NÂNG CAO ỔN ĐỊNH HỆ THỐNG ĐIỆN TÍCH HỢP ĐIỆN GIÓ SỬ DỤNG GUPFC TẠI BẠC LIÊU VIỆT NAM

IMPROVING ELECTRICITY SYSTEMS INTEGRATION OF WIND POWER USING GUPFC IN BAC LIEU VIET NAM

Huỳnh Thanh Tâm

Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

TÓM TẮT

Ngày nay, việc mất ổn định của hệ thống điện tại các thanh cái đấu nối với nhà máy điện gió vẫn chưa được cải thiện tốt, gây ra các nhiễu loạn trong hệ thống điện. Bài báo này, đề xuất một mô hình điều khiển mới sử dụng thiết bị FACT là GUPFC để nâng cao sự ổn định của hệ thống điện cho nhà máy điện gió Bạc Liêu khi kết nối với hệ thống điện quốc gia. GUPFC có nhiều cấu trúc linh hoạt và bao gồm ít nhất hai và ba bộ chuyển đổi công suất trong cấu hình của nó, trong khi nó có thể được sử dụng để điều khiển dòng công suất của một nhóm các đường dây và các mạng điện con. Một mô hình cơ bản thường dùng của GUPFC bao gồm một bộ chuyển đổi công suất STATCOM mắc song song và hai bộ chuyển đổi công suất SSSC mắc nối tiếp trên thanh cái 110kV Bạc Liêu. GUPFC với sự điều khiển điện áp, điều khiển dòng công suất tác dụng và điều khiển dòng công suất phản kháng đã được đề xuất và được thực hiện thành công trong việc tích hợp với hệ thống điện gió tại Bạc Liêu sử dụng máy phát điện gió DFIG (máy phát điện không đồng bộ cảm ứng nguồn kép). Để đánh giá kết quả đạt được, hệ thống điện được mô phỏng và ghi nhận kết quả trên phần mềm Matlab. Qua kết quả thu nhận được đã chứng minh phương pháp được đề xuất có tính khả thi cao khi áp dụng vào lưới điện truyền tải tại Bạc Liêu.

Từ khóa: *FACTS; GUPFC; STATCOM; SSSC; nhà máy điện gió.*

ABSTRACT

Today, the instability of the power system in buses connected to the wind power plant has not improved, causing disturbances in the electrical system. This paper proposes a new control model using the FACT device, GUPFC, to improve the stability of the power system for the Bac Lieu wind power plant when connected to the national grid. The GUPFC has a variety of flexible structures and includes at least two and three power converters in its configuration, while it can be used to control the power flow of a group of wires and subnetworks. A basic model used by GUPFC consists of a parallel-mounted STATCOM power converter and two SSSC power converters connected in series on the 110kV Bac Lieu bus. GUPFC with voltage control, active power flow control and reactive power flow control have been proposed and successfully implemented in integration with wind power systems in Bac Lieu using generators DFIG (dual source induction asynchronous generators). To evaluate the results, the electrical system is simulated and recorded on the Matlab software. The results showed that the proposed method is highly feasible when applied to the transmission grid in Bac Lieu.

Keywords: *FACTS; GUPFC; STATCOM; SSSC; wind power plant.*

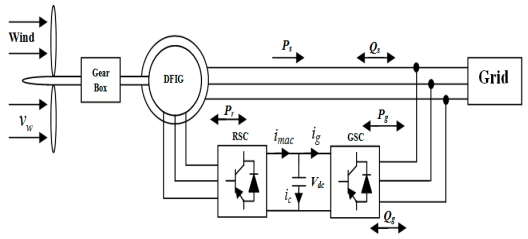
1. GIỚI THIỆU

Cùng với sự phát triển của các thiết bị bán dẫn công suất cao, điện áp cao, và công nghệ điều khiển điện tử công suất tốc độ cao. Do sự đáp ứng nhanh của nó, những thiết bị này được dùng để điều chỉnh tự động cấu hình mạng điện để nâng cao đặc tính ổn định tĩnh cũng như ổn định động [1]. Một phương pháp mới sử dụng các bộ điều khiển FACTS cho việc điều khiển dòng công suất đa chức

năng được đề xuất trong [2]. Có rất nhiều cách kết hợp một cách linh hoạt hai hay nhiều bộ nghịch lưu. Các cách kết hợp đó, có hai cấu hình vận hành mới, là bộ điều khiển dòng công suất hợp nhất suy rộng GUPFC thể hiện trong [3]

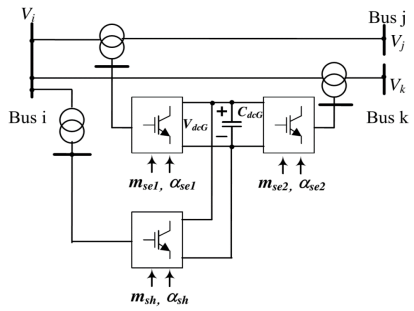
GUPFC đã được nghiên cứu rộng rãi trong các tài liệu kỹ thuật và được chứng tỏ rằng nó đã nâng cao đáng kể sự ổn định của hệ thống. Bởi vậy, dùng thiết bị GUPFC và đề xuất mô hình điều khiển mới để nâng cao sự ổn định của hệ thống điện cho nhà máy điện gió Bạc Liêu khi kết nối với hệ thống điện quốc gia.

Trong một máy phát điện nguồn kép DFIG, cả các cuộn dây rotor và stator có thể cung cấp công suất tác dụng, nhưng chiều của dòng công suất qua mạch điện rotor lệ thuộc vào tốc độ gió và theo tốc độ máy phát điện[4-5]. Khi dưới tốc độ đồng bộ, công suất tác dụng đi từ lưới điện đến phía rotor và bộ biến tần phía rotor (Rotor side converter) (RSC) hoạt động giống như bộ nghịch lưu nguồn áp trong khi bộ nghịch lưu phía lưới (Grid side converter) (GSC) hoạt động giống như một bộ chỉnh lưu. Tuy nhiên, khi DFIG vận hành trên tốc độ đồng bộ, RSC hoạt động như bộ chỉnh lưu và GSC hoạt động như bộ nghịch lưu. Bộ chỉnh lưu điều khiển chỉ khoảng 25% công suất định mức của máy điện trong khi phạm vi dao động tốc độ là 33% quanh tốc độ đồng bộ [4]. Một chiến lược điều khiển hiệu quả liệt kê các đặc tính động của một tua bin gió tốc độ thay đổi dựa trên DFIG và sự vận hành của bộ chỉnh lưu trong chế độ vận hành dưới đồng bộ và quá đồng bộ suốt chu kỳ chuyển tiếp giữa hai chế độ.



Hình 1 *Sơ đồ điều khiển dòng công suất trao đổi giữa stator DFIG và lưới điện*

GUPFC đã được đề xuất để thực hiện việc điều khiển dòng công suất đồng thời của một vài nhánh dây và nâng cao sự ổn định hệ thống điện [6]. Kết hợp ba hoặc nhiều bộ chuyển đổi công suất làm việc cùng nhau, GUPFC mở rộng khái niệm điều khiển dòng công suất và điện áp vượt ra ngoài những gì có thể đạt được với bộ điều khiển UPFC đã được biết đến mà chỉ sử dụng hai bộ chuyển đổi công suất. GUPFC có thêm lợi thế và điều khiển linh hoạt hơn một UPFC điển hình. là một bộ điều khiển FACTS với hai bộ chuyển đổi mắc nối tiếp và mắc song song, đã được công nhận là có khả năng điều khiển dòng công suất và điện áp tốt hơn, vượt ra ngoài những gì có thể đạt được bởi một điều khiển FACTS có một bộ chuyển đổi, STATCOM hoặc SSSC [7]. Tuy nhiên, UPFC có thể điều khiển dòng công suất của chỉ một đường dây truyền tải. Mặt khác, so với UPFC và IPFC, GUPFC có nhiều cấu trúc linh hoạt và bao gồm ít nhất hai và ba bộ chuyển đổi công suất trong cấu hình của nó, trong khi nó có thể được sử dụng để điều khiển dòng công suất của một nhóm các đường dây và các mạng điện con. Có thể được dự đoán rằng các bộ điều khiển FACTS sẽ có khả năng được sử dụng trong các mạng truyền tải phức tạp khác để giải quyết những vấn đề quản lý mạng lưới truyền tải phức tạp.



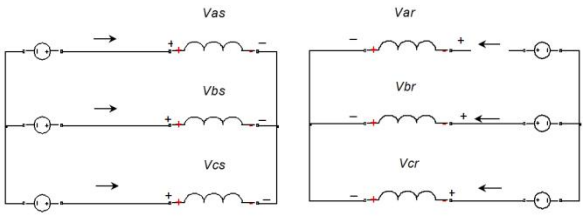
Hình 2 *Nguyên tắc hoạt động của GUPFC với ba bộ chuyển đổi.*

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC

2.1 Mô hình toán học máy phát DFIG

Máy phát điện không đồng bộ ba pha (DFIG) thực chất là máy điện không đồng bộ ba pha rotor dây quấn. Giả thiết rằng các cuộn dây stator và rotor bố trí một cách đối

xứng về mặt không gian, được đấu dây theo kiểu hình Y-Y Bỏ qua các tổn hao sắt từ, không xét đến hiện tượng bão hòa vật liệu từ. Hệ phương trình thu được trong hệ trục tọa độ tĩnh *α-β* như sau:



Hình 3 *Sơ đồ đấu dây của hai bộ dây quấn stator và rotor dạng Y-Y*

Qui đổi các thông số về mạch stator, và đưa các phương trình về hệ trục tọa độ tĩnh *α-β* gắn trên stator, ta thu được:

Phương trình điện áp stator:

$$v_{\alpha s}^{s} = R_s i_{\alpha s}^{s} + \frac{d\psi_{\alpha s}^{s}}{dt}$$

$$v_{\beta s}^{s} = R_s i_{\beta s}^{s} + \frac{d\psi_{\beta s}^{s}}{dt}$$

Phương trình điện áp rotor:

$$v_{\alpha r}^{s} = R_s i_{\alpha r}^{s} + \frac{d\psi_{\alpha r}^{s}}{dt} + j\omega_r \psi_{\alpha r}$$

$$v_{\beta r}^{s} = R_s i_{\beta r}^{s} + \frac{d\psi_{\beta r}^{s}}{dt} + j\omega_r \psi_{\beta r}$$

Phương trình từ thông:

$$\psi_s^s = L_s.i_s^s + L_m.i_r^s$$
$$\psi_r^s = L_r.i_r^s + L_m.i_s^s$$

Trong đó:

L_s- điện cảm dây quấn stator, $L_s=L_{ls}+L_m$

L_m- điện cảm từ hóa (H)

L_r- điện cảm dây quấn rotor qui về phía stator, $L_r=L_{lr}+L_m$

L_{ls}, L_{lr}- là điện cảm rò dây quấn stator và rotor.

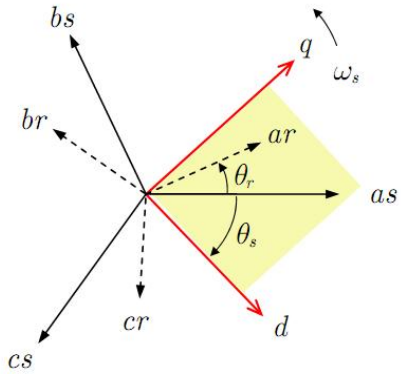
Phương trình moment điện từ:

$$T_e = \frac{3}{2} p L_m (i_{\alpha r}^s i_{\beta s}^s - i_{\beta r}^s i_{\alpha s}^s)$$

Trong đó p là số cặp cực từ.

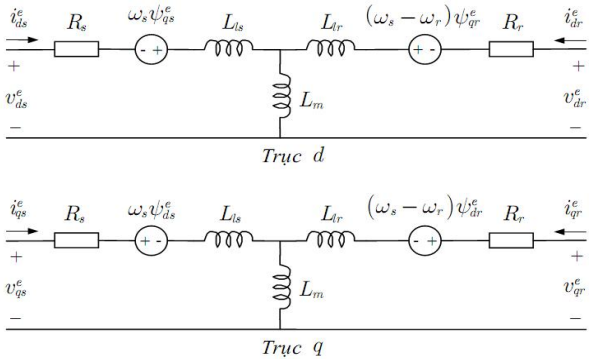
Thiết lập các hệ phương trình trên hệ tọa độ đồng bộ *d-q* nhằm mô phỏng và xây dựng giải thuật điều khiển tối ưu công suất tác dụng và công suất kháng cho máy phát điện nguồn kép (DFIG).

Ta có, trục của dây quấn stator và rotor trong hệ trục dq như sau:



Hình 4 *Trục của dây quấn stator và rotor trong hệ trục dq*

Và mạch điện tương đương mô hình động DFIG trong hệ trục tọa độ tham chiếu dq quay với tốc độ đồng bộ như sau:



Hình 5 *Mạch điện tương đương mô hình động cơ DFIG trong hệ trục tọa độ tham chiếu dq quay với tốc độ đồng bộ*

2.2 Mô hình toán thiết bị bù GUPFC

GUPFC có thể điều khiển toàn bộ năm đại lượng hệ thống điện như biên độ điện áp của thanh cái i và luồng công suất tác dụng và phản kháng độc lập của các đường dây đôi. Mạch điện tương đương của GUPFC gồm có một nguồn áp bơm vào mắc song song có thể điều khiển được và hai nguồn áp bơm vào mắc nối tiếp có thể điều khiển được, được thể hiện trong Hình 2.4. Công suất thực

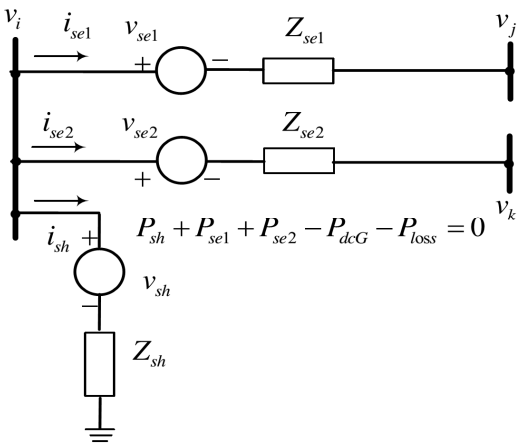
có thể được trao đổi giữa bộ nghịch lưu mắc song song và nối tiếp thông qua liên kết DC chung, và tổng của sự trao đổi công suất thực nên bằng không.

Trong hình 2.4, Z_{sh},Z_{se1} và Z_{se2} là các điện kháng máy biến áp mắc song song và nối tiếp; v_{sh},v_{se1} và v_{se2} nguồn áp bơm vào mắc song song và hai nguồn áp bơm vào mắc nối tiếp có thể điều khiển được của các bộ nghịch lưu mắc song song và nối tiếp; P_{sh},P_{se1} và P_{se2} là các công suất tác dụng trao đổi của các bộ nghịch lưu mắc nối tiếp và song song thông qua liên kết DC chung. Nguồn áp bơm vào có thể điều khiển được được định nghĩa là.

$$v_{sh}=\sqrt{2}V_{sh}\sin(\omega t+\theta-\alpha_{sh}) \quad (3.1)$$

$$v_{se1}=\sqrt{2}V_{se1}\sin(\omega t+\theta-\alpha_{se1}) \quad (3.2)$$

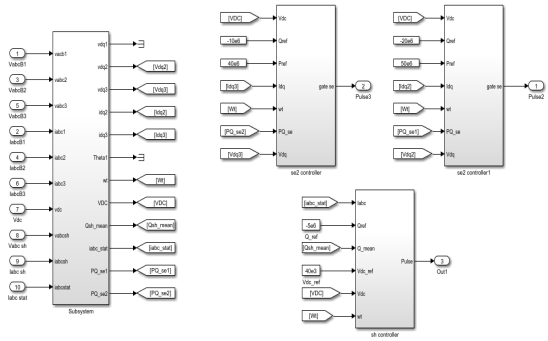
$$v_{se2}=\sqrt{2}V_{se2}\sin(\omega t+\theta-\alpha_{se2}) \quad (3.3)$$



Hình 6 *Mạch tương đương của GUPFC.*

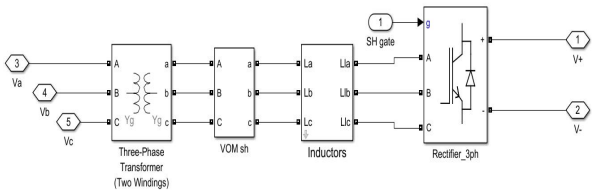
3. MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG

3.1 Các khối bên trong của GUPFC



Hình 7 *Cấu trúc bên trong khối điều khiển chung của GUPFC*

Khối điều khiển chung của GUPFC được chia làm bốn phần với các chức năng riêng biệt như được thể hiện trong hình 3.1 .Trong đó bao gồm 3 khối điều khiển tương ứng cho 3 thiết bị công suất và một khối chuyển đổi các tín hiệu theo các yêu cầu khác nhau cho các bộ điều khiển. Các khối này được liệt kê cụ thể như bên dưới.

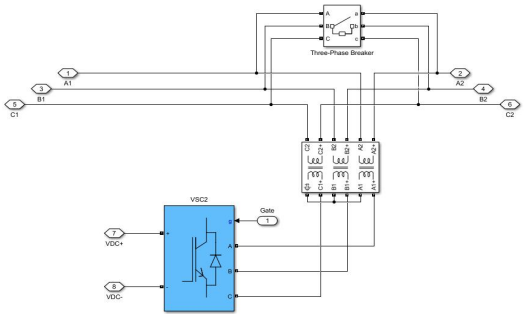


Hình 8 *Cấu trúc động lực của STATCOM*

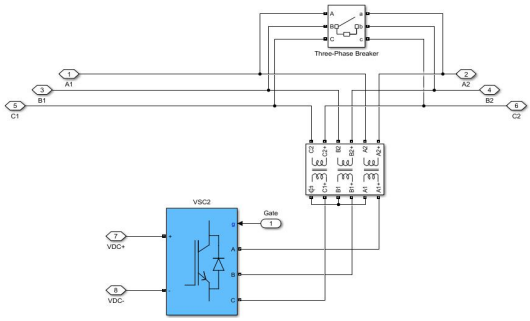
Cấu trúc cơ bản của một STATCOM là một máy biến áp đấu song song với nguồn có nhiệm vụ hạ áp và cấp nguồn cho bộ nghịch bộ nghịch lưu. Máy biến áp có cấp điện áp 110/25kV. Qua bộ nghịch lưu cao áp, một điện áp 40 kV được giữ ổn định trong quá trình hoạt động của GUPFC. Để làm được điều này, STATCOM có nhiệm vụ ổn áp trên bus DC của nguồn một chiều. Như vậy, năng lượng cấp ra cho đường dây hay tiếp nhận được từ đường dây sẽ được điều tiết bởi STATCOM. Cấu trúc cơ bản của STATCOM được thể hiện trong hình 3.2.

Khối SSSC bao gồm một bộ nghịch lưu ba pha mắc song song với một máy biến áp. Máy biến áp được sử dụng đấu nối tiếp với thanh cái và đường dây truyền tải 110 kV.

Máy biến áp này được đặt trên giữa đường dây và thanh cái. Cấu trúc cụ thể của SSSC được thể hiện trong hình 3.3, hình 3.4.



Hình 9 *Cấu trúc động lực của SSSC 1*



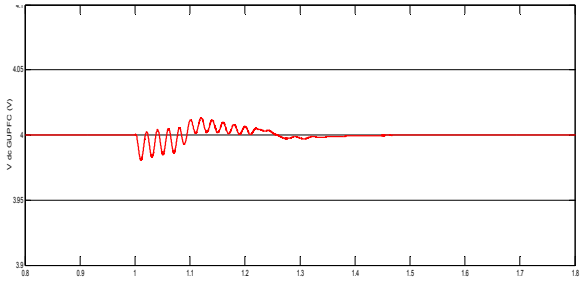
Hình 10 *Cấu trúc động lực của SSSC 2*

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Để đánh giá đáp ứng của GUPFC trong hệ thống điện Bạc Liêu, trong luận văn này tác giả chọn đường dây truyền tải từ Bạc Liêu đi Sóc Trăng để khảo sát. Bao gồm 2 bộ SSSC và 1 bộ STATCOM.

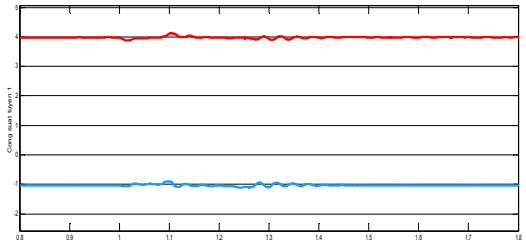
Các kết quả mô phỏng sau đây được thực hiện trên công cụ Simulink của Matlab với trường hợp khi ngắt 1 SSSC trên hệ thống ra khỏi đường dây bằng cách nối tắt (bypass) để kiểm tra tính ổn định công suất truyền tải và trường hợp xãy ra sự cố ngắn mạch 3 pha tại bus 110KV của trạm Bạc Liêu để đánh giá ổn định điện áp của hệ thống nghiên cứu với thiết bị GUPFC đề xuất.

4.1 Kết quả mô phỏng ở khi ta ngắt 1 SSSC trên hệ thống



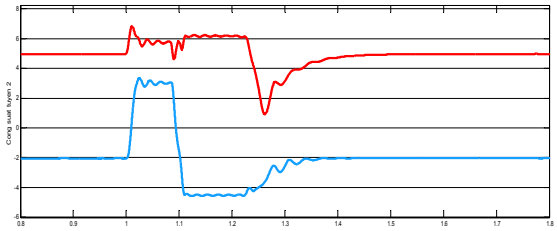
Hình 11 *Điện áp Vdc GUPFC*

Khi điện áp Vdc GUPFC bị dao động tại thời điểm t =1s điện áp dao động 3.98 đến 4.2 (pu) nhờ có GUPFC hệ thống ổn định điện lại tại thời điểm t=1,4 s sau thời điểm t=4s hệ thống hoạt động lại bình thường.



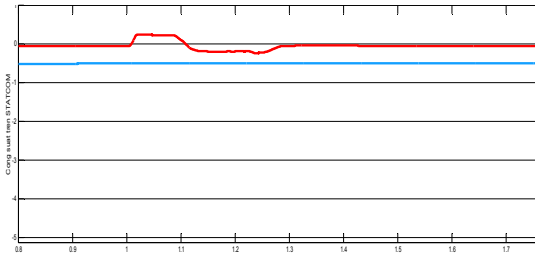
Hình 12 *Công suất P,Q trên tuyến 1*

Khi công suất P,Q tuyến 1 bị dao động tại thời điểm t =1s thì công suất P dao động 3.9 đến 4.1 (pu). Công suất Q dao động từ -0,9 đến -1.1 (pu) nhờ có GUPFC hệ thống ổn định công suất lại tại thời điểm t=1,4 s sau thời điểm t=4s hệ thống hoạt động lại bình thường.



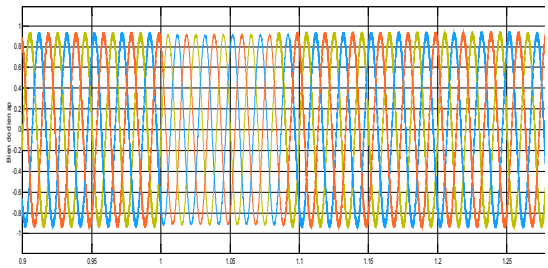
Hình 13 *Công suất P, Q trên tuyến 2*

Khi công suất P,Q tuyến 2 bị dao động tại thời điểm t =1s thì công suất P dao động 1 đến 7 (pu). Q dao động từ -5 đến 3 (pu) nhờ có GUPFC hệ thống ổn định công suất lại tại thời điểm t=1,4 s sau thời điểm t=4s hệ thống hoạt động lại bình thường.



Hình 14 *Công suất P,Q trên STATCOM*

Khi công suất P STATCOM bị dao động tại thời điểm t =1s thì công suất P dao động -0.3 đến 0.3(pu). Q không dao động nhờ có GUPFC hệ thống ổn định công suất lại tại thời điểm t=1,4 s sau thời điểm t=4s hệ thống hoạt động lại bình thường.



Hình 15 *Biên độ điện áp*

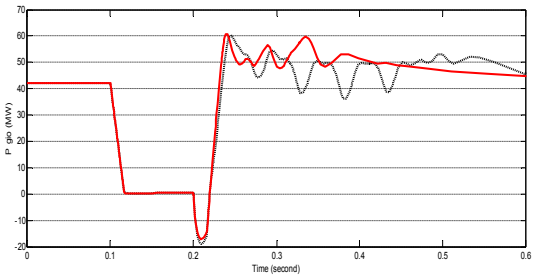
Khi điện áp bị dao động tại thời điểm t =(1-1.1s) thì biên độ điện áp dao động rất bé sau thời điểm t=1.1s hệ thống hoạt động lại bình thường.

Kết luận: Qua kết quả mô phỏng trong các điều kiện làm việc khác nhau của hệ thống điện gió Bạc Liêu khi ta ngắt 1 SSSC trên hệ thống và có GUPFC, có thể đưa ra các kết luận sau:

Trong điều kiện làm việc bình thường, việc có sự thanh gia của GUPFC có tác dụng tăng cao điện áp tại điểm kết nối. Điều này là rất quang trong khi nó giúp nâng ổn định điện áp trên hệ thống, làm giảm tổn thất công suất trên đường truyền và bù đắp công suất phản kháng cho hệ thống tại điểm kết nối qua hoạt động của khối kết nối song song.

Trong điều kiện làm việc bình thường, việc có sự thanh gia của GUPFC có tác dụng phân luồng công suất chạy trên các nhánh. Điều này có ý nghĩa quang trong khi nó tác động trực tiếp lên khả năng gây nghẽn mạch đường dây khi quá tải

4.2 Mô phỏng sự cố ngắn mạch 3 pha xãy ra tại bus Bạc Liêu 110kV trong trường hợp có và không có GUPFC.

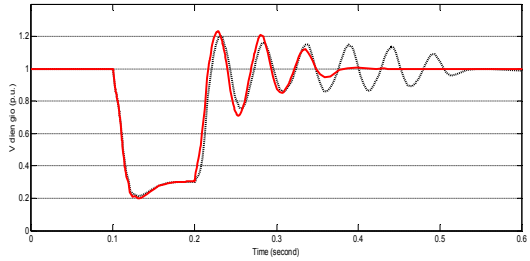


Hình 16 *Công suất tác dụng của Wind tuabin*

Khi không có GUPFC (đường chấm đen): thì công suất tác dụng tại thời điểm

t = 0.1s thì công suất tác dụng dao động lớn, không ổn định

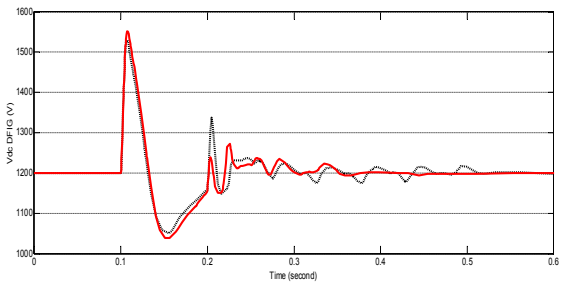
Khi có GUPFC (đường màu đỏ liền)**:** Thì công suất tác dụng dao động bé hơn và tương đối ổn định hơn so với không có GUPFC.



Hình 17 *Điện áp Wind tuabin*

Khi không có GUPFC (đường chấm đen)**:** tại thời điểm t = 0.1s thì thì điện áp dao động lớn, không ổn định

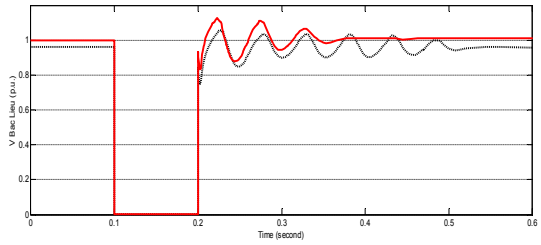
Khi có GUPFC (đường màu đỏ liền)**:** Thì điện áp dao động bé hơn và ổn định tại thời điểm t=0.4s so với không có GUPFC.



Hình 18 *Điện áp DC trên DFIG*

Khi không có GUPFC (đường chấm đen)**:** tại thời điểm t = 0.1s thì thì điện áp dao động lớn, không ổn định

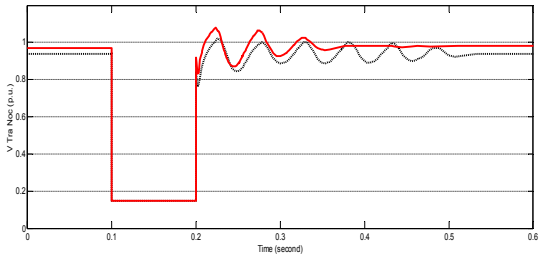
Khi có GUPFC (đường màu đỏ liền)**:** Thì điện áp dao động bé hơn và ổn định tại thời điểm t=0.45s so với không có GUPFC.



Hình 19 *Điện áp tại nút Bạc Liêu*

Khi không có GUPFC (đường chấm đen)**:** tại thời điểm t = 0.1s thì thì điện áp dao động lớn, không ổn định

Khi có GUPFC(đường màu đỏ liền)**:** Thì điện áp dao động bé hơn và dần ổn định tại thời điểm t=0.38s so với không có GUPFC.



Hình 20 *Điện áp tại nút Trà Nóc*

Khi không có GUPFC (đường chấm đen)**:** tại thời điểm t = 0.1s thì thì điện áp dao động lớn, không ổn định

Khi có GUPFC (đường màu đỏ liền)**:** Thì điện áp dao động bé hơn và ổn định tại thời điểm t=0.38s so với không có GUPFC. Tại nút ở xa nơi xảy ra sự cố.

5. KẾT LUẬN

GUPFC được đề xuất đã cải thiện sự ổn định động và điều khiển luồng công suất của hệ thống điện gió tại Bạc Liêu dựa trên máy phát điện cảm ứng nguồn kép (DFIG). Với thiết bị GUPFC để điều khiển luồng công suất và cải thiện sự giảm dao động của lưới khi hòa vào lưới điện quốc gia.

Các kết quả phân tích đã chỉ ra rằng hệ thống có một sự cải thiện khi có GUPFC kết nối với hệ thống. Hơn nữa, khi có GUPFC tham gia hệ thống có thể thực hiện giảm dao động tốt hơn . Do đó, sự ổn định động của hệ thống dưới các điều kiện vận hành khác nhau và những điều kiện nhiễu loạn khác nhau có thể được cải thiện một cách hiệu quả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] D. P. He, C. Y. Chung, and Y. Xue, “An eigenstructure-based performance index and its application to control design for damping inter-area oscillations in power systems,” IEEE Trans. Power Systems, vol. 26, no. 4, pp. 2371 -2380, Nov. 2011.

[2] S. Arabi, H. Hamadanizadeh, and B. Fardanesh, “Convertible static compensator performance studies on the NY state transmission system,” IEEE Trans. Power Systems, vol. 17, no. 3, pp. 701 -706, Aug. 2002.

[3] L. Gyugyi, K. K. Sen, and C. D. Schauder, “The interline power flow controller: A new approach to power flow management in transmission systems,” IEEE Trans. Power

Delivery, vol. 14, no. 3, pp. 1115-1123, Jul. 1999.

[4] A. Tapia, G. Tapia, J. X. Ostolaza, and J. R. Saenz, “Modeling and control of a wind turbine driven doubly fed induction generator,” IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 18, no. 2, pp. 194-204, Jun. 2003.

[5] L. Xu and Y. Wang, “Dynamic modeling and control of DFIG-based wind turbines under unbalanced network conditions,” IEEE Trans. Power Systems, vol. 22, no. 1, pp. 314-323, Feb. 2007.

[6] S.-H. Lee and C.-C. Chu, “Power flow computations of convertible static compensators for large-scale power system,” in Proc. 2004 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Denver, CO, USA, Jun. 6-10, 2004, vol. 1, pp. 1172-1177.

[7] B. Fardanesh, B. Shperling, E. Uzunovic, and S. Zelingher, “Multi-converter FACTS devices: the generalized unified power flow controller (GUPFC),” in Proc.2000 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Seattle, WA, USA, Jul. 16-20, 2000, pp. 1020-1025.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Họ tên: Huỳnh Thanh Tâm

Đơn vị:

Điện thoại: 0984183318

Email: huynhthanhtamag@gmail.com

XÁC NHẬN CỦA GIÁO VIÊN HƯỚNG DẪN

BÀI BÁO KHOA HỌC

THỰC HIỆN CÔNG BỐ THEO QUY CHẾ ĐÀO TẠO THẠC SỸ

Bài báo khoa học của học viên

có xác nhận và đề xuất cho đăng của Giảng viên hướng dẫn

Bản tiếng Việt ©, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH và TÁC GIẢ

Bản quyền tác phẩm đã được bảo hộ bởi Luật xuất bản và Luật Sở hữu trí tuệ Việt Nam. Nghiêm cấm mọi hình thức xuất bản, sao chụp, phát tán nội dung khi chưa có sự đồng ý của tác giả và Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.

ĐỂ CÓ BÀI BÁO KHOA HỌC TỐT, CẦN CHUNG TAY BẢO VỆ TÁC QUYỀN!

Thực hiện theo MTCL & KHTHMTCL Năm học 2018-2019 của Thư viện Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh.