

KHẮC PHỤC SỤT ÁP NGẮN HẠN LƯỚI PHÂN PHỐI 15 NÚT SỬ DỤNG D-STATCOM

OVERCOMING THE SHORT-TERM VOLTAGE DROP IN 15-BUS DISTRIBUTION NETWORK USING D-STATCOM

NGUYỄN THẾ HOÀNG^{1,a}, NGUYỄN VIỆT TRUNG^{1,b},
NGUYỄN VĂN MINH^{1,c}

¹Trường Đại học SPKT Vĩnh Long

Email: ^anguyenthehoangkg@gmail.com,

^btrungnv@vlute.edu.vn, ^cminhvn@vlute.edu.vn.

Nhận bài (received): 07/3/2022; Phản biện (revised): 30/3/2022; Chấp nhận (accepted): 13/4/2022

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày mô hình toán và mô phỏng hệ thống sử dụng thiết bị D-Statcom để khắc phục sụt áp ngắn hạn hệ thống điện. Cụ thể, các thông số trên lưới phân phối và phụ tải được tham khảo tại nhánh 371 thuộc tỉnh Kiên Giang, nhánh có tổng cộng 15 nút bao gồm các phụ tải là các công ty, xí nghiệp. Hệ thống được xây dựng và mô phỏng trên phần mềm MATLAB/Simulink. Trường hợp ngắn mạch ba pha trong khoảng thời gian 1-1,2s tại nút 01. Kết quả mô phỏng cho thấy điện áp tại các nút được cải thiện rõ rệt khi hệ thống có sử dụng thiết bị D-Statcom. Cụ thể điện áp tại các nút ở đầu, giữa và cuối đường dây đều có biên độ trên 0,9pu.

Từ khóa: D-Statcom, sụt áp ngắn hạn, ngắn mạch ba pha, Matlab/Simulink.

ABSTRACT:

This paper presents mathematical model and system simulation using D-Statcom device to overcome the short-term voltage drop of the power system. Specifically, the parameters on the distribution network and the load are referred to at branch 371 of Kien Giang province. The branch has a total of 15 bus including the loads of companies and enterprises. The system is built and simulated in MATLAB/Simulink software. In case of three-phase short circuit for 1-1.2s at bus 01. The simulation results show that the voltage at the buses is significantly improved when the system uses D-Statcom devices. Specifically, the voltage at the buses at the beginning, middle and end of the line have an amplitude of over 0.9 pu.

Keywords: D-Statcom, short-term voltage drop, three-phase short circuit, Matlab/Simulink.

1. GIỚI THIỆU

Sụt giảm điện áp ngắn hạn (SANH) hay còn gọi là lôm điện áp là hiện tượng chất lượng điện năng (CLĐN) mà trong đó

trị số hiệu dụng của điện áp giảm xuống dưới 0.9 pu trong thời gian dưới 1 phút [1]. Ngắn mạch trong lưới điện, khởi động các động cơ công suất lớn, đóng điện không tải

máy biến áp là các nguyên nhân chính dẫn đến SANH, trong đó ngắn mạch là nguyên nhân dẫn đến trên 90% các sự kiện SANH trong hệ thống điện [2]. Ngoài ra, SANH còn do các nguyên nhân như đóng các phụ tải lớn vào lưới điện, mở máy không tải máy biến áp công suất lớn [1]. Tuy nhiên, đối với các trường hợp này, SANH thường có biên độ giảm nhỏ và ít gây nguy hiểm cho lưới điện. Về mặt năng lượng, SANH làm giảm lượng năng lượng cần thiết cung cấp cho các thiết bị dùng điện và do đó sẽ làm cho các thiết bị nhạy cảm ngừng làm việc hay làm việc không đúng theo yêu cầu thiết kế. Bộ cấp nguồn cho máy tính, các thiết bị điện tử, bộ điều tốc, contactor, rơ le điện cơ và động cơ không đồng bộ,... thường là những thiết bị chịu nhiều ảnh hưởng bởi SANH [2].

Ngày nay, có nhiều giải pháp khắc phục hiện tượng SANH trên lưới điện tùy thuộc hiện tượng CLĐN, loại phụ tải nhạy cảm. Việc sử dụng các thiết bị như FACTS (Flexible AC Transmission System), CPD (Custom Power Device) ngày càng được phát triển với những ưu điểm vượt trội so với các giải pháp khác, nổi bật nhất chính là khả năng phản ứng nhanh, rất phù hợp để khắc phục các hiện tượng CLĐN diễn biến nhanh xuất hiện ngày càng nhiều trên hệ thống điện. Sở dĩ có ưu điểm này là vì các thiết bị FACTS hay CPD có sự hỗ trợ của các linh kiện điện tử công suất đóng vai trò như các công tắc bán dẫn. Bên cạnh đó, các tính năng nâng cao chất lượng vận hành cho hệ thống điện cũng đồng thời được đảm bảo như nâng cao khả năng tải, cải thiện độ tin cậy của lưới điện [3]. Các thiết bị CPD có thể được nối song song với phụ tải được bảo vệ như thiết bị bù tĩnh D-Statcom (Distribution Static Synchronous Compensator) hoặc nối tiếp với phụ tải như thiết bị phục hồi điện áp

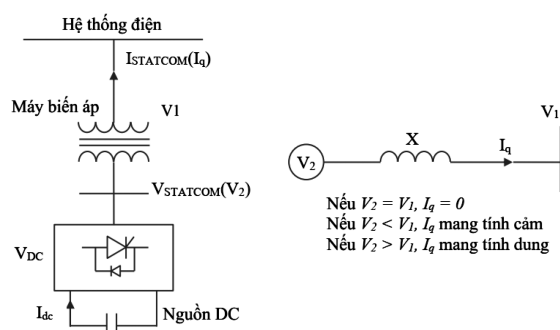
động DVR (Dynamic Voltage Restorer) hoặc kết hợp cả hai hình thức nối tiếp và song song như thiết bị UPQC (Unified Power Quality Conditioner) trong lưới phân phối điện [4]. Bài báo này xét hiện tượng CLĐN là SANH do ngắn mạch trên lưới phân phối và thiết bị FACTS được xem xét là D-Statcom. Lưới phân phối được lấy thông số tại lưới địa phương thuộc khu công nghiệp Thanh Lộc, huyện Châu Thành, Kiên Giang. Tác giả sử dụng phần mềm Matlab/Simulink mô phỏng quá trình SANH và khắc phục SANH sử dụng thiết bị D-Statcom.

Nội dung bài báo gồm 4 phần chính: Phần 1 trình bày tổng quan nội dung; Phần 2 mô tả mô hình toán và phương pháp sử dụng D-Statcom trên lưới phân phối. Kết quả mô phỏng được trình bày trong Phần 3. Phần 4 kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Thiết bị D-Statcom

Cấu trúc cơ bản của D-Statcom được thể hiện trong Hình 1, bao gồm bộ biến đổi nguồn điện áp ba pha (VSC-Voltage Source Converter) được kết nối về phía thứ cấp của máy biến áp ghép và nguồn điện áp DC (V_{dc}) [5].



Hình 1. Nguyên lý hoạt động cơ bản của D-Statcom

Công suất hiệu dụng và công suất phản kháng trao đổi giữa hai nguồn V_1 (lưới) và

V_2 (bộ bù) được tính như sau [5]:

$$P = \frac{V_1 V_2 \sin \delta}{X_L}; \quad Q = \frac{V_1}{X_L} (V_1 - V_2 \cos \delta); \quad \delta = (\theta_1 - \theta_2) \quad (1)$$

Trong chế độ hoạt động ổn định điện áp phát ra bởi D-Statcom thì V_2 cùng pha với V_1 ($\delta = 0$) do đó chỉ có công suất phản kháng truyền tải. Bằng cách điều khiển điện áp V_2 tạo ra bởi bộ biến đổi VSC cùng pha với điện áp hệ thống V_1 nhưng có biên độ lớn hơn khiến dòng phản kháng (I_q) chạy từ D-Statcom vào hệ thống, lúc này dòng điện I_q hoạt động như một điện dung cung cấp công suất phản kháng đến hệ thống, qua đó sẽ nâng cao được điện áp trong lưới điện [5].

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 hạn chế quá áp trên lưới điện. Nếu điện áp V_2 và V_1 bằng nhau thì không có trao đổi công suất phản kháng.

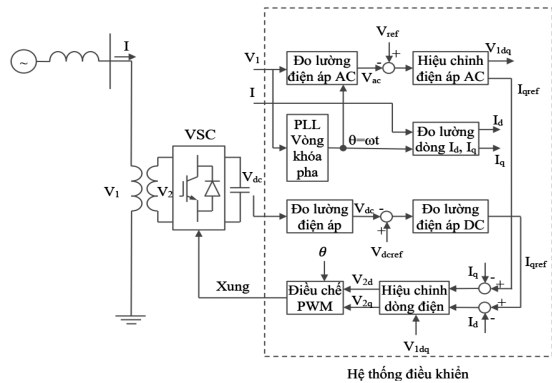
Hình 2 thể hiện sơ đồ đơn tuyến của D-Statcom kết nối với hệ thống điện và sơ đồ khối hệ thống điều khiển D-Statcom. Hệ thống điều khiển cơ bản bao gồm [5]:

- Một vòng khóa pha (PLL) đồng bộ trên các thành phần thứ tự dương của điện áp ba pha sơ cấp V_1 . Ngõ ra của PLL (góc $\theta = \omega t$) được sử dụng để tính toán các thành phần dọc trục, ngang trục của điện áp và dòng điện ba pha AC.

- Các hệ thống đo lường đo các thành phần dq của điện áp và dòng điện thứ tự thuận AC được điều khiển cũng như điện áp DC, V_{dc} .

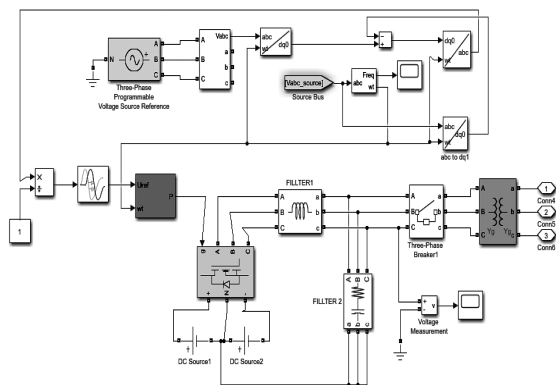
- Một vòng lặp điều chỉnh bên ngoài bao gồm một bộ điều chỉnh điện áp AC và bộ điều chỉnh điện áp DC. Ngõ ra bộ điều chỉnh điện áp AC và DC bao gồm I_{qref} và I_{dref}

- Một vòng lặp điều chỉnh dòng điện để điều khiển độ lớn và pha của điện áp được tạo ra bởi bộ chuyển đổi PWM (V_{2d} và V_{2q}) từ những dòng điện quy chiếu I_{dref} và I_{qref} tạo ra tương ứng bằng cách điều chỉnh điện áp DC và điều chỉnh điện áp AC.



Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển của D-Statcom

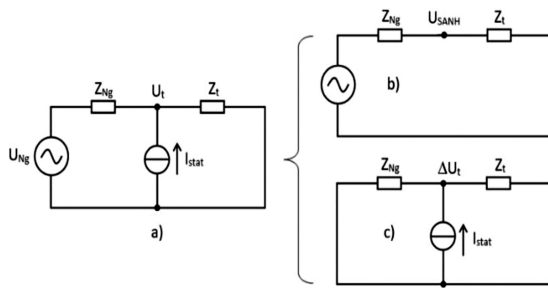
Sơ đồ khối mô phỏng sử dụng phần mềm Matlab/Simulink của vòng khóa (PLL) được minh họa trong Hình 3. Mạch PLL được sử dụng để tạo ra một sóng hình sine đồng pha với điện áp nguồn.



Hình 3. Sơ đồ khối vòng khóa PLL sử dụng phần mềm Matlab/Simulink

2.2. D-Statcom ứng dụng trên lưới phân phối

Để khắc phục SANH trên toàn bộ lưới điện, bài báo xem xét việc đặt một thiết bị D-Statcom. Về mặt lý thuyết, ứng với mỗi vị trí đặt D-Statcom, công suất D-Statcom được tính theo phương pháp xếp chồng [6].



Hình 4. Sơ đồ lưới điện 1 nút phụ tải có đặt D-Statcom

Trong trường hợp đơn giản, *Hình 4* thể hiện sơ đồ mô tả lưới điện một nguồn và có bù điện áp bởi D-Statcom tại nút phụ tải. Nhờ có D-Statcom cung cấp dòng I_{stat} vào lưới, điện áp tại nút tải (cũng là nút kết nối D-Statcom) có thể được bù đến giá trị U_t . *Hình 4b* mô tả lưới điện chưa xét D-Statcom, khi đó điện áp tại nút tải là U_{SANH} . *Hình 4c* thể hiện sơ đồ lưới điện không xét nguồn lưới, khi đó chỉ xét mạch bù điện áp ΔU_t ($\Delta U_t = U_t - U_{SANH}$) nhờ D-Statcom cung cấp dòng I_{stat} . Để tính trị số dòng điện I_{stat} , có thể xem mạch *Hình 4a* là xếp chồng của mạch *Hình 4b* và mạch *Hình 4c* [7]:

$$I_{stat} = \frac{\Delta U_t}{Z_{th}} = \frac{U_t - U_{SANH}}{Z_{th}} \quad (2)$$

Trong đó:

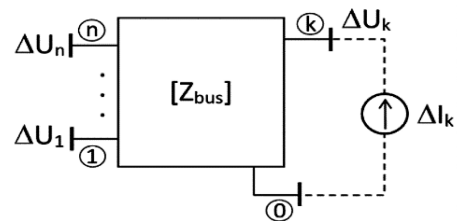
Z_{th} : Tổng trở Thevenin của lưới điện nhìn từ nút tải.

U_t : Điện áp nút tải sau khi đặt D-Statcom.

Z_{ng} : Tổng trở nguồn điện.

Z_t : Tổng trở phụ tải.

Thực tế, đối với lưới điện như lưới phân phối 15 nút địa phương được mô phỏng trong bài báo thì việc tính I_{stat} cũng theo nguyên tắc xếp chồng dựa trên định lý Thevenin đối với ma trận tổng trở nút như sau [7]:



Hình 5. Lưới điện mô tả theo tổng trở nút và xét một D-Statcom nối vào nút k

Giả sử trường hợp lưới chưa ngắn mạch, chưa xét D-Statcom thì phương trình điện áp nút như sau:

$$[U^0] = [Z_{bus}] \times [I^0] \quad (3)$$

Trong đó:

$[U^0]$: Ma trận điện áp nút ở trạng thái ban đầu;

$[I^0]$: Ma trận dòng điện cung cấp vào các nút ở trạng thái ban đầu;

$[Z_{bus}]$: Ma trận tổng trở nút của lưới điện. $[Z_{bus}]$ được tính từ ma trận tổng dẫn nút: $[Z_{bus}] = [Y_{bus}]^{-1}$.

Khi có xét D-Statcom, tương tự như khi cung cấp dòng $\Delta I_k = I_{stat}$ vào nút k thì phương trình điện áp nút của lưới điện được tính theo định lý Thevenin như sau [7]:

$$\begin{aligned} [U] &= [Z_{bus}] \times ([I^0] + [\Delta I]) \\ &= [Z_{bus}] \times [I^0] + [Z_{bus}] \times [\Delta I] \\ &= [U^0] + [\Delta U] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Trong đó: } [\Delta U] = [Z_{bus}] \times [\Delta I]$$

Tương tự:

$$\begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \dots \\ \Delta U_k \\ \dots \\ \Delta U_n \end{bmatrix} = [Z_{bus}] \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \Delta I_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{1k} \\ L \\ Z_{kk} \\ L \\ Z_{nk} \end{bmatrix} \times I_{stat} \quad (5)$$

Trong đó:

ΔU_i : Độ tăng điện áp nút $i, i=1, n$ khi cung cấp thêm dòng ΔI_k vào nút $k (I_{stat})$.

Vì chỉ xét một D-Statcom trên hệ thống nên ma trận dòng cung cấp vào các nút $[AI]$ chỉ có phần tử $\Delta I_k \neq 0$, còn các phần tử khác đều bằng 0.

Giả thiết điện áp tại nút k nối với D-Statcom sẽ tăng từ $U_k^0 = U_{SANH.k}$ lên đến $U_k = 1$. Dòng điện D-Statcom tương ứng được tính như sau [7]:

$$I_{stat} = \Delta I_k = \frac{\Delta U_k}{Z_{kk}} = \frac{1}{Z_{kk}} \times (1 - U_{SANH.k}) \quad (6)$$

Công suất của D-Statcom [7]:

$$S_{stat.k} = U_k \times I_{stat} \quad (7)$$

Độ tăng điện áp tại các nút $i (i=1-n; i \neq k)$ khi lưới có D-Statcom [7]:

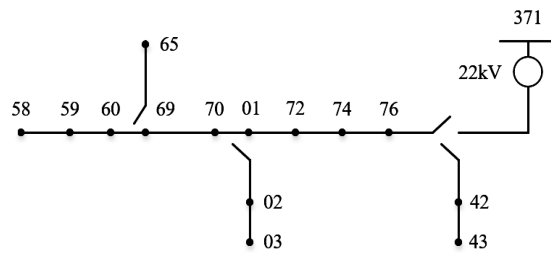
$$U_i = \Delta U_i + U_i^0 = Z_{ik} \times I_{stat} + U_{SANH.i} \quad (8)$$

Tất cả các tính toán như mô tả lưới Z_{bus} , tính toán công suất S_{stat} của D-Statcom và kiểm tra độ lệch điện áp khi có lắp đặt D-Statcom trên lưới được mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink.

3. KHẮC PHỤC SỤT ÁP NGẮN HẠN LƯỚI PHÂN PHỐI 15 NÚT ĐỊA PHƯƠNG SỬ DỤNG D-STATCOM

3.1. Lưới phân phối 15 nút địa phương

Hình 6 mô tả lưới phân phối 15 nút địa phương, cụ thể là nhánh 371 Chung Sur – Tắc Cậu thuộc tỉnh Kiên Giang. Lưới gồm có 15 nút với một nút nguồn (nút 371) và 14 nút tải. Đây là lưới 22kV có dạng hình tia. Dân cư và các công ty, xí nghiệp cũng tập trung trên hai bên tuyến đường giao thông, nên các phụ tải sử dụng điện cũng được phân bố theo trục lộ giao thông.



Hình 6. Sơ đồ đơn tuyến lưới địa phương 15 nút

Thông số thu thập đầu năm 2021 do công ty điện lực Kiên Giang cung cấp, chiều dài tuyến khoảng 8km, là dây AC-120 kéo hết trục chính của tuyến. Do phụ tải phân bố theo trục đường nên các tuyến rẽ nhánh cung cấp cho phụ tải có sử dụng dây AC-50, AC-75 nhưng kéo một đoạn dây rất ngắn với điện áp 22kV xem như có thể bỏ qua tổng trở đường dây cấp cho phụ tải. Tuyến chính có $r_0 = 0,192832176 (\Omega / km)$, công suất trạm khoảng 25MVA. Bảng 1 cho biết thông số các phụ tải công nghiệp của nhánh 371 thuộc tỉnh Kiên Giang.

Bảng 1. Thông số phụ tải nhánh 371

STT	NÚT	THÔNG TIN PHỤ TẢI	P (W)	Q (Var)
1	42	Công ty CP Bia Sài Gòn	5000	5000
2	43	Nhà máy Bia Sài Gòn	55000	8000
3	76	Công ty Tôn Mai	4000	1500
4	74	Tư nhân Trịnh Ngọc Đồng	3000	1200
5	72	Tư nhân Hồng Nhung	3000	1000
6	01	Tư nhân Hà Yến	2000	1000
7	02	Nhà máy Giấy TBS 1-2	45000	4000

STT	NÚT	THÔNG TIN PHỤ TẢI	P (W)	Q (Var)
8	03	Nhà máy Giày TBS3	30000	8000
9	70	Tư nhân Minh Nhật Quang	3000	1500
10	69	ST Vạn Hạnh	22000	9000
11	65	HKD Tư Kiệt	21000	8000
12	60	Tư nhân Đỗ Văn Triệu	5000	1500
13	59	Tư nhân Nguyễn Đăng Khoa	9000	2000
14	58	Công ty CP Thái Bình	77000	20000

* Ghi chú: Thông số Bảng 1 được thu thập từ phần mềm của Đơn vị quản lý, các tên phụ tải là Cơ sở, Công ty, Nhà máy, Doanh nghiệp đăng ký hoạt động.

Mô hình nhánh 371 toàn bộ phát tuyến được xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink. Toàn bộ thông số tải được nhập trên mô phỏng, để có thể thực hiện các thao tác vận hành thử nghiệm hệ thống.

3.2. Kết quả mô phỏng

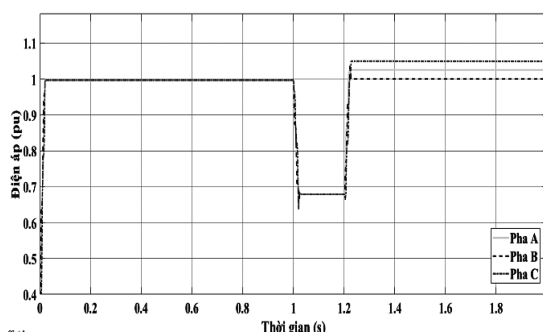
Kết quả mô phỏng được khảo sát trong trường hợp hệ thống có đặt thiết bị D-Statcom và không có D-Statcom. Khi mô tả hiện tượng SANH do sự cố ngắn mạch trên lưới điện, bài báo giả thiết ngắn mạch 3 pha với tổng trở sự cố $Z_f = 0.257 + j0.000175$, thời gian ngắn mạch là 0.2s.. Bảng 2 trình bày các thông số chính của cấu hình D-Statcom khi áp

dụng vào lưới điện.

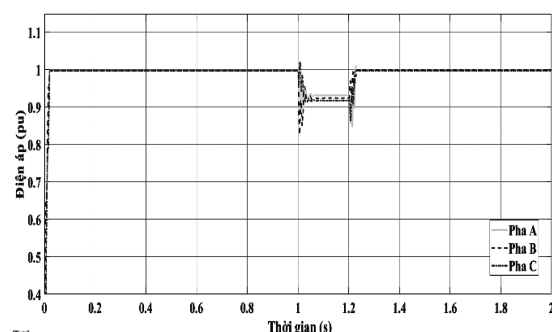
Bảng 2. Thông số chính cấu hình D-Statcom

Nguồn AC	Nguồn điện áp không đổi 22kV, 50Hz
Mạch lọc	$L = 0.001 \times 10^{-6} (H)$; $R = 0.00001(\Omega)$; $C = 10^{-12} (F)$
Máy biến áp	200 (MVA); 22 (kV)

SANH được phát hiện khi điện áp lưới điện giảm xuống dưới 90% điện áp định mức và quá điện áp được phát hiện khi điện áp lưới tăng trên 110% điện áp định mức. Cụ thể, bài báo khảo sát trường hợp lưới điện ngắn mạch ba pha tại nút 01 khi không có D-Statcom và khi có D-Statcom đặt ở nút 01. Các kết quả đo được trích xuất từ phần mềm mô phỏng Hình 6, Hình 7 và Hình 8.

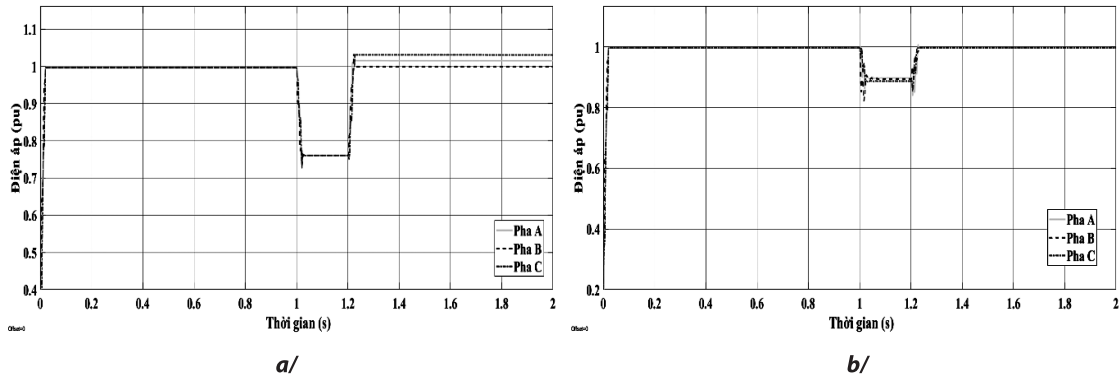


a/

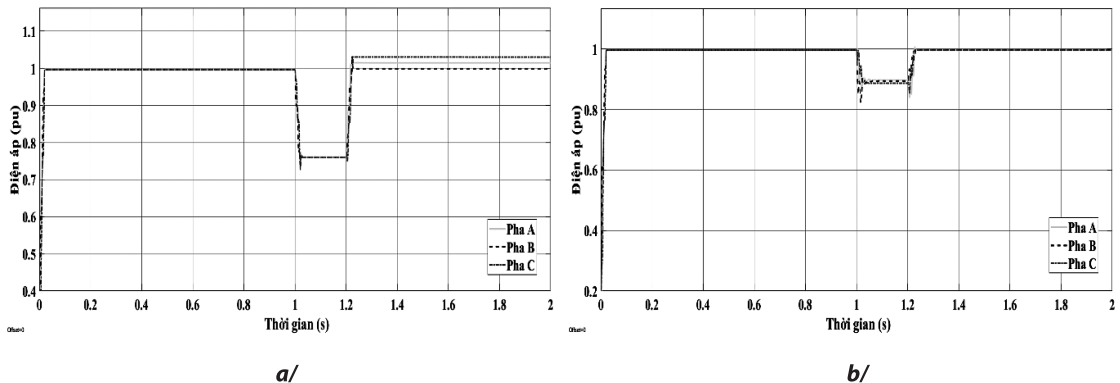


b/

Hình 6. Điện áp tại nút 01. a/ Chưa có D-Statcom; b/ Có D-Statcom



Hình 7. Điện áp tại nút 58. a/ Chưa có D-Statcom; b/ Có D-Statcom



Hình 8. Điện áp tại nút 76. a/ Chưa có D-Statcom; b/ Có D-Statcom

Nhận xét:

Hình 6a, Hình 7a và Hình 8a thể hiện lần lượt điện áp tại nút 01, 58 và 76 khi hệ thống không có D-Statcom. Có thể thấy khi xảy ra ngắn mạch trong khoảng thời gian 1-1.2s điện áp tại nút ngắn mạch 01 giảm sâu chỉ còn 0.68pu (Hình 6a), điện áp tại nút đầu đường dây 76 giảm xuống 0.77pu (Hình 7a) và điện áp tại nút cuối đường dây 58 là 0.76pu (Hình 7c). Nhìn chung, biên độ điện áp tại các nút khi xảy ra ngắn mạch đều giảm xuống dưới 0.9pu.

Kết quả mô phỏng trường hợp hệ thống được lắp thiết bị D-Statcom để hạn chế SANH được thể hiện trong Hình 6b, Hình 7b và Hình 8b. Khi có D-Statcom điện áp tại nút 01 tăng lên 0.93pu (Hình 7a), nút 76 có giá trị 0.91pu (Hình 7b) và nút 58 điện áp được cải thiện lên 0.9pu (Hình 7c). Biên

độ điện áp trên các nút đều tăng trên 0.9pu.

Có thể thấy khi D-Statcom đang hoạt động, không chỉ điện áp tại nút có kết nối với D-Statcom được bảo vệ mà còn có điện áp của các nút khác gần vị trí đặt D-Statcom cũng được cải thiện. Do đó, nhìn từ quan điểm hệ thống, chỉ tiêu SARFI, có thể kết luận rằng sử dụng D-Statcom có hiệu quả cao trên toàn bộ hệ thống.

5. KẾT LUẬN

Bài báo mô tả phương pháp sử dụng thiết bị D-Statcom để khắc phục sụt giảm điện áp ngắn hạn khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha, lưới phân phối và phụ tải được lấy thông số từ nhánh 371 thuộc tỉnh Kiên Giang. Toàn bộ hệ thống mô phỏng được xây dựng dựa trên phần mềm hỗ trợ MATLAB/Simulink. Kết quả mô phỏng

cho thấy đáp ứng của thiết bị D-Statcom khi có trong hệ thống đã cải thiện được sự cố sụt giảm điện áp khi ngắn mạch. Hướng nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ tiếp

tục phát triển các thuật toán tối ưu để tính toán thông số D-Statcom cũng như vị trí đặt D-Statcom sao cho hàm chi phí đạt được tốt nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. IEEE Std. 1159-2009 (2009), “*IEEE Recommended Practice for Monitoring Power Quality*”, IEEE.
- [2]. A. Ghosh, G. Ledwich (2002), “*Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices*”, Kluwer Academic Publishers.
- [3]. E. Acha, C. R. Fuerte-Esquivel, H. Ambriz-Perez, C. Angeles-Camacho (2014), “*FACTS Modelling and Simulation in Power networks*”, Wiley.
- [4]. P Y. Pal, A. Swarup, B. Singh (2008), “*A Review of Compensating Type Custom Power Devices for Power Quality Improvement: IEEE*”, Proceedings, 2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference.
- [5]. A. B. Kunya, T. Yalcinoz, and G. S. Shehu (2014), “*Voltage sag and swell alleviation in distribution network using custom power devices; D-STATCOM and DVR*”, Proceedings, IEEE 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition.
- [6]. Math H. J. Bollen (2000), “*Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*”, IEEE Press.
- [7]. J. J. Grainger, W. D. Stevenson (1994), “*Power System Analysis*” McGrawHill.

Thông tin phản biện: TS. Nguyễn Xuân Vinh; TS. Phạm Thanh Tùng