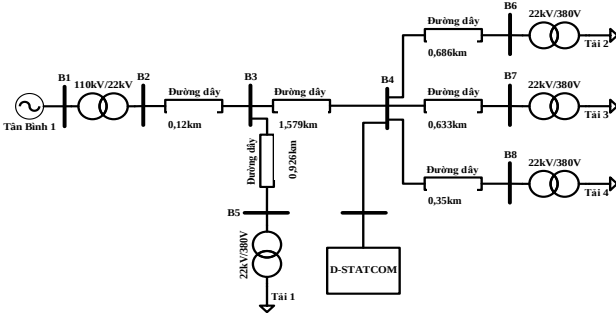
Sơ đồ khối điều khiển D-Statcom để điều chỉnh điện áp được trình bày ở Hình 4. Bằng cách thay đổi góc kích α_{sta} cho D-Statcom để điều khiển điện áp DC trên tụ điện như Hình 4.a. Trong khi đó, thay đổi hệ số điều chế $k m_{sta}$ để

điều khiển được điện áp xoay chiều v_{sta} của D-Statcom như Hình 4.b.



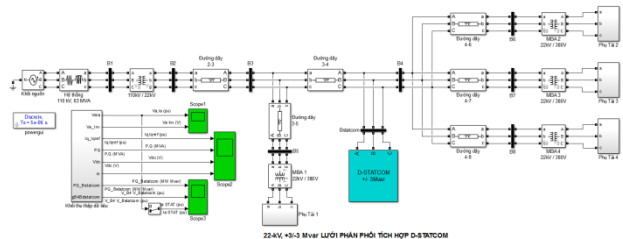
Hình 4. Sơ đồ khối điều khiển D-Statcom

3. Hệ thống điện nghiên cứu



Hình 5. Sơ đồ đơn tuyến hệ thống điện phân phối 22Kv phát tuyến KCN IV, Tân Bình, TP.HCM

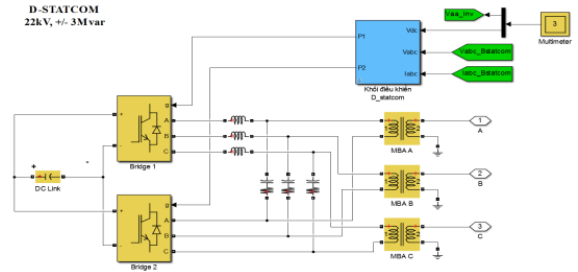
Hình 5 giới thiệu sơ đồ lưới điện phân phối KCN IV (thuộc phát tuyến KCN IV, Quận Tân Bình, TP.HCM), nguồn điện áp từ trạm biến áp Tân Bình 1 110KV/22KV, công suất 63MVA. Đường dây B2-B3 dài 0,12km, tại B3 có nhánh rẽ đến B5 dài 0,926km kết nối Tải 1 qua máy biến thế 22kV/380V. Đường dây B2-B4 dài 1,579km, tại B4 kết nối D-Statcom 22kV, ± 3 MVAR. Sau B4 chia làm 3 nhánh lần lượt là: đường dây B4-B6 dài 0,686km kết nối Tải 2 qua máy biến thế 22kV/380V, đường dây B4-B7 dài 0,633km kết nối Tải 3 qua máy biến thế 22kV/380V, đường dây B4-B8 dài 0,35km kết nối Tải 4 qua máy biến thế 22kV/380V. Dữ liệu phụ tải được thu thập thực tế từ kho dữ liệu đo đếm xa của Công ty Công nghệ Thông tin Điện lực, thuộc Tổng Công ty Điện lực Thành phố Hồ Chí Minh. Việc lắp đặt D-Statcom tại vị trí nút B4 vì đường dây phân phối 22kV nằm ở xa trạm điện 110/22kV nhưng gần trung tâm tải khu công nghiệp gồm các nút tải B6, B7, B8.



Hình 6. Sơ đồ mô phỏng hệ thống điện phân phối 22Kv phát tuyến KCN IV, Tân Bình, TP.HCM

Hình 6 trình bày sơ đồ mô phỏng cho mạng điện phân phối phát tuyến KCN IV, Tân Bình, TP.HCM trên môi trường Matlab/ Simulink. Hình 7 trình bày sơ đồ mô phỏng cho D-Statcom 22kV/ ± 3 Mvar nối vào nút 4 (Bus 4) nhằm ổn định biên độ điện áp tại nút này khi điện áp nguồn dao

động và phụ tải 1, 2, 3, 4 thay đổi trong ngày. D-Statcom được xây dựng dựa vào bộ nghịch lưu nguồn áp sử dụng IGBT kết hợp với máy biến áp để nối lên lưới phân phối 22kV. Bộ điều khiển PID được dùng để điều khiển điện áp trong mô hình này.



Hình 7. Sơ đồ khối mô phỏng D-Statcom

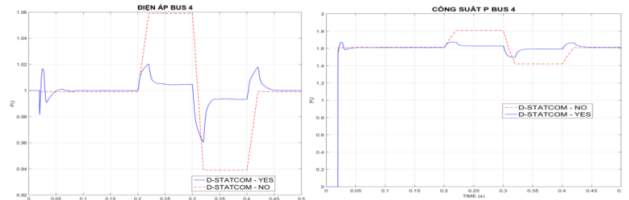
4. Kết quả mô phỏng

4.1. Trường hợp điện áp nguồn dao động $\pm 6\%$ và công suất các phụ tải 1, 2, 3, 4 không thay đổi

Thời gian mô phỏng là 0,5s. Tại thời điểm 0,2s điện áp nguồn tăng 6% lên đến 1,06pu, sau đó tại thời điểm 0,3s nguồn giảm 6% xuống 0,94pu và đến thời điểm 0,4s nguồn trở về bình thường 1pu như trên Hình 8a (đường nét đứt). Công suất các phụ tải như trong Bảng 1:

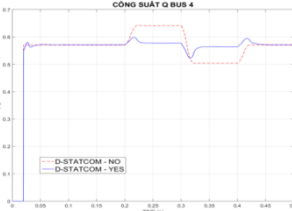
Bảng 1. Công suất các phụ tải 1, 2, 3, 4

	Phụ tải 1	Phụ tải 2	Phụ tải 3	Phụ tải 4
P(kW)	784,35	439,24	627,48	501,99
Q(kVar)	257,81	257,14	206,24	165,00



(a) Điện áp V tại nút 4

(b) Công suất P tại nút 4



(c) Công suất Q tại nút 4

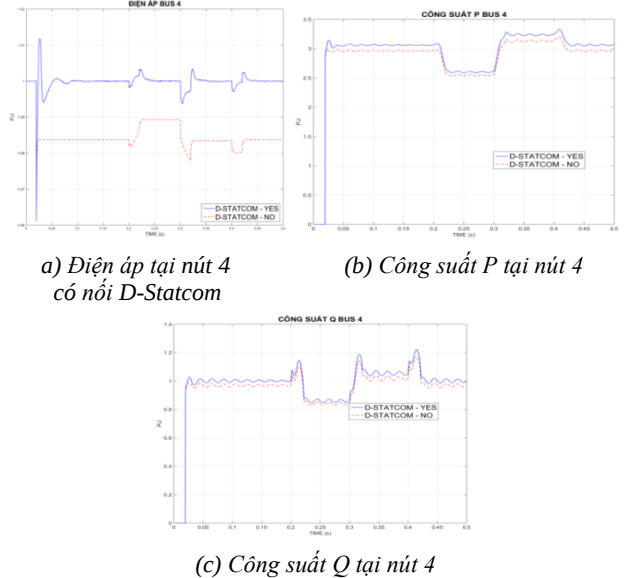
Hình 8. Đặc tính P, Q, V tại nút 4 khi áp nguồn dao động

Hình 8 trình bày kết quả mô phỏng các đồ thị P, Q, V trong trường hợp không có (đường nét đứt) và có (đường nét liền) D-Statcom kết nối với nút 4 (B4). Kết quả cho thấy khi không có D-Statcom (đường nét đứt) đồ thị điện áp bị dao động vượt quá $\pm 5\%$, vi phạm giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn [14] và khi có nối D-Statcom (đường nét liền) tại nút 4 (B4) nối đến các nút tải (B6, B7, B8) thì điện áp ổn định, bằng phẳng hơn và biên độ điện áp trở về gần với giá trị định mức 1pu như mong muốn. Tương tự các đồ thị công suất P, Q tại nút có nối D-Statcom (Bus 4) bằng phẳng hơn và gần với giá trị ban đầu khi chưa có dao động điện áp

nguồn. Công suất P dao động trong khoảng 2,28MW đến 2,5MW, công suất kháng Q dao động trong khoảng 0,79Mvar đến 0,9Mvar. Điều này cho thấy, hiệu quả của D-Statcom trong việc ổn định biên độ, cải thiện chất lượng điện áp tại các nút tải khi điện áp nguồn dao động.

4.2. Trường hợp thay đổi công suất các phụ tải 1, 2, 3, 4

Giá trị công suất các phụ tải thay đổi tương ứng các thời điểm bình thường (Biểu 1), thấp điểm (Biểu 2) và cao điểm (Biểu 3) dựa vào dữ liệu đo đếm được trình bày trong Bảng 2.



Hình 9. P, Q, V tại nút 4 (B4) khi công suất tải thay đổi

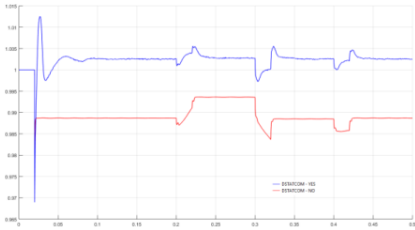
Hình 9 trình bày kết quả mô phỏng các đồ thị P, Q, V trong trường hợp không có (đường nét đứt) và có (đường nét liền) D-Statcom kết nối với nút 4 (B4). Khi các tải thay đổi vào các thời điểm bình thường, thấp điểm, cao điểm như trong Bảng 2 thì điện áp nút 4 bị giảm nhỏ hơn định mức và dao động không bằng phẳng (đường nét đứt). Trường hợp có D-Statcom kết nối với nút 4 (B4) thì điện áp bằng phẳng hơn, dao động nhỏ quanh giá trị định mức 1pu như mong muốn (đường nét liền). Đồ thị công suất P, Q khi có D-Statcom được nâng cao hơn so với khi không có D-Statcom.

Bảng 2. Công suất các phụ tải tại các thời điểm bình thường, thấp điểm và cao điểm

Phụ tải	Công suất	Biểu 1	Biểu 2	Biểu 3
Phụ tải 1	P(kW)	1.623,20	1.358,30	1.724,60
	Q(kVAr)	533,51	446,47	425,14
Phụ tải 2	P(kW)	908,98	760,67	965,78
	Q(kVAr)	298,77	250,02	317,44
Phụ tải 3	P(kW)	1.298,54	1.086,67	1.379,69
	Q(kVAr)	426,81	357,17	453,48
Phụ tải 4	P(kW)	1.038,83	869,34	1.103,75
	Q(kVAr)	341,45	285,74	362,79

Hình 10 cho thấy biên độ điện áp tại nút 2 (B2) phía nguồn cũng được nâng cao hơn, tránh xảy ra quá tải do tụt áp quá nhiều do tải thay đổi. Điều này cho thấy hiệu quả của D-Statcom trong việc điều chỉnh điện áp không những ổn định điện áp tại nút kết nối mà còn ổn định điện áp ở

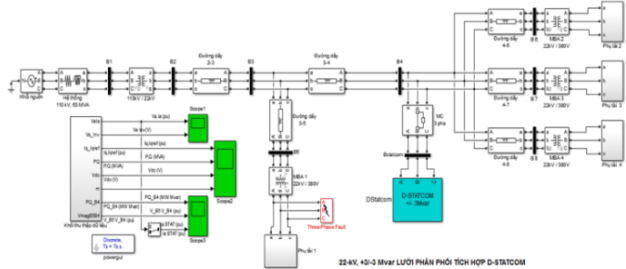
những nút lân cận nữa.



Hình 10. Điện áp tại nút 2 (B2)

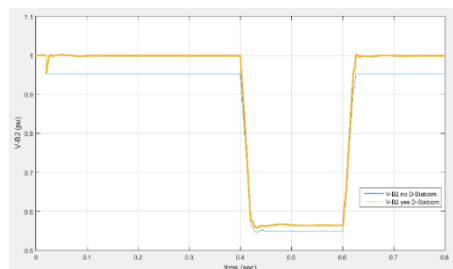
4.3. Trường hợp xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha thoáng qua trên lưới phân phối tại Phụ tải 1

Sơ đồ mô phỏng khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha thoáng qua trên lưới phân phối tại Phụ tải 1 được trình bày trên Hình 11.

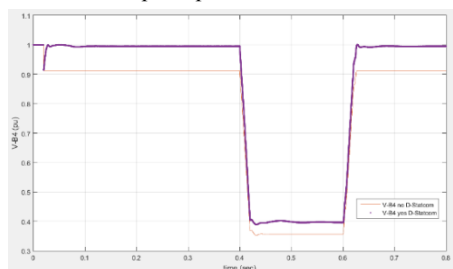


Hình 11. Sơ đồ mô phỏng khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha thoáng qua trên lưới phân phối tại Phụ tải 1

Kết quả mô phỏng biên độ điện áp tại các nút B2 và B4 khi không có và có D-Statcom lắp đặt tại nút B4. Thời gian mô phỏng từ 0 đến 0,8s. Thời gian xảy ra sự cố ngắn mạch thoáng qua từ 0,4s đến 0,6s. Trên Hình 12, trường hợp không có D-Statcom thì điện áp nguồn B2 giảm từ 0,95pu đến 0,54pu trong thời gian xảy ra sự cố ngắn mạch, sau đó từ 0,6s phục hồi về giá trị ban đầu 0,95pu như trước khi sự cố. Khi có D-Statcom thì điện áp B2 giảm từ 1pu đến 0,56pu trong thời gian xảy ra sự cố ngắn mạch, sau đó phục hồi về giá trị ban đầu 1pu như trước khi sự cố. Tương tự trên Hình 13, trường hợp khi không có D-Statcom thì điện áp nút B4 giảm từ 0,92pu đến 0,35pu trong thời gian xảy ra sự cố ngắn mạch sau đó từ 0,6s phục hồi về giá trị ban đầu 0,92pu như trước khi sự cố. Còn khi có D-Statcom thì điện áp B4 giảm từ 1pu đến 0,56pu trong thời gian xảy ra sự cố ngắn mạch sau đó phục hồi về giá trị ban đầu 1pu như trước khi sự cố. Kết quả cho thấy khi có lắp đặt D-Statcom thì biên độ điện áp tại nút B2 và B4 được nâng cao hơn so với trường hợp không có D-Statcom khi xảy ra sự cố ngắn mạch, đồng thời đáp ứng điện áp phục hồi nhanh và ổn định lại bằng điện áp định mức 1pu như trước khi sự cố, không xảy ra dao động điện áp sau sự cố, nâng cao chất lượng điện áp cung cấp cho phụ tải. Tuy nhiên phản ứng của STATCOM hiệu quả chưa cao trong trường hợp này là do dự cố xảy ra ở vị trí gần về phía nguồn hơn so với vị trí của STATCOM. Hơn nữa bộ PID thông số cố định sẽ không hoạt động tốt trong tất cả các trường hợp. Điều này có thể giải quyết bằng cách dùng kết hợp PID với logic mờ, noron hoặc điều khiển thích nghi cho D-Statcom.



Hình 12. Đáp ứng điện áp tại nút B2 khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha thoáng qua từ 0,4s đến 0,6s trên lưới phân phối tại Phụ tải 1



Hình 13. Đáp ứng điện áp tại nút B4 khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha thoáng qua từ 0,4s đến 0,6s trên lưới phân phối tại Phụ tải 1

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc ứng dụng bộ D-Statcom vào mạng lưới điện phân phối KCN IV, Tân Bình, TP.HCM để cải thiện chất lượng điện áp của phụ tải trong chế độ xác lập khi điện áp nguồn dao động và phụ tải thay đổi theo các mức bình thường, thấp điểm, cao trong ngày và chế độ sự cố ngắn mạch ba pha thoáng qua. Kết quả mô phỏng trong chế độ xác lập cho thấy rằng khi có lắp đặt D-Statcom tại nút phụ tải thì điện áp tại nút đó được điều chỉnh ổn định, biên độ điện áp luôn nằm trong giới hạn cho phép $\leq \pm 5\%$, giảm thời gian dao động, ổn định biên độ điện áp không những tại nút lắp đặt D-Statcom mà còn cho những nút lân cận cũng ảnh hưởng tốt từ việc lắp đặt này. Kết quả mô phỏng quá trình quá độ khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha thì khi có D-Statcom biên độ điện áp tại các nút được nâng cao hơn so với khi không có D-Statcom và biên độ điện áp phục hồi nhanh lại giá trị định mức 1pu như trước khi sự cố và không xảy ra dao động. Điều này cho thấy, hiệu quả của việc dùng bộ bù D-Statcom vào việc cải thiện chất lượng điện áp lưới phân phối trong chế độ xác lập và quá độ, đồng thời cho thấy khả năng ứng dụng D-Statcom vào thực tế để đảm bảo chất lượng điện áp khi vận hành và bị tác động của nhiễu cho các phụ tải quan trọng trong các khu công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Tùng Lâm, Trần Thị Hằng, Nguyễn Văn Nhật, “Sử dụng đường cong PV/QV phân tích ổn định điện áp”, Tuyến tập báo cáo Hội nghị Sinh viên Nghiên cứu Khoa học lần thứ 7 Đại học Đà Nẵng, pp.120-129, 2010.
- [2] Nguyễn Xuân Dũng, “Đánh giá ổn định điện áp 220kV khu vực miền trung”, Luận văn thạc sĩ Đại học Đà Nẵng, 2012.
- [3] Trần Văn Vinh, “Ứng dụng thiết bị SVC để nâng cao độ ổn định điện áp trong hệ thống điện”, Luận văn thạc sĩ Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, 2013.
- [4] Lê Đức Hiền, Trần Phương Châu, Trần Văn Dũng, Hà Đình Nguyên “Ứng dụng thiết bị STATCOM để nâng cao độ ổn định điện áp cho hệ thống điện Việt Nam”, Tuyển tập báo cáo Hội nghị Sinh viên Nghiên cứu Khoa học lần thứ 7 Đại học Đà Nẵng, pp.106-112, 2010.
- [5] Hồ Đức Lộc, “Thiết bị FACTS trong hệ thống điện”, Nhà xuất bản Xây dựng, 2013.
- [6] D. Shen, and P. W. Lehn, “Modeling, analysis and control of a current source inverter based STATCOM”, *IEEE Trans.on Power Deliv.* Vol.17. No.1, pp. 248-253, 2002.
- [7] 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, pp. 726-735, 2006.
- [8] Nguyen Huu Vinh, Le Kim Hung, Nguyen Hung, “Comparative Stability Improvement Studied of a Multi-machine System with a STATCOM and a SVC”, *The 2015 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering - ISEE 2015, Vietnam*, pp.24-31, October 30th 2015.
- [9] Nguyễn Hồng Anh, Lê Cao Quyền, “Lựa chọn thiết bị bù công suất phản kháng tối ưu cho lưới điện 500kV Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, pp.1-9, Số 3(26), 2008.
- [10] Nguyễn Hữu Vinh, Nguyễn Hùng, Lê Kim Hùng, “Using a Statcom to Enhance Stability of a Grid Connected Wind Power System”, *The University of Da Nang, Journal of Science and Technology*, pp.215-219, Vol 11 (96), 2015.
- [11] D. Manasa, M.GopiSivaPrasad, G.Jayakrishna, “Statcom Control under Asymmetrical Grid Faults at FSIG- Wind Farm”, *International Journal of Electrical and Electronics Research*, Vol. 2, Issue 2, pp.124-132, June 2014.
- [12] H. Chong, A. Q. Huang, M. E. Baran, S. Bhattacharya, W. Litzenberger, 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, pp. 226-233, 2008.
- [13] 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, pp. 237-243, 1998.
- [14] A. Ganesh, R. Dahiya and G. K. Singh, “Development of simple technique for STATCOM for voltage regulation and power quality improvement”, *2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), Trivandrum, India*, pp.1-6, 2016.
- [15] 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.
- [16] Trần Đình Long, “Tra cứu về chất lượng điện năng”, Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội, 2013.
- [17] P. M. Anderson and A. A. Fouad, “Power System Control and Stability”, *IEEE Press*, 2d ed., 2003.
- [18] P. Kundar, “Power System Stability and Control”. New York: McGraw-Hill, 1994.

(BBT nhận bài: 27/06/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 21/07/2017)