

ỨNG DỤNG STATCOM NÂNG CAO ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN CÓ KẾT HỢP NGUỒN ĐIỆN GIÓ

APPLICATION OF A STATCOM TO IMPROVE VOLTAGE STABILITY IN A GRID CONNECTED WIND TURBINE

Trương Đình Nhơn¹, Nguyễn Văn Trí²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh

²Công ty Cổ phần Sản xuất TM và DV Trường Thịnh Tiến

Ngày tòa soạn nhận bài 3/8/2016, ngày phản biện đánh giá 19/8/2016, ngày chấp nhận đăng 5/9/2016

TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc ứng dụng của bộ bù đồng bộ tĩnh (STATCOM) để cải thiện sự ổn định điện áp trong hệ thống điện có kết hợp nguồn điện gió sử dụng máy phát cảm ứng nguồn đôi (DFIG) tuabin gió có kết nối lưới điện. Hệ thống nghiên cứu bao gồm hệ 14 bus và nguồn năng lượng gió 6-MW bao gồm 3 máy phát DFIG 2-MW kết nối với bus 13.8 kV của hệ thống điện. Kết quả mô phỏng được thực hiện trong phần mềm MATLAB. Có thể kết luận từ kết quả mô phỏng rằng tác động của STATCOM được đề xuất có thể cải thiện sự ổn định của hệ thống nghiên cứu.

Từ khóa: Bộ bù đồng bộ tĩnh (STATCOM); Máy phát cảm ứng nguồn đôi (DFIG); tua bin gió; hệ thống điện; ổn định điện áp.

ABSTRACT

This paper presents the application of a static synchronous compensator (STATCOM) to improve stability of wind power voltage using doubly-fed induction generator (DFIG)-based wind turbine connected to power grid. The studied system consists of a 14-bus system and 6-MW wind power system of including three 2-MW DFIG generators connected to 13.8 kV bus of the power system. The simulation results derived in MATLAB software showed that the impact of the proposed STATCOM can truly enhance the stability of the studied system.

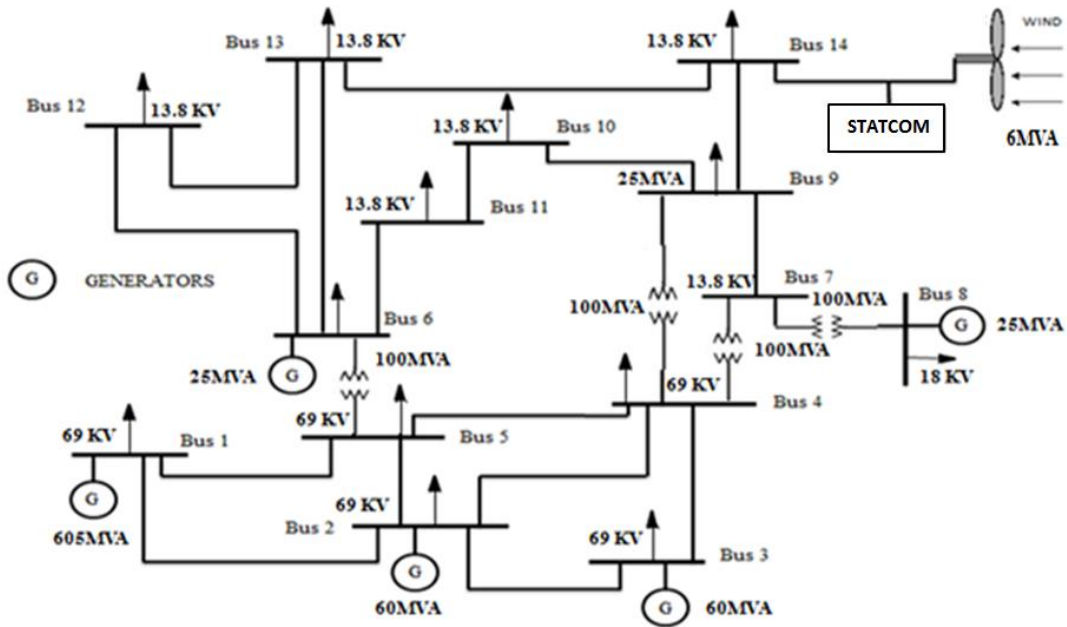
Keywords: Static synchronous compensator (STATCOM), Doubly-fed induction generator (DFIG); wind turbine; power system; voltage stability.

I. GIỚI THIỆU

Với sự xâm nhập ngày càng tăng của năng lượng gió vào lưới điện, máy phát cảm ứng nguồn đôi (DFIG) dựa trên tuabin gió phần lớn được triển khai nhờ vào khả năng điều khiển độc lập công suất phản kháng và công suất tác dụng. Ngoài ra, đây còn là loại máy phát có hiệu quả cao so với hệ thống năng lượng gió trực tiếp với một bộ chuyển đổi công suất lớn bởi vì chỉ có khoảng 20% công suất lưu thông qua bộ chuyển đổi công

suất và phần còn lại thông qua stator mà không cần thiết bị điện tử công suất [1].

Tuy nhiên, bằng cách kết nối cuộn dây stator trực tiếp với lưới điện, nó là vô cùng nhạy cảm với các sự cố trên lưới điện. Để cải thiện sự ổn định điện áp cho các bus của hệ thống điện. Bộ bù đồng bộ tĩnh (STATCOM) đã được đề xuất sử dụng để cải thiện các vấn đề mất cân bằng và cải thiện độ tin cậy của hệ thống điện.



Hình 1. Cấu hình của hệ thống nghiên cứu

Trong bài báo này, thiết bị bù đồng bộ (STATCOM) được đề xuất để điều chỉnh điện áp tại bus 14 bằng cách điều khiển lượng công suất phản kháng được thêm vào hoặc hấp thu qua hệ thống điện để ổn định điện áp trong hệ thống điện.

II. CẤU HÌNH HỆ THỐNG VÀ MÔ HÌNH TOÁN HỌC

Hình 1 cho thấy cấu hình của hệ thống nghiên cứu. Một trang trại gió 6-MW gồm 3 x 2 MW máy phát điện nguồn đôi (DFIG) kết nối với bus 13.8 kV (bus 14) của một lưới điện. STATCOM được đề xuất để kết nối với

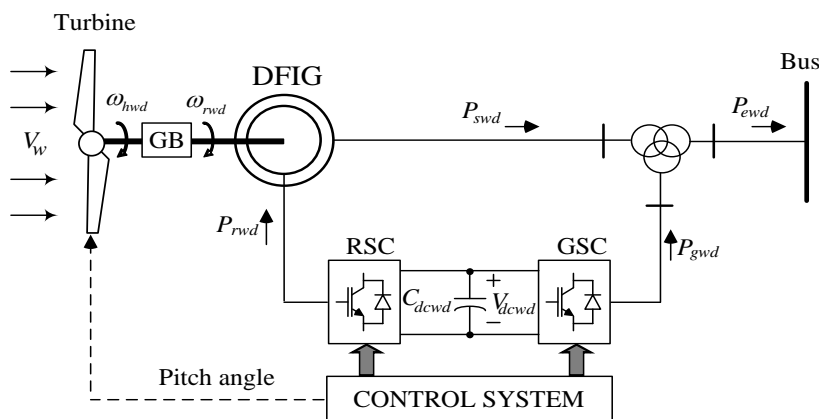
bus 14 để cung cấp công suất phản kháng thích hợp vào hệ thống.

A. Mô hình máy phát điện gió DFIG

Trong bài báo này, một mô hình DFIG được thể hiện trong hình 2 xây dựng theo hệ quy chiếu đồng bộ dq với một giả định với việc bỏ qua những tác động thoáng qua qua cuộn dây stator [2].

Các phương trình điện áp, dòng điện của các cuộn dây stator và các cuộn dây rotor của một DFIG được viết như sau:

$$v_{dswd} = -R_{swd} i_{dswd} - \omega_{rwd} \psi_{qswd} \quad (1)$$



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý của máy phát điện gió DFIG

$$v_{qswd} = -R_{swd} i_{qswd} + \omega_{rwd} \psi_{dswd} \quad (2)$$

$$v_{drwd} = R_{rwd} i_{drwd} - s_{wd} \omega_{rwd} \psi_{qrwd} + \frac{1}{\omega_b} p(\psi_{drwd}) \quad (3)$$

$$v_{qrwd} = R_{rwd} i_{qrwd} + s_{wd} \omega_{rwd} \psi_{drwd} + \frac{1}{\omega_b} p(\psi_{qrwd}) \quad (4)$$

Trong đó: ψ_{swd} và ψ_{rwd} là từ thông liên kết tính trong hệ đơn vị tương đối (pu) của các cuộn dây stator và các cuộn dây rotor tương ứng.

Phương trình cân bằng công suất cho bộ chuyển đổi trong hình 2 có thể được viết như sau:

$$P_{rwd} = P_{gwd} - P_{dcwd} \quad (5)$$

Trong đó: P_{rwd} và P_{gwd} là những công suất tại RSC và GSC, tương ứng trong khi P_{dcwd} là công suất tại liên kết một chiều (DC). Ba công suất tác dụng đó được thể hiện như sau:

$$P_{rwd} = v_{drwd} i_{drwd} + v_{qrwd} i_{qrwd} \quad (6)$$

$$P_{gwd} = v_{dgwd} i_{dgwd} + v_{qgwd} i_{qgwd} \quad (7)$$

$$P_{dcwd} = V_{dcwd} I_{dcwd} = (V_{dcwd} C_{dcwd}) p(V_{dcwd}) \quad (8)$$

Thay các phương trình (5) - (7) vào (8), phương trình vi phân của điện áp DC có thể được thể hiện như sau:

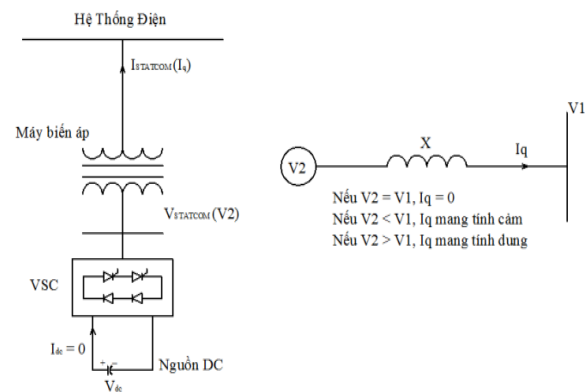
$$(V_{dcwd} C_{dcwd}) p(V_{dcwd}) = v_{dgwd} i_{dgwd} + v_{qgwd} i_{qgwd} - v_{drwd} i_{drwd} - v_{qrwd} i_{qrwd} \quad (9)$$

Đối với hoạt động bình thường của một DFIG, đầu vào điện áp phía xoay chiều của RSC và GSC có thể được điều khiển một cách hiệu quả để đạt được các yêu cầu điều khiển đồng thời ngõ ra của công suất tác dụng và công suất phản kháng.

B. Mô hình STATCOM

STATCOM đề xuất trong bài báo này được sử dụng để điều chỉnh điện áp tại bus 14 bằng cách thêm vào đúng lượng công suất phản kháng cho các hệ thống điện. Sơ đồ

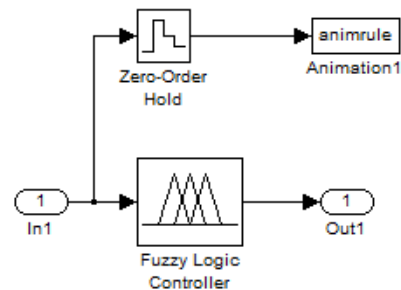
điều khiển của STATCOM được thể hiện trong hình 3. Nếu điện áp V2 tạo ra bởi VSC (STATCOM) có biên độ thấp hơn điện áp V1 của hệ thống khiến dòng phản kháng (I_q) chạy từ hệ thống vào STATCOM, lúc này dòng điện I_q hoạt động như một điện cảm tiêu thụ công suất phản kháng từ hệ thống, khi điện áp V2 tạo ra bởi VSC (STATCOM) có biên độ lớn hơn điện áp V1 của hệ thống khiến dòng điện phản kháng (I_q) chạy từ 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. Nếu điện áp V2 tạo ra bởi VSC (STATCOM) và điện áp hệ thống V1 bằng nhau thì không có trao đổi công suất phản kháng.



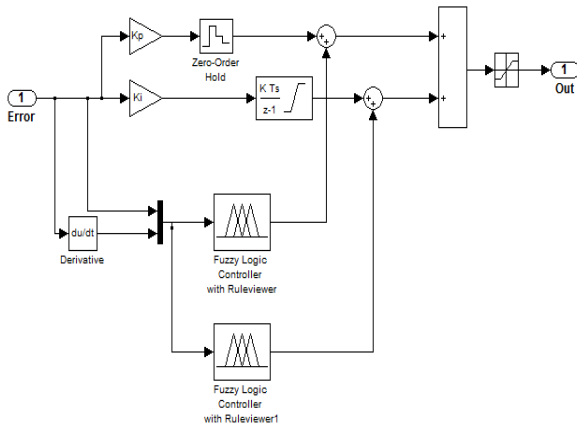
Hình 3. Sơ đồ điều khiển của STATCOM

III. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN LOGIC MỜ CHO STATCOM

Sơ đồ khối của bộ điều khiển logic mờ được thể hiện ở Hình 4. Hình 5 thể hiện sơ đồ điều khiển logic mờ kết hợp với bộ điều khiển PI của STATCOM.



Hình 4. Sơ đồ khối của bộ điều khiển Logic mờ



Hình 5. Sơ đồ điều khiển của STATCOM kết hợp với bộ điều khiển Logic mờ

Trong bài báo này, 5 biến ngôn ngữ được lựa chọn đó là NB (âm lớn), NS (âm nhỏ), ZR (không), PS (dương nhỏ), và PB (dương lớn) và 5 biến ngõ ra tương ứng là IB (tăng nhiều), IS (tăng ít), KV (giữ nguyên), DS (giảm ít), và DB (giảm nhiều). Sự liên quan giữa các biến ngôn ngữ này được thể hiện ở bảng luật 1.

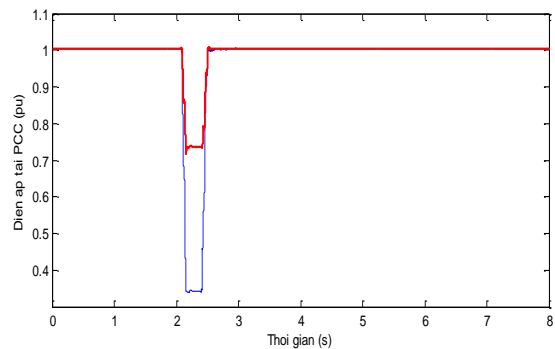
Bảng 1. Tập luật của hệ thống

ΔV_{pcc} / $d\Delta V_{pcc}$	NB	NS	ZR	PS	PB
PB	IB	IB	KV	DB	DB
PS	IB	IS	KV	DS	DB
ZR	IS	IS	KV	DS	DS
NS	DB	DS	KV	IS	IB
NB	DB	DB	KV	IB	IB

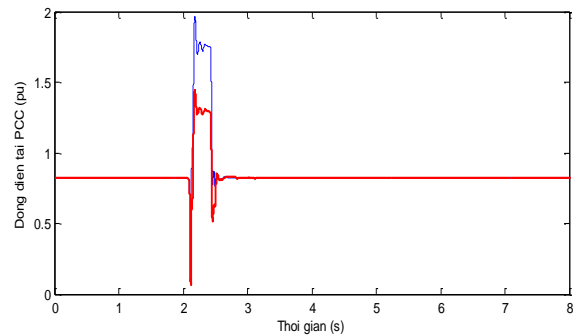
IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Để thấy rõ ưu điểm của thiết bị bù STATCOM, trong phần này mô hình hệ thống phi tuyến được sử dụng để so sánh các đặc tính đáp ứng của STATCOM đề xuất về cải thiện sự ổn định của hệ thống được nghiên cứu với một sự cố nghiêm trọng. Giả định rằng các tuabin gió vận hành với tốc độ của gió 8 m/s. Kết quả mô phỏng của hệ thống được thực hiện bằng công cụ

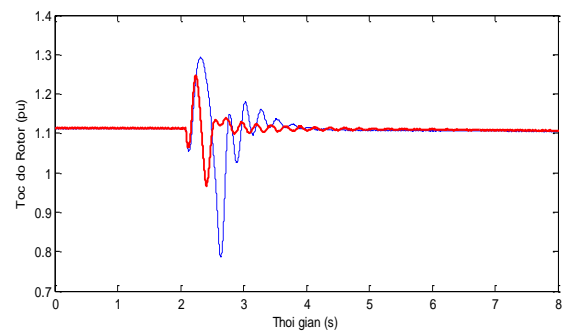
MATLAB / Simulink. Hình 6 biểu diễn kết quả so sánh khi có sự cố ngắn mạch 3 pha của hệ thống nghiên cứu khi có STATCOM + Logic Mờ (đường màu đỏ) và không có STATCOM (đường màu xanh). Sự cố ngắn xảy ra tại thời điểm $t = 2$ s và kết thúc sau 5 chu kỳ. Có thể nhận thấy từ kết quả mô phỏng rằng đáp ứng quá độ của hệ thống nghiên cứu thể hiện trong Hình 6 (a)-(d) tốt hơn khi có STATCOM.



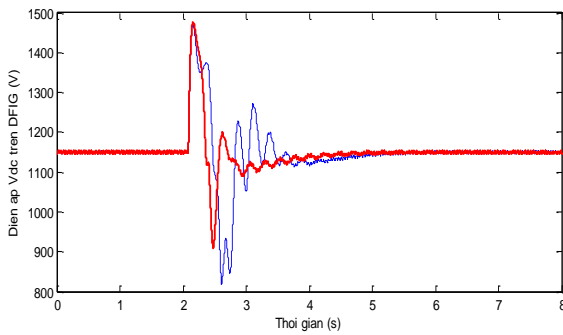
(a) Điện áp tại Bus 1



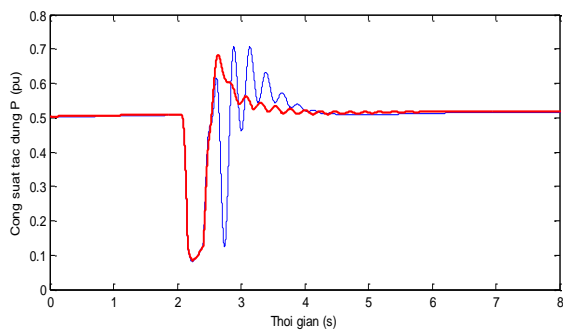
(b) Dòng điện tại Bus 1



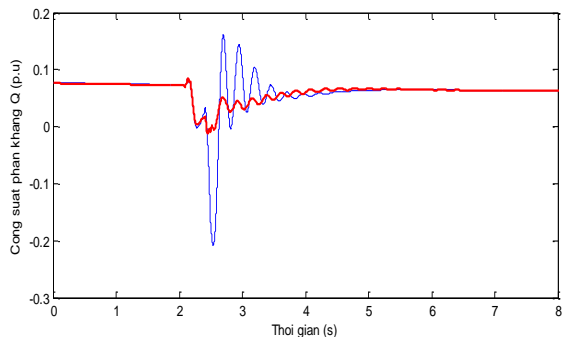
(c) Tốc độ Rotor của DFIG



(d) Điện áp V_{dc} trên DFIG



(e) Công suất tác dụng của DFIG

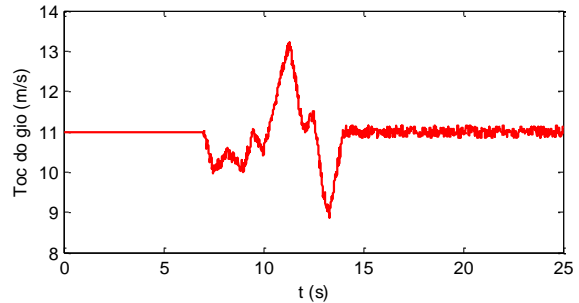


(f) Công suất phản kháng của DFIG

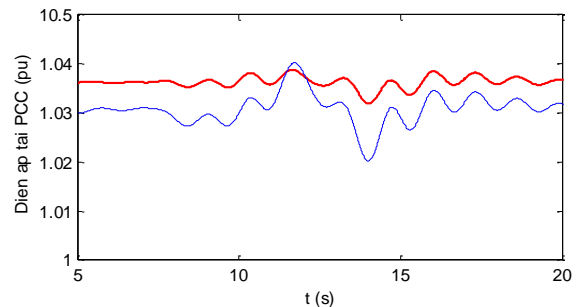
Hình 6. Đáp ứng quá độ của hệ thống nghiên cứu khi xảy ra ngắn mạch 3 pha

Ngoài ra, để thấy được sự ảnh hưởng của STATCOM đến hệ thống khi tốc độ gió thay đổi. Hình 7 (b) trình bày đáp ứng của điện áp tại PCC khi hệ thống không có STATCOM (đường màu xanh) và khi hệ thống có STATCOM (đường màu đỏ) trong khi tốc độ gió được giả lập thay đổi như trong Hình 7 (a). Từ kết quả này ta dễ dàng nhận thấy rằng khi có STATCOM thì điện áp

tại PCC được nâng lên cũng như độ dao động sẽ giảm khi tốc độ gió thay đổi mạnh trong thời gian ngắn.



(a) Tốc độ gió thay đổi



(b) Điện áp tại PCC

Hình 7. Đáp ứng quá độ của hệ thống nghiên cứu khi tốc độ gió thay đổi

V. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày việc cải thiện ổn định động của một hệ thống máy phát điện gió DFIG có kết nối với hệ thống điện. Để cung cấp công suất phản kháng thích hợp cho hệ thống, thiết bị bù STATCOM đã được đề xuất và kết nối tại bus 14 của hệ thống nghiên cứu. Kết quả so sánh trong miền thời gian với sự cố ngắn mạch 3 pha và khi tốc độ gió thay đổi đã được thực hiện để chứng minh hiệu quả của STATCOM được đề xuất trong việc hạn chế dao động của hệ thống. Có thể kết luận từ kết quả mô phỏng rằng khi có STATCOM trong hệ thống kết hợp với bộ điều khiển logic mờ đã cải thiện rõ rệt chất lượng điện năng cũng như ổn định của hệ thống nghiên cứu trong trường hợp sự cố xảy ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Petersson, “Analysis, modeling and control of doubly-fed induction generators for wind turbines,” Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2005.
- [2] L. Wang and D.-N. Truong, “Stability improvement of a DFIG-based offshore wind farm fed to a multi-machine power system using a static VAR compensator,” in Proc. IEEE IAS Annual Meeting, 7-11 October 2012, Las Vegas, NV, USA.
- [3] L. Wang and D.-N. Truong, “ Dynamic Stability Improvement of Four Paralell-Operated PMSG- Based Ofshore Wind Turbine Generator Fed to a Power System Using a STATCOM”. IEEE Transactions on power delivery, Vol.28, No.1,January 2013.
- [4] L. Wang and C.-T. Hsiung, “Dynamic stability improvement of an integrated grid-connected offshore wind farm and marine-current farm using a STATCOM,” IEEE Trans, PowerSystems, vol.26,no.2,pp.690-698, 2011.
- [5] K. R. Padiyar and N. Prabhu, “Design and performance evaluation of subsynchronous damping controller with STATCOM,” IEEE Trans.Power Delivery, vol. 21, no. 3, pp. 1398-1405, 2006.
- [6] 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 Convers.*, vol. 13, no. 3, pp. 237–243, Sep. 1998.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết

TS. Trương Đình Nhơn

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

Email: nhontd@hcmute.edu.vn