

MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA HỆ THỐNG STATCOM VỚI NHÀ MÁY ĐIỆN GIÓ KẾT NỐI LƯỚI

SIMULATION AND EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE STATCOM SYSTEM WITH A GRID-CONNECTED WIND POWER FARMS

Nguyễn Duy Minh, Đặng Việt Hùng

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 16/06/2021, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2021, Phản biện: TS. Vũ Minh Pháp

Tóm tắt:

Sự ổn định điện áp là vấn đề đặt ra để đảm bảo hoạt động liên tục của các nhà máy điện gió kết nối lưới. Khi có các sự cố thoáng qua hay dao động điện áp trên lưới thì các nhà máy điện gió có xu hướng bị tách ra khỏi lưới điện bởi các hệ thống bảo vệ tuabin và không đảm bảo thời gian duy trì kết nối lưới trong khoảng thời gian quy định khi sự cố trong các thông tư hệ thống điện truyền tải. Các hạn chế liên quan đến điện áp này có thể được giải quyết bằng việc sử dụng hệ thống bù tĩnh đồng bộ STATCOM. Bài báo xây dựng mô hình mô phỏng và đánh giá hiệu quả của hệ thống STATCOM với nhà máy điện gió kết nối lưới. Các kết quả mô phỏng cho thấy rõ tác dụng của hệ thống STATCOM trong việc cải thiện sự ổn định điện áp và do đó giúp các nhà máy điện gió duy trì hoạt động, đảm bảo kết nối lưới liên tục, vượt qua các sự cố và quá trình quá độ thường xảy ra trên lưới.

Từ khóa:

Nhà máy điện gió, STATCOM, ổn định điện áp, điểm đấu nối lưới.

Abstract:

Voltage stability is a big issue to ensure continuous operation of grid-connected wind power farms. When there are transient problems or voltage fluctuations on the grid, wind power farms tend to be disconnected from the grid by action of turbine protection systems. This disconnection violates time staying connected to the grid which is specified in current grid codes. These voltage-related limitations can be resolved by using STATCOM system. This article builds a simulation model and evaluates the effectiveness of STATCOM system for a grid-connected wind power farm. The simulation results clearly show the effect of STATCOM system in improving voltage stability which helps wind power farms to remain in service throughout grid faults and transient events.

Keywords:

Wind farm, STATCOM, voltage stability, grid connection poin.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

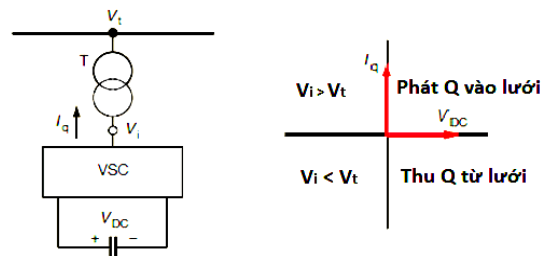
Trong những năm gần đây, vấn đề ô

nhiễm môi trường và tính hữu hạn của các nguồn năng lượng sơ cấp truyền thống

như than đá, dầu mỏ, khí tự nhiên đã dần tới xu hướng dịch chuyển sang sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo trong sản xuất điện năng trên toàn thế giới. Việt Nam cũng không nằm ngoài xu hướng đó và hơn nữa trong hai năm gần nhất, tốc độ tăng trưởng tỉ trọng điện mặt trời và điện gió ở Việt Nam còn thuộc hàng cao nhất khu vực. Riêng lĩnh vực điện gió, số lượng dự án dự kiến đưa vào vận hành thương mại trước ngày 31/10/2021 là 105 dự án với tổng công suất 5671 MW [1]. Có thể thấy cả về số lượng dự án và tổng công suất đặt đều tăng rất nhanh. Tuy nhiên, việc sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo này gặp phải một số vấn đề lớn như tính bất định, thay đổi thường xuyên của bức xạ hay gió dẫn đến công suất phát không ổn định trong khi đó vẫn phải đảm bảo việc điều chỉnh công suất theo lệnh điều độ hay duy trì kết nối trong các trường hợp cụ thể quy định trong các thông tư về hệ thống điện truyền tải [2,3].

Để giúp duy trì kết nối và đảm bảo hoạt động của các nhà máy điện gió kết nối lưới, vượt qua các sự cố thoáng qua cũng như các dao động điện áp tại điểm kết nối có thể sử dụng thiết bị bù tĩnh đồng bộ STATCOM (STATIC synchronous COMPensator). Thiết bị STATCOM là một thành phần điển hình trong hệ thống truyền tải điện xoay chiều linh hoạt FACTS. Thiết bị STATCOM bao gồm một bộ biến đổi kiểu nguồn áp VSC (Voltage Source Converter) kết hợp các bộ tụ điện như hình 1. Bộ STATCOM hoạt động như sau: khi điện áp nút lưới đặt thiết bị STATCOM V_t giảm thấp, thiết bị

STATCOM sẽ tạo điện áp đồng pha V_i có giá trị lớn hơn V_t do đó dòng công suất phản kháng sẽ chạy từ bộ STATCOM vào lưới và nâng điện áp nút lưới lên và ngược lại khi điện áp nút lưới tăng cao thì thiết bị STATCOM sẽ thu công suất phản kháng từ lưới. Nhờ khả năng điều khiển nhanh và chính xác của các phần tử điện tử công suất trong bộ biến đổi mà thiết bị STATCOM có khả năng đáp ứng rất tốt yêu cầu điều chỉnh nhanh điện áp tại nút đặt thiết bị [4,5].



Hình 1. Mô hình thiết bị STATCOM

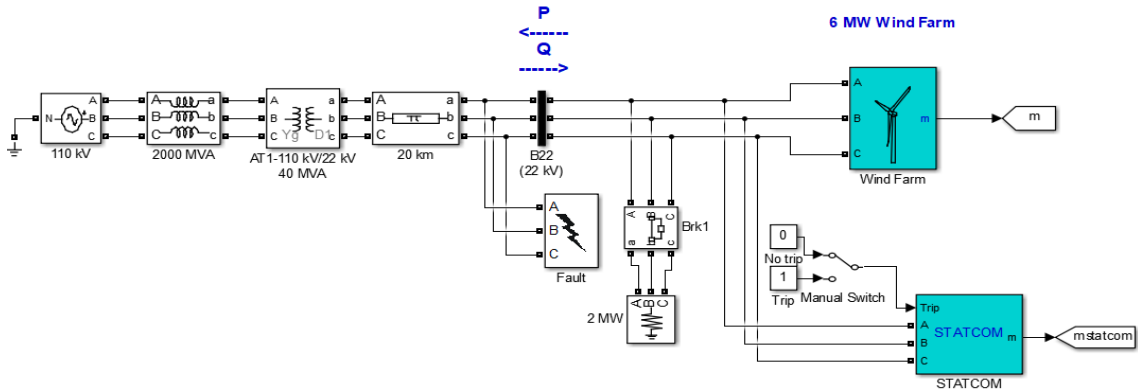
Đã có khá nhiều nghiên cứu liên quan đến ứng dụng hệ thống STATCOM cho các nhà máy điện gió và chứng minh hiệu quả của hệ thống tuy nhiên kết quả chưa đủ chi tiết các kịch bản mô phỏng hoặc chưa xét đến các quy định hiện hành về kết nối nhà máy với hệ thống điện [6,7,8]. Bài báo giới thiệu mô hình mô phỏng nhà máy điện gió kết nối lưới với thiết bị STATCOM và phụ tải địa phương tại nút đầu nối trên Matlab-Simulink. Từ đó thực hiện mô phỏng và đánh giá hiệu quả của thiết bị STATCOM trong việc duy trì kết nối và hoạt động của nhà máy điện gió khi có dao động điện áp cũng như các sự cố thoáng qua.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

Để đánh giá khả năng của hệ thống

STATCOM trong duy trì điện áp và giữ kết nối lưới của nhà máy điện gió, vượt qua các sự cố, bài báo xây dựng mô hình

mô phỏng bằng Matlab-Simulink [9] như hình 2, cụ thể gồm các phần sau:



Hình 2. Mô hình mô phỏng

Nguồn điện từ hệ thống cấp cho phía cao áp của MBA AT1 (110 kV/22 kV) được thay thế bởi một nguồn ba pha có thể điều chỉnh để xem đáp ứng của nhà máy điện gió nối lưới và STATCOM; công suất của hệ thống lấy bằng 2000 MVA thường tính toán từ công suất máy cắt đầu nguồn.

Máy biến áp AT1 là máy biến áp ba pha hai cuộn dây có công suất định mức 40 MVA, phía cao áp nối với đường dây từ hệ thống còn phía hạ áp nối với đường dây 22 kV kết nối các nhà máy điện gió và phụ tải địa phương cấp 22 kV.

Đường dây 22 kV từ trạm 110 kV tới thanh cái đầu nối nhà máy điện gió dài 20 km, cuối đường dây có đặt khối sự cố để mô phỏng các sự cố trên đường dây này.

Nhà máy điện gió công suất 6 MW gồm 2 cụm tuabin công suất mỗi cụm 3 MW có điện áp máy phát 690 V, sau đó qua máy biến áp nâng lên 22 kV đầu nối vào thanh cái trạm phân phối. Tại thanh cái 22 kV

này có các phụ tải địa phương với công suất có thể thay đổi để mô phỏng sự biến thiên tải trong thực tế.

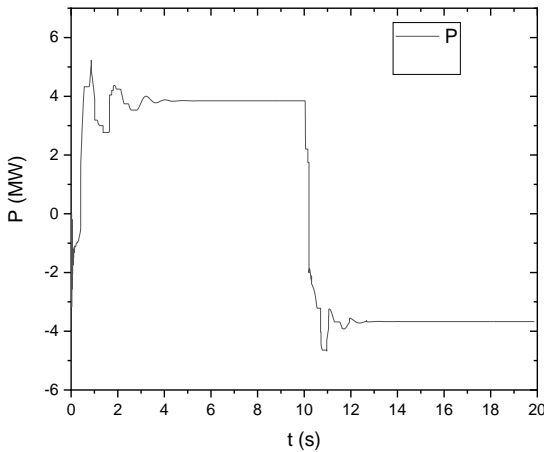
Thiết bị STATCOM có công suất 3 MVar cũng được đấu nối vào thanh cái 22 kV. Thiết bị có nhiệm vụ giữ ổn định điện áp tại thanh cái kết nối nhà máy với lưới, đảm bảo duy trì kết nối trong thời gian quy định khi có dao động điện áp hay các sự cố thoáng qua.

3. CÁC KỊCH BẢN MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

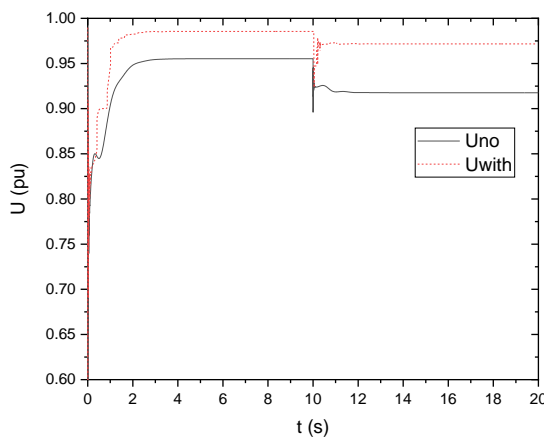
Trong phần này của bài báo sẽ giới thiệu và phân tích kết quả chạy mô phỏng trong một vài trường hợp điển hình đó là phụ tải địa phương biến thiên, điện áp lưới dao động và các sự cố ngắn mạch thoáng qua. Trong các kịch bản mô phỏng đều xét nhà máy điện gió đang phát công suất định mức 6 MW; phụ tải địa phương có công suất tiêu thụ 2 MW (trừ trường hợp xét phụ tải biến thiên).

3.1. Phụ tải biến thiên

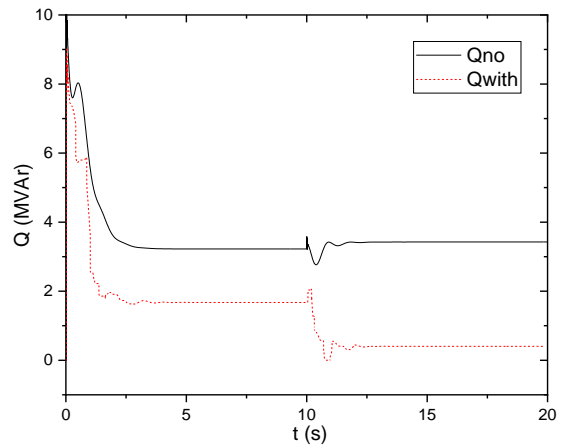
Thực hiện mô phỏng cho trường hợp tải biến thiên từ chế độ xác lập 2 MW sang chế độ xác lập mới 10 MW với thời điểm chuyển chế độ là $t = 10$ s. Công suất P trao đổi tại thanh cái 22 kV được thể hiện trên (hình 3). Từ kết quả ta thấy công suất từ +4 MW (truyền về hệ thống) chuyển sang -4 MW (hệ thống truyền đến) do công suất điện gió là 6 MW nên chế độ xác lập đầu cấp cho tải địa phương còn thừa truyền về hệ thống còn trong chế độ mới thì ngược lại.



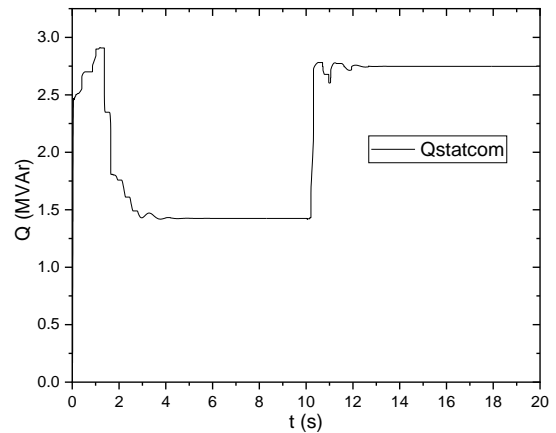
Hình 3. Biến thiên của công suất



Hình 4. Điện áp tại điểm đầu nối



Hình 5. Công suất phản kháng trao đổi



Hình 6. Công suất bộ STATCOM

Kết quả mô phỏng điện áp, công suất phản kháng trao đổi tại điểm đầu nối khi không có (no) và có thiết bị STATCOM (with) được thể hiện lần lượt ở hình 4 và hình 5; công suất thiết bị STATCOM biểu diễn trên hình 6.

Điện áp tại điểm đầu nối gần với giá trị định mức hơn khi đưa STATCOM vào hoạt động so với không có thiết bị trong cả 2 chế độ phụ tải và đảm bảo độ lệch dưới 0,5 pu. Công suất phản kháng tiêu thụ từ lưới, chủ yếu do nhu cầu của tuabin gió, khoảng 3,5 MVar khi không có

STATCOM còn khi đưa thiết bị vào thì ở mức chưa đến 2 MVar khi phụ tải thấp và 0,5 MVar khi phụ tải tăng cao (hình 5). Điều này có được do bộ STATCOM hoạt động phát ra 1,5 MVar ở chế độ đầu và tăng lên 3 MVar ở chế độ sau (hình 6). Bộ STATCOM điều khiển theo điện áp đặt, ở chế độ phụ tải tăng cao điện áp giảm nhiều thiết bị sẽ phát công suất phản kháng tăng lên theo.

3.2. Điện áp lưới dao động

Thực hiện mô phỏng và đánh giá kết quả cho các trường hợp điện áp lưới tăng cao hoặc giảm thấp được trình bày trong các phần dưới đây.

a. Điện áp tăng

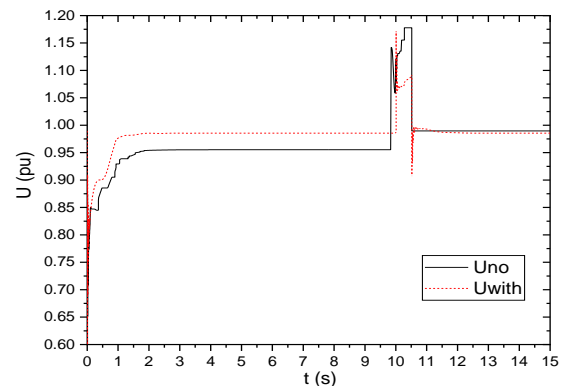
Kịch bản mô phỏng khi điện áp tăng cao lên tới giá trị 1,18 pu, thời điểm xảy ra dao động là $t = 10$ s và thời gian sự cố là 0,5 s. Kết quả mô phỏng cho thấy khi không có thiết bị STATCOM, nhà máy điện gió sẽ ngắt kết nối lưới, còn khi thiết bị hoạt động sẽ đảm bảo giữ kết nối nhà máy với lưới.

Chi tiết kết quả mô phỏng điện áp thể hiện trên hình 7, công suất tác dụng và phản kháng trao đổi thể hiện trên hình 8 và hình 9; hoạt động của bộ STATCOM được biểu diễn trên hình 10.

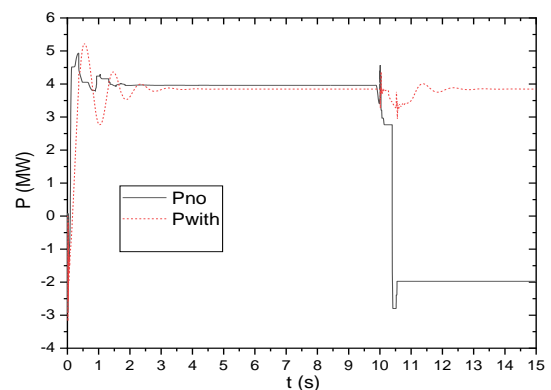
Quan sát hình 7 cho thấy điện áp khi có STATCOM tại thời điểm sự cố có tăng nhưng thấp hơn nhiều so với không có thiết bị. Trước và sau khi sự cố, điện áp với STATCOM đảm luôn gần giá trị định mức hơn, đạt 0,98 pu. Còn khi không có STATCOM, trước sự cố điện áp là 0,95

pu. Sau sự cố điện áp tăng lên ở mức 0,98 pu do lúc này nhà máy điện gió đã bị ngắt ra. Khi đó, công suất truyền tải về phía điểm kết nối chỉ là công suất phụ tải địa phương 2 MW (hình 8), công suất phản kháng lúc này là 0 MVar do không còn nhu cầu từ nhà máy điện gió (hình 9).

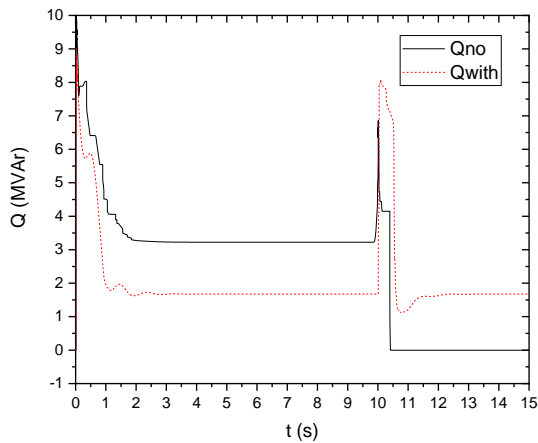
Đáp ứng rất nhanh của bộ STATCOM được thể hiện rõ trên hình 10, từ đang phát 1,5 MVar công suất phản kháng để bù vào nhu cầu tiêu thụ của nhà máy tại thời điểm sự cố, thiết bị chuyển sang thu hết cỡ công suất phản kháng 3 MVar để giảm điện áp tại điểm đấu nối. Sau sự cố, bộ STATCOM lại quay trở về chế độ hoạt động phát công suất phản kháng.



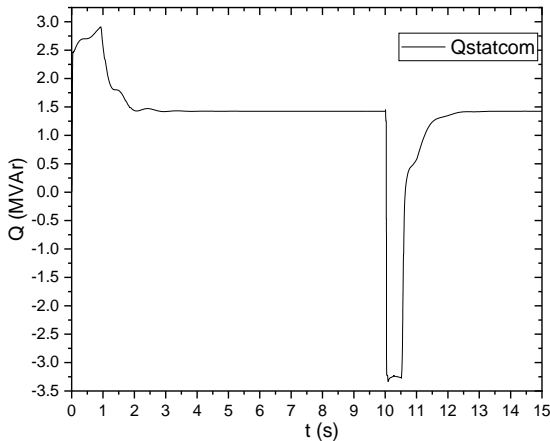
Hình 7. Điện áp tại điểm đấu nối



Hình 8. Công suất tác dụng trao đổi



Hình 9. Công suất phản kháng trao đổi



Hình 10. Hoạt động của bộ STATCOM

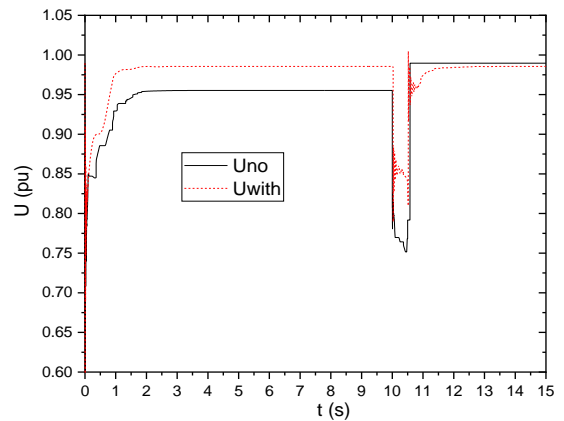
b. Điện áp giảm

Thực hiện mô phỏng tương tự khi điện áp nguồn lưới giảm thấp xuống đến giá trị 0,8 pu, thời điểm điện áp giảm vẫn là $t = 10$ s và thời gian sự cố là 0,5 s. Kết quả mô phỏng tiếp tục cho thấy khi không có thiết bị STATCOM, nhà máy điện gió bị ngắt kết nối lưới, còn khi đưa STATCOM vào hoạt động sẽ đảm bảo giữ kết nối nhà máy với lưới.

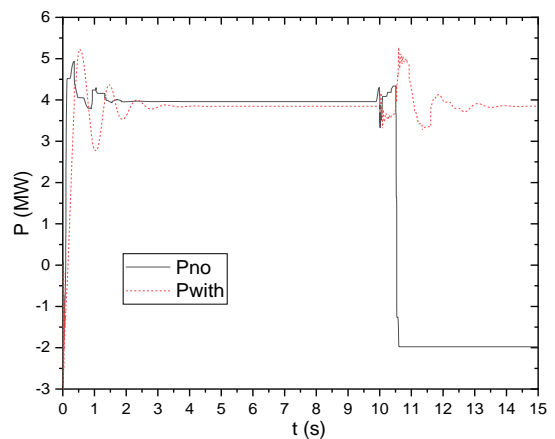
Chi tiết kết quả mô phỏng điện áp thể hiện trên hình 11, công suất tác dụng và phản kháng trao đổi thể hiện trên hình 12

và hình 13; hoạt động của bộ STATCOM được biểu diễn trên (hình 14).

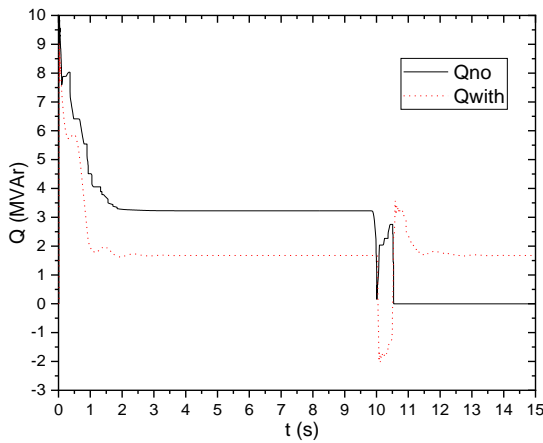
Trong trường hợp mô phỏng này, bộ STATCOM đang từ trạng thái phát 1,5 MVar chuyển rất nhanh sang phát gần định mức 3 MVar sau đó quay trở lại mức phát công suất ban đầu (hình 13), điều này giúp hạn chế mức sụt giảm điện áp tại điểm kết nối so với không có bộ STATCOM (hình 11). Kết quả là sau thời gian sự cố, nhà máy điện gió vẫn giữ kết nối lưới, tiếp tục phát 4 MW về hệ thống (hình 12) và nhận 2 MVar công suất phản kháng (hình 13).



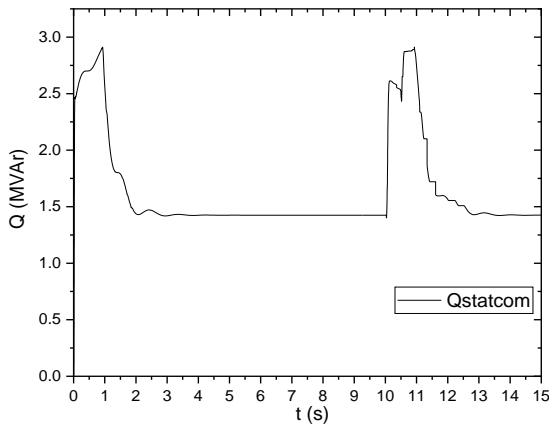
Hình 11. Điện áp tại điểm đấu nối



Hình 12. Công suất tác dụng trao đổi



Hình 13. Công suất phản kháng trao đổi



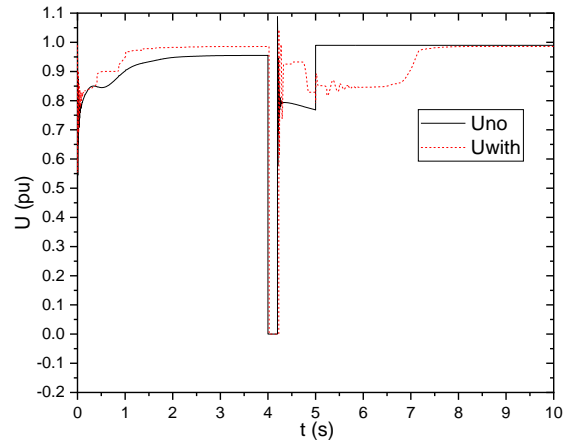
Hình 14. Hoạt động của bộ STATCOM

3.3. Sự cố ngắn mạch thoáng qua

a. Ngắn mạch 3 pha

Kịch bản mô phỏng là ngắn mạch 3 pha, thời điểm xảy ra ngắn mạch là $t = 4$ s và thời gian sự cố là 0,2 s, theo quy định hiện hành với trường hợp sự cố điện áp giảm xuống dưới 0,3 pu thì thời gian duy trì tối thiểu là 0,15 s. Kết quả mô phỏng cho thấy khi không có thiết bị STATCOM, nhà máy điện gió sẽ ngắt kết nối lưới, còn khi thiết bị hoạt động sẽ có dao động mạnh nhưng vẫn đảm bảo giữ kết nối nhà máy với lưới.

Chi tiết kết quả mô phỏng điện áp thể hiện trên hình 14, công suất tác dụng và phản kháng trao đổi thể hiện trên hình 15) và hình 16; hoạt động của bộ STATCOM được biểu diễn trên hình 17.



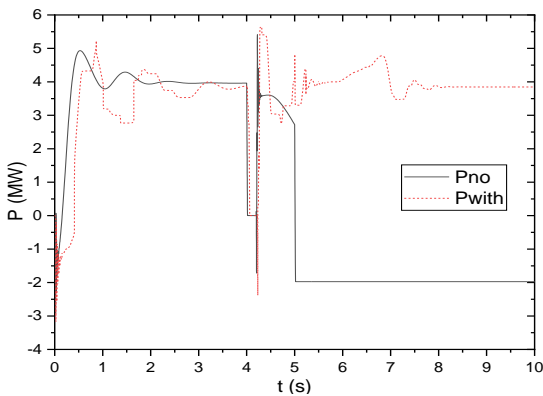
Hình 15. Điện áp tại điểm đấu nối

Nhìn vào biểu diễn điện áp trên hình 15 chúng ta thấy điện áp giảm đột ngột về 0 tại thời điểm xảy ra ngắn mạch với cả trường hợp có hay không có STATCOM. Từ khoảng $t = 4,2$ s đến 5 s thì điện áp khi có STATCOM kéo lên trên mức 0,9 pu trong khi nếu không có thiết bị thấp hơn 0,8 pu. Sau thời gian sự cố, điện áp trong trường hợp không có STATCOM trở về giá trị ổn định nhanh hơn trường hợp có đặt STATCOM, điều này có thể giải thích bởi tính quán tính của các phần tử và do nhà máy điện vẫn giữ kết nối với lưới sau sự cố khi STATCOM hoạt động.

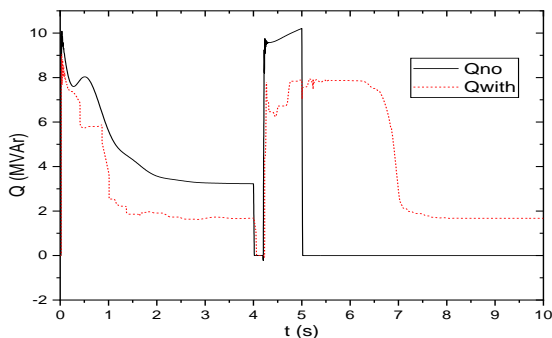
Quan sát công suất trao đổi với hệ thống trên hình 16 và hình 17, chúng ta thấy rằng khi không đặt STATCOM, nhà máy điện gió bị tách khỏi lưới ở thời điểm $t = 5$ s, sau thời điểm này công suất tác dụng từ phía hệ thống truyền đến là 2

MW cấp cho phụ tải còn công suất phản kháng trao đổi bằng 0 do không còn nhu cầu từ nhà máy điện. Trong trường hợp có STATCOM, sau thời gian dao động thì công suất truyền về hệ thống tiếp tục là 4 MW và công suất phản kháng tiêu thụ là 2 MVar như trước khi xảy ra sự cố.

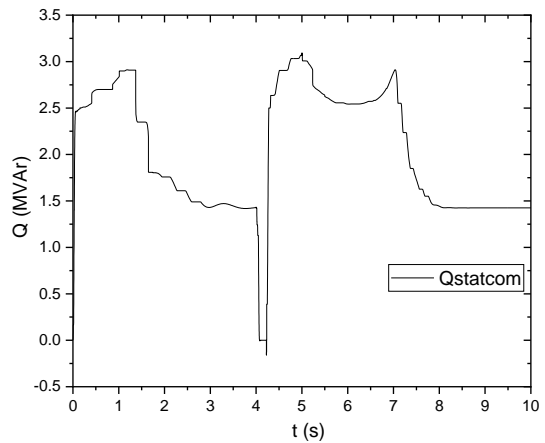
Công suất bộ STATCOM được mô phỏng trên hình 18 với khả năng tăng hết cỡ công suất phản kháng phát ra để kéo điện áp lên sau thời điểm sự cố, điều này tương ứng với khoảng thời gian $t = 4,2$ s đến 5 s đã phân tích trên hình 15 giúp duy trì kết nối lưới nhà máy điện gió. Sau giai đoạn sự cố, công suất phát ra bộ STATCOM trở về mức 1,5 MVar bù cùng với công suất phản kháng nhận từ lưới cho nhu cầu nhà máy điện.



Hình 16. Công suất tác dụng trao đổi



Hình 17. Công suất phản kháng trao đổi



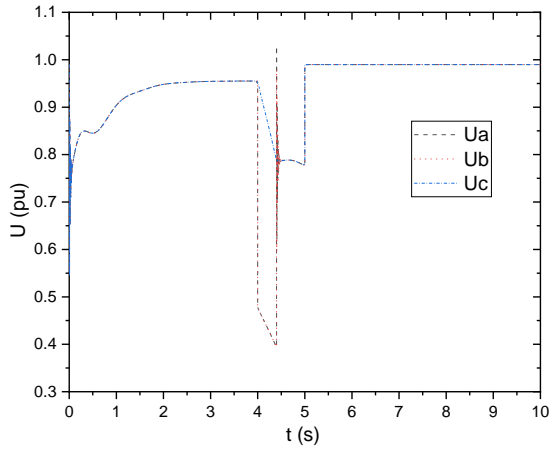
Hình 18. Hoạt động của bộ STATCOM

b. Ngắn mạch 2 pha

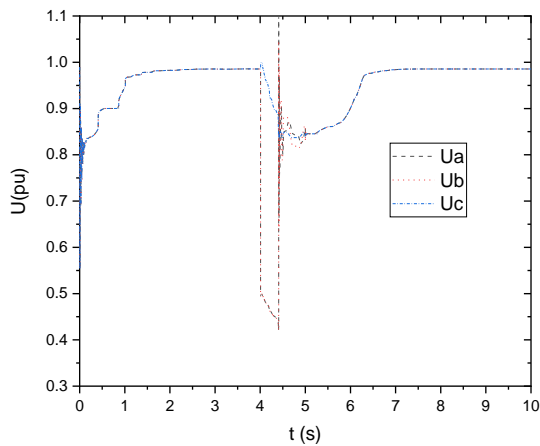
Kịch bản mô phỏng tiếp theo là ngắn mạch 2 pha (pha A và pha B), thời điểm xảy ra ngắn mạch là $t = 4$ s và thời gian sự cố là 0,4 s. Do ngắn mạch 2 pha không làm điện áp giảm về 0 nên thực hiện mô phỏng trong thời gian sự cố lâu hơn. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy khi không có thiết bị STATCOM, nhà máy điện gió sẽ ngắt kết nối lưới, còn khi thiết bị hoạt động sẽ có dao động mạnh sau sự cố nhưng vẫn đảm bảo giữ kết nối nhà máy với lưới.

Kết quả mô phỏng điện áp các pha khi không có STATCOM và có STATCOM được thể hiện lần lượt trên hình 19 và hình 20. Trong cả hai trường hợp ta thấy điện áp các pha sự cố bị giảm xuống còn 0,4 pu cuối sự cố, ngay sau đó được nâng lên 0,85 pu khi có STATCOM và chỉ dưới 0,8 pu khi không có STATCOM; cuối cùng quá trình hồi phục điện áp về mức ổn định trong trường hợp không có STATCOM nhanh hơn khi có STATCOM, điều này giải thích tương tự

như trường hợp ngắn mạch 3 pha phía trên.



Hình 19. Điện áp các pha điểm đầu nối khi không có STATCOM

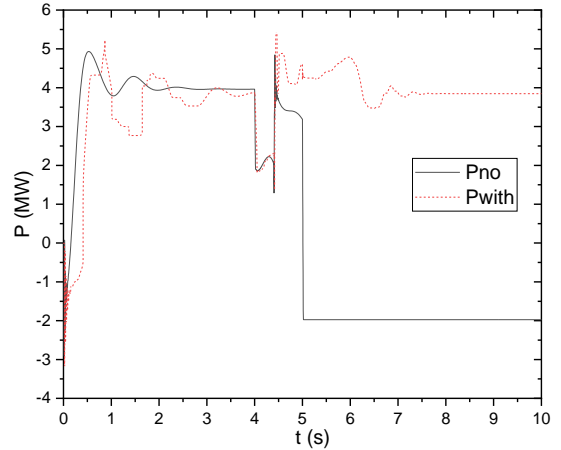


Hình 20. Điện áp các pha điểm đầu nối khi có STATCOM

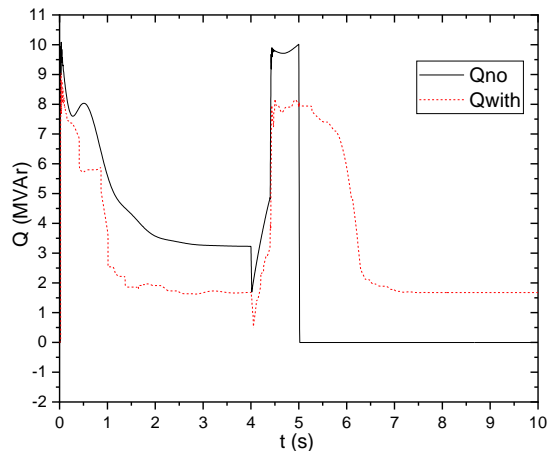
Kết quả mô phỏng công suất tác dụng và phản kháng trao đổi thể hiện trên hình 21 và hình 22; hoạt động của bộ STATCOM được biểu diễn trên hình 23.

Trong trường hợp này, bộ STATCOM không bị suy giảm công suất phản kháng phát ra về 0 như trường hợp ngắn mạch 3 pha và cũng rất nhanh điều chỉnh tăng công suất phản kháng phát ra để đưa điện

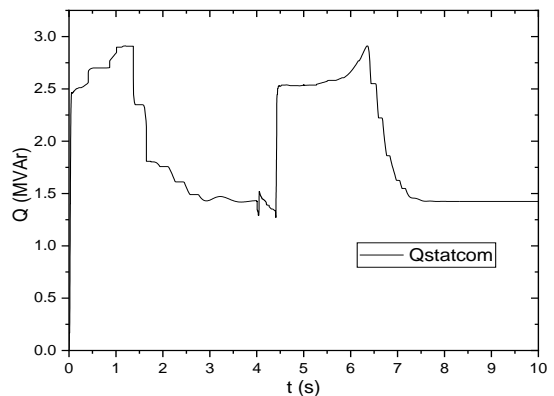
áp về mức đảm bảo giữ kết nối nhà máy với lưới.



Hình 21. Công suất tác dụng trao đổi



Hình 22. Công suất phản kháng trao đổi



Hình 23. Hoạt động của bộ STATCOM

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng mô hình, thực hiện mô phỏng cho một số trường hợp quá độ và sự cố trên lưới điện để đánh giá hiệu quả của hệ thống STATCOM với nhà máy điện gió kết nối lưới. Các kết quả mô phỏng cho thấy rõ khi không có sự can thiệp của hệ thống STATCOM, nhà máy

điện gió thường bị tách ra khỏi điểm kết nối. Trong khi đó nếu đưa hệ thống STATCOM vào hoạt động sẽ cải thiện sự ổn định điện áp và do đó giúp các nhà máy điện gió duy trì hoạt động, đảm bảo kết nối lưới liên tục, vượt qua các sự cố cũng như quá trình quá độ thường xảy ra trên lưới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Công văn số 2617/EVN-TTĐ của Tập đoàn Điện lực Việt Nam gửi Bộ Công Thương về việc "Tình hình phát triển điện gió tại Việt Nam năm 2021".
- [2] Thông tư số 25/2016/TT-BCT.
- [3] Thông tư số 30/2019/TT-BCT.
- [4] M. Nooroziyan et al., *Benefits of SVC and STATCOM for electric utility application*, Conference: Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES, volume: 3, 2003.
- [5] Sandeep Gupta et al., *Voltage stability improvement in power systems using facts controllers: State-of-the-art review*, Power Control and Embedded Systems (ICPCES) 2010 International Conference on, pp. 1-8, 2010.
- [6] L. Sabrine and H. Othman, *Wind generator stability by using STATCOM*, 2014 5th International Renewable Energy Congress (IREC), pp. 1-6, 2014.
- [7] K. Sree Latha and M. Vijaya Kumar, *STATCOM for enhancement of voltage stability of a DFIG driven wind turbine*, 2014 Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy, pp. 1-5, 2014.
- [8] Trương Đình Nhơn, Nguyễn Văn Trí, *Ứng dụng STATCOM nâng cao ổn định điện áp trong hệ thống điện có kết hợp nguồn điện gió*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh, số 37 (09/2016).
- [9] Matlab-Simulink documentation version 2015.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Duy Minh tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ, bằng Tiến sĩ ngành năng lượng và các hệ thống vào năm 2011 tại Viện Khoa học ứng dụng quốc gia Lyon (Pháp). Hiện nay tác giả công tác tại Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: vật liệu bán dẫn, điện tử công suất trong hệ thống điện.



Tác giả Đặng Việt Hùng tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2002 và 2004; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện tại Trường Ecole Centrale de Lyon (Pháp) năm 2010. Hiện nay tác giả công tác tại Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: chất lượng điện năng, vật liệu kỹ thuật điện cao áp, hệ thống cung cấp điện.

