

SO SÁNH ỔN ĐỊNH QUÁ ĐỘ CỦA HỆ THỐNG MÁY PHÁT TUABIN GIÓ CÓ TỐC ĐỘ KHÔNG ĐỔI VÀ HỆ THỐNG MÁY PHÁT TUABIN GIÓ CÓ TỐC ĐỘ THAY ĐỔI GIỚI HẠN

A COMPARISON OF TRANSIENT STABILITY BETWEEN FIXED AND LIMITED VARIABLE-SPEED INDUCTION GENERATOR BASED WIND TURBINES

Dương Minh Quân¹, Hoàng Dũng², Nguyễn Đức Anh¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; dmquan@dut.udn.vn, ngducanhdn@gmail.com

²Trường Cao đẳng Công nghệ - Đại học Đà Nẵng; hdung@dct.udn.vn

Tóm tắt - Với nhu cầu sử dụng điện năng ngày một tăng cao và các nguồn nhiên liệu hóa thạch ngày càng cạn kiệt đòi hỏi phải có các giải pháp thay thế. Vì thế, việc phát triển các nguồn năng lượng tái tạo là một trong những giải pháp hàng đầu hiện nay. Trong số đó, nguồn năng lượng gió có tốc độ phát triển nhanh nhất, có thể trở thành nguồn năng lượng chủ đạo trong tương lai. Tuy nhiên, khi hòa lưới, các nguồn điện gió sử dụng máy phát có tốc độ không thay đổi lại nảy sinh nhiều vấn đề liên quan đến ổn định. Bài báo này khảo sát hoạt động của hai hệ thống máy phát điện gió có tốc độ không đổi (FSIG) và có tốc độ thay đổi giới hạn (LVSIG) bằng phần mềm ETAP với sự cố giả định là ngắn mạch ba pha. Các kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống LVSIG có nhiều ưu điểm vượt trội, là phương án thay thế hữu hiệu cho hệ thống FSIG, nhờ vào khả năng vận hành ở nhiều tốc độ gió khác nhau và phục hồi tốt sau sự cố.

Từ khóa - năng lượng tái tạo; tuabin gió; máy phát cảm ứng có tốc độ không đổi; máy phát cảm ứng có tốc độ thay đổi giới hạn; ngắn mạch.

1. Đặt vấn đề

Năng lượng gió là một trong những nguồn năng lượng đầy hứa hẹn và tiềm năng để đáp ứng nhu cầu điện ngày một tăng cao. Theo Hiệp hội Năng lượng gió toàn cầu (GWEC), tổng công suất của năng lượng gió được lắp đặt trên thế giới lên đến gần 487 GW, với khoảng 55GW được lắp đặt mới trong năm 2016. Trung Quốc, Mỹ, Đức tiếp tục dẫn đầu về tổng công suất được lắp đặt, lần lượt chiếm tỉ trọng 34,7%, 16,9%, 10,3% tổng công suất điện gió thế giới. GWEC cũng dự đoán rằng sẽ có khoảng 60 GW được lắp đặt thêm trong năm 2017, hướng tới tổng công suất được lắp đặt trên thế giới đạt 800 GW vào năm 2021. Tuy nhiên, việc hòa lưới năng lượng gió lại nảy sinh các vấn đề ảnh hưởng tới chất lượng và độ tin cậy của hệ thống điện. Năng lượng gió với giá thành ngày một rẻ, hiệu suất cao, đáng tin cậy hơn so với trước đây nhưng yêu cầu về chất lượng điện ngày một tăng cao đòi hỏi sự quan tâm nhiều hơn về việc phát triển công nghệ cho các trang trại gió. Nhiều nghiên cứu trong quá khứ đã được thực hiện nhằm giải quyết các vấn đề nêu trên. Trong tài liệu [1], nhóm nghiên cứu đã tiến hành mô hình hóa việc tích hợp năng lượng gió cũng như đánh giá ổn định quá độ trên hệ thống thử nghiệm IEEE 14BUS nhằm lựa chọn máy phát phù hợp với lưới điện. Cũng trong tài liệu [2], nhóm tác giả đã tiến hành khảo sát hai loại máy phát tuabin gió được sử dụng phổ biến trong những năm gần đây nhằm chỉ ra ưu nhược điểm của từng loại máy phát. Tài liệu tham khảo [3] nghiên cứu về bộ điều khiển góc pitch của máy phát tuabin gió bằng bộ điều khiển lai giữa PI và mờ. Điều khiển góc pitch là một trong những phương pháp phổ biến để điều khiển

Abstract - Increasing demand for electricity and exhausted fossil fuel resources require alternative solutions. Currently, the development of renewable energy sources is one of the leading solutions. In particular, wind power has the fastest growth rate and may become a major source of energy in the future. However, integrating the Fixed-Speed Induction Generators (FSIG) to grid causes stability problems. This article explores the capabilities and characteristics of FSIG and Limited Variable-Speed Induction Generator (LVSIG) based wind turbines by using ETAP software. It is assumed that the event is a three-phase short-circuit. The simulated results show that the LVSIG system has many outstanding advantages and is an alternative solution to the FSIG, due to its ability to operate at different wind speeds and recover well after faults.

Key words - renewable energy; wind turbine; Fixed-speed induction generator; limited-variable speed induction generator; short-circuit.

công suất đầu ra của tuabin gió có tốc độ không đổi.

Các máy phát năng lượng gió phải đảm bảo yêu cầu về ổn định khi nối lưới để đáp ứng nhu cầu phụ tải và nâng cao chất lượng điện năng. Chính vì vậy, việc nghiên cứu phát triển các máy phát tuabin gió rất cần thiết trong giai đoạn hiện nay. Nghiên cứu này khảo sát khả năng vận hành của 2 loại hệ thống máy phát tuabin gió FSIG (fixed-speed induction generator) vận hành ở tốc độ rotor cố định, phụ thuộc vào tần số của nguồn cung cấp, tỉ số truyền động và cấu trúc của máy phát; LVSIG (limited variable-speed induction generator) là phiên bản cải tiến của FSIG, có khả năng vận hành ở nhiều tốc độ gió khác nhau. Hai hệ thống đều là máy phát cảm ứng không đồng bộ và cho hiệu suất cao nhất ở tốc độ gió trung bình từ 5-12 m/s [4].

Nội dung nghiên cứu trình bày khái quát khả năng khai thác năng lượng gió và hệ thống máy phát sử dụng trong mô phỏng. Thông qua việc sử dụng phần mềm ETAP với các công cụ hỗ trợ mô phỏng hoạt động, sự cố, khả năng phục hồi sau sự cố... của hai hệ thống máy phát tuabin gió kể trên, các kết quả mô phỏng được phân tích và đánh giá một cách kĩ lưỡng. Dựa vào kết quả đó, tác giả đưa ra kết luận về loại máy phát tuabin gió có đáp ứng tốt hơn khi kết nối đến hệ thống điện.

2. Tổng quan về năng lượng gió [5]

Động năng gió là một hàm của tốc độ và khối lượng không khí di chuyển. Tốc độ gió càng cao thì động năng gió càng lớn. Mối quan hệ giữa khối lượng, tốc độ không khí và động năng gió được thể hiện bởi phương trình động năng KE (Kinetic Energy, J) của khối khí có khối lượng m

(kg) di chuyển với vận tốc v (m/s):

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Công suất cơ nhận được P_w (W) của một khối khí di chuyển với vận tốc v qua một diện tích A vuông góc với chiều vận tốc trong thời gian t (s) được tính như sau:

$$P_w = \frac{KE}{t} = \frac{1}{2} \frac{m}{t} v^2 \quad (W) \quad (2)$$

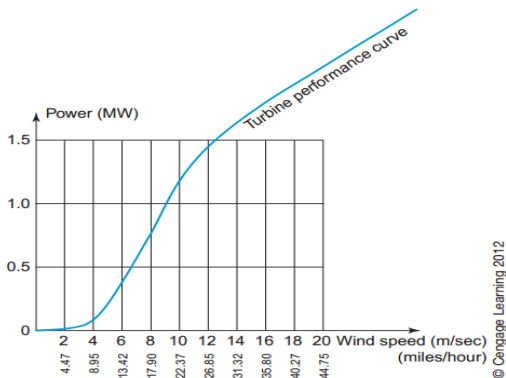
Mà

$$\frac{m}{t} = \rho Av \quad (3)$$

với ρ (kg/m³) là khối lượng riêng của không khí (tại điểm có nhiệt độ 15°C và áp suất khí quyển là 1 atm thì $\rho = 1,225$ kg/m³).

Suy ra:

$$P_w = \rho Av^3 \quad (W) \quad (4)$$



Hình 1. Đường cong công suất gió của một tuabin gió điển hình

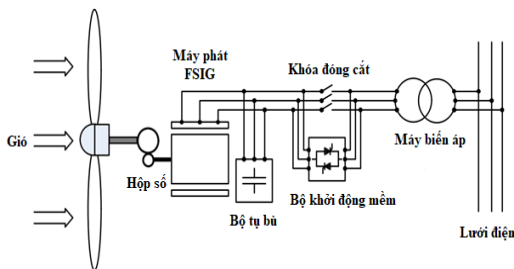
Với tuabin gió trục đứng thì diện tích $A = 2DH/3$, trong đó D là bề ngang lớn nhất và H là chiều cao của vùng cánh quạt.

Với tuabin trục ngang thì $A = \pi R^2$ với R là bán kính cánh quạt.

Vì năng lượng tỷ lệ bậc 3 với tốc độ gió nên cần phải đặc biệt quan tâm đến vị trí đặt tuabin để thu được gió có tốc độ lớn.

3. Máy phát điện có tốc độ cố định và thay đổi giới hạn dùng trong hệ thống phát điện sử dụng năng lượng gió

3.1. Máy phát cảm ứng vận tốc cố định (FSIG)

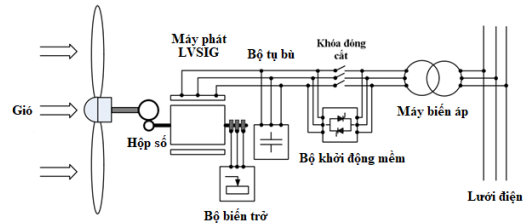


Hình 2. Sơ đồ khối của FSIG

Máy phát tuabin gió loại này có tốc độ trục truyền động là cố định, sử dụng loại máy phát điện không đồng bộ rotor lồng sóc (SCIG) và được kết nối trực tiếp vào lưới điện thông qua máy biến áp được mô tả theo Hình 2. FSIG được thiết kế để đạt hiệu suất cao nhất ở một tốc độ gió cố định, chỉ hoạt động được trong vùng hẹp xung quanh tốc độ đồng

bộ và cận đồng bộ. Với khả năng vận hành ở tốc độ cố định nên máy phát này có tần số đầu ra luôn ổn định [7]. Mô hình này đòi hỏi phải lắp hệ thống bù một lượng công suất phản kháng để giảm việc tiêu thụ công suất phản kháng từ lưới điện. Mô hình này có kết cấu rất đơn giản và tin cậy nhưng không cho phép điều khiển tích cực để thu năng lượng tối đa và tốc độ của máy phát phụ thuộc hoàn toàn vào tần số và công suất của lưới điện. Ngoài hiệu suất chuyển đổi thấp, chất lượng điều khiển kém còn có sự biến động của công suất tác dụng và phản kháng. Loại tuabin gió sử dụng mô hình này có thị phần ngày càng giảm, chủ yếu là do chất lượng điện năng thấp và hiệu suất không cao.

3.2. Máy phát cảm ứng có tốc độ thay đổi giới hạn (LVSIG)



Hình 3. Sơ đồ khối của LVSIG

Cấu trúc của LVSIG được mô tả chi tiết như Hình 3, sử dụng máy phát không đồng bộ rotor dây quấn (WRIG). Dây quấn rotor cảm ứng có thể điều khiển là điểm cải tiến so với FSIG. Với khả năng thay đổi tốc độ nhờ điều khiển điện trở rotor nên LVSIG có thể điều khiển được công suất ra và bắt gió hiệu quả hơn khoảng 10%. Thông thường, phạm vi biến đổi tốc độ rotor trong khoảng từ 0÷10% so với tốc độ đồng bộ. Phần stato được nối lưới trực tiếp. Hơn nữa, LVSIG giảm được các áp lực cơ học do gió gây ra trên tuabin [8], [9].

4. Kết quả mô phỏng

Hình 4 cho thấy trại gió giả định được thiết kế bao gồm 2 hệ thống trang trại gió với 16 máy phát tuabin với tổng công suất là 32 MW, được chia ra làm 2 trang trại gió. Hệ thống trang trại gió 1 gồm 6 máy công suất tổng là 12 MW và hệ thống trang trại gió 2 gồm 10 máy phát với công suất tổng là 20 MW. Máy phát tuabin gió kết nối đến BUS 0,69 kV và sau đó thông qua máy tăng áp 2,5 MVA để đưa lên điện áp 22 kV. Sau đó, tiếp tục được nâng lên 110 kV nhờ vào 2 máy biến áp 56 MVA. Các thông số của hai hệ thống máy phát và tuabin gió được trình bày lần lượt ở Bảng 1 và Bảng 2.

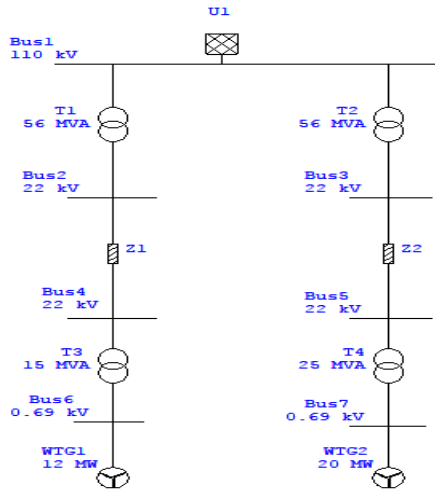
Bảng 1. Thông số của máy phát điện

Thông số	FSIG	LVSIG
Công suất định mức (MW)	2	2
Số cực	4	4
Điện áp định mức (kV)	0,69	0,69
Tốc độ đồng bộ (vòng/phút)	1.500	1.500
Tần số vận hành (Hz)	50	50
Điện trở dây quấn stato (Ω)	2,78	2,78

Bảng 2. Thông số của tuabin gió

Thông số	FSIG	LVSIG
Tốc độ gió ngưỡng vào (m/s)	4	4
Tốc độ gió ngưỡng ra (m/s)	14	14
Tốc độ gió định mức (m/s)	10	10

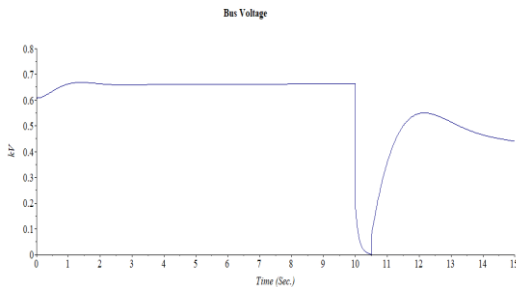
Mật độ không khí (kg/m ³)	1.225	1.225
Đường kính (m)	60	60
Diện tích vùng quét (m ²)	2.820	2.820



Hình 4. Sơ đồ của trang trại gió trong ETAP

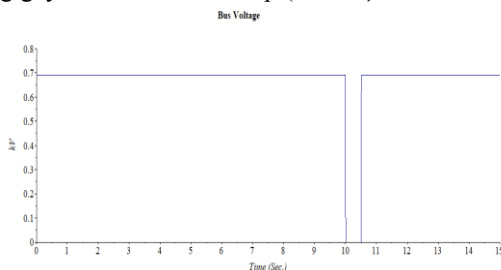
Giả sử sự cố ngắn mạch ba pha xảy ra tại Bus1 ở giây thứ 10 và được giải trừ vào giây thứ 10,5 bởi thiết bị bảo vệ. Vì thời gian xảy ra sự cố ngắn nên ta coi như tốc độ gió trong thời gian này không đổi và bằng vận tốc gió định mức 10 m/s.

Khi xảy ra ngắn mạch ba pha ở giây thứ 10, điện áp của FSIG sụt xuống 0 kV. Lúc giải trừ sự cố ở giây 10,5 thì điện áp hệ thống bắt đầu phục hồi chậm. Ở giây thứ 12, điện áp đột ngột đổi chiều giảm liên tục gây mất ổn định. FSIG trong trường hợp này chỉ hồi phục được đến khoảng 0,5 kV rồi giảm mạnh (Hình 5).



Hình 5. Điện áp đầu cực máy phát của hệ thống FSIG

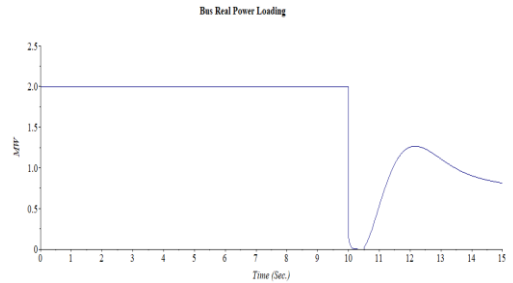
Tương tự như FSIG, khi xảy ra ngắn mạch, điện áp của LVSIG giảm ngay xuống 0 kV. Sau khi giải trừ sự cố ở giây thứ 10,5, hệ thống hồi phục nhanh. Hơn nữa, điện áp của hệ thống hồi phục hoàn toàn 100%, chỉ sau 0,12 giây, không gây mất ổn định điện áp (Hình 6).



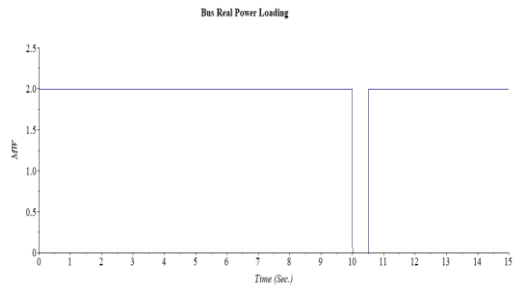
Hình 6. Điện áp đầu cực máy phát của hệ thống LVSIG

Khi vận hành bình thường, cả FSIG và LVSIG phát công suất tác dụng ổn định là 2 MW. Khi xảy ra sự cố, công

suất của cả hai hệ thống giảm xuống 0 MW. Khi sự cố được giải trừ, LVSIG thể hiện khả năng hồi phục rất nhanh của mình so với FSIG. FSIG hoạt động ở tốc độ cố định và không có khả năng điều khiển công suất đầu ra, trong khi đó, LVSIG dựa vào việc thay đổi điện trở để điều khiển tốc độ rotor nên có khả năng điều khiển công suất đầu ra (Hình 7 và 8).

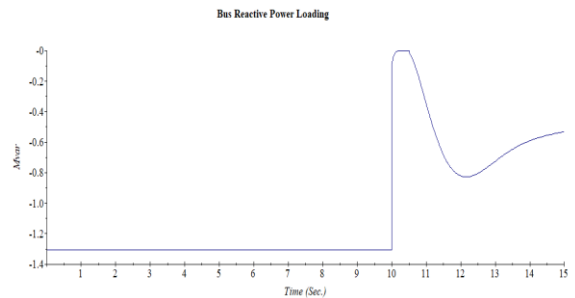


Hình 7. Công suất tác dụng đầu cực máy phát FSIG

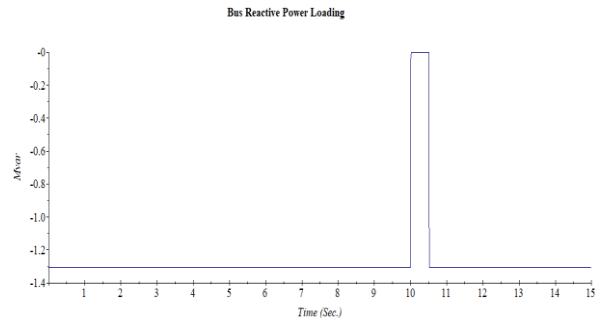


Hình 8. Công suất tác dụng đầu cực máy phát LVSIG

Hình 9 và 10 cho thấy ở điều kiện làm việc bình thường, cả FSIG và LVSIG đều lấy từ lưới 1,3 MVar. Khi có sự cố, điện áp hệ thống giảm dẫn đến công suất của hai máy phát giảm đến gần bằng 0. Tuy nhiên, do khả năng điều khiển công suất nên LVSIG cho thấy khả năng hồi phục gần như ngay lập tức, còn FSIG thì mất ổn định.



Hình 9. Công suất phản kháng đầu cực máy phát FSIG



Hình 10. Công suất phản kháng đầu cực máy phát LVSIG

5. Kết luận

Hệ thống FSIG nối trực tiếp với lưới đồng thời cũng lấy công suất phản kháng từ lưới dẫn đến mất ổn định điện áp

trên lưới. Để khắc phục điểm yếu này, cần có các biện pháp bù phù hợp như sử dụng SVC, STATCOM,... nhưng tốn kém. LVSIIG với cấu trúc đơn giản, mạnh mẽ, hiệu suất bắt gió cao hơn so với FSIG. Ngoài ra, khả năng hồi phục sau sự cố cực kỳ tốt và mạng tính kinh tế cao cũng góp phần nâng cao ưu điểm của loại máy phát này. Rõ ràng, hệ thống LVSIIG có thể xem là một trong những sự lựa chọn thay thế phù hợp cho máy phát FSIG.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số 21/HĐ-KHCN-2017.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Rakesh Chandra, M. Sailaja Kumari, M. Sydulu, F. Grimaccia, M. Mussetta, S. Leva, M. Q. Duong, Impact of SCIG, DFIG Wind Power Plant on IEEE 14 Bus System with Small Signal Stability Assessment, *IEEE-Eighteenth National Power Systems Conference (IEEE-NPSC 2014)*, IIT Guwahati, INDIA, IBSN: 978-1-4799-5151-3, 2014, pp. 1-6.
- [2] M. Q. Duong, F. Grimaccia, S. Leva, M. Mussetta, G. Sava, S. Costinas, "Performance analysis of grid-connected wind tuabins", *The Journal Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering and Computer Science*, Romania, ISSN 2286-3540, No: Vol 76, Iss 4, 2014, pp. 169-180.
- [3] M. Q. Duong, F. Grimaccia, S. Leva, M. Mussetta, G. Sava, E. Ogliari, "Pitch angle control using hybrid controller for operating region of SCIG wind tuabin system", *Renewable Energy*, ISSN 0960-1481, Elsevier Ltd, U.K. (*ISI Journal*); No: Volume 70, Special Issue, 2014, pp. 197-203.
- [4] D. S. Bankar, Shripad Ganapati Desai, Vishal Vaman Mehtre, *Performance Comparison of SCIG and DFIG based Wind Farm in ETAP*, 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), International Institute of Information Technology (I²IT), Pune.
- [5] Ahmad Hemami, *Wind Turbine Technology*, IBSN-13: 978-1-4354-8646-1, 2012 Cengage Learning, pp. 40-190.
- [6] Alex Kalmikov, Katherine Dykes, Kathy Araujo, *Wind Power Fundamentals*, MIT Mechanical Engineering, Engineering Systems and Urban Planning.
- [7] Phan Dinh Chung, Electrical Engineering Department, Danang University of Technology, Vietnam, "Comparison of Steady-State Characteristics between DFIG and SCIG in Wind Tuabin", *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 51, February 2013, pp. 135-143.
- [8] Thomas Ackermann, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, *Wind Power in Power Systems*, 2005, pp. 56-60.
- [9] Shailesh Tripathy, Nit Rourkelar, *Different Generator Topologies Used In Wind Tuabin Applications*, 2014, pp. 11-20.

(BBT nhận bài: 15/9/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 12/10/2017)