

ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN HỖN HỢP GIÓ – DIESEL TRONG LƯỚI CÔ LẬP THEO HƯỚNG TỐI ĐA HÓA MỨC THÂM NHẬP ĐIỆN GIÓ

CONTROLLING THE WIND – DIESEL POWER HYBRID SYSTEM IN ISOLATED GRID TO MAXIMIZE THE PENETRATION OF WIND POWER

Lê Thái Hiệp¹, Đoàn Đức Tùng¹, Nguyễn Thế Công², Lê Văn Doanh²

¹Trường Đại học Quy Nhơn; thaihiệpalpha@gmail.com; ddtung@ftt.edu.vn

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; cong.nguyenthe@hust.edu.vn; ledoanhbk@yahoo.com

Tóm tắt - Thực tế có nhiều hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel ở các vùng cô lập vận hành chưa hiệu quả, vì sự phối hợp giữa trạm điện gió và trạm điện diesel chưa phù hợp. Bài báo đề xuất cấu trúc điều khiển chung cho cả hệ thống hỗn hợp gió – diesel trong lưới cô lập không có thiết bị phụ trợ. Thuật toán điều khiển tính toán số lượng mẫu phát và công suất của các máy cho cả hai trạm điện, và điều khiển hệ thống bám theo các giá trị tính toán. Đồng thời việc điều khiển tần số cũng được thực hiện theo hướng cực đại hóa công suất phát của trạm điện gió nhằm giảm tối đa sự tiêu thụ nhiên liệu diesel. Kết quả áp dụng đối với hệ thống phát điện hỗn hợp ở đảo Phú Quý cho thấy sự phù hợp của cấu trúc đã đề xuất, qua đó khuyến nghị áp dụng cho các hệ thống tương tự.

Từ khóa - Hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel; lưới cô lập; công suất; tần số; mức thâm nhập điện gió.

1. Đặt vấn đề

Có nhiều vùng cô lập trên thế giới đã từng được cấp nguồn từ các hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel không có thiết bị phụ trợ. Điển hình như: đảo Sal và đảo Mindelo ở Cape Verde; đảo La Désirade ở Guadeloupe; đảo Denham ở Australia. Hiện nay ở Việt Nam có hệ thống phát điện hỗn hợp kiểu này ở đảo Phú Quý, và có kế hoạch lắp đặt ở Côn Đảo.

Hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel được lắp đặt ở Phú Quý với mục đích sử dụng nguồn năng lượng gió tự nhiên và giảm chi phí sản xuất điện. Tuy nhiên, do sự phối hợp vận hành giữa hai trạm điện chưa tốt, nên trạm điện gió thường chỉ phát công suất hạn chế trong phạm vi khoảng 50% tổng công suất của cả đảo (P_i) [1-3]. Nguyên nhân: Trạm điện diesel do Điện lực đầu tư, nhưng trạm điện gió lại do Công ty Năng lượng tái tạo Dầu khí Việt Nam đầu tư nên thực hiện vận hành theo tỷ lệ phân chia lợi nhuận; thêm vào đó tốc độ gió luôn luôn thay đổi, để giảm ảnh hưởng xấu của những biến động này đến chất lượng điện năng một cách chủ quan, các nhà quản lý chọn lựa vận hành trạm điện gió bám theo mức đặt công suất phát thấp hoặc mức thâm nhập điện gió thấp. Chính vì các lý do này mà hệ thống phát điện hỗn hợp ở đây không khai thác tốt nguồn năng lượng gió của tự nhiên.

Để giải quyết các vấn đề trên, nghiên cứu [4, 5] đã đề xuất mô hình điều khiển tần số của hệ thống theo hướng sử dụng tối đa năng lượng gió. Tuy nhiên, nghiên cứu [4] chỉ khảo sát với trạm điện gió có một tuabin, chưa quan tâm đến phân bố công suất phản kháng cho hai trạm điện, cũng như chưa kể đến giới hạn làm việc của từng máy phát, chưa xác định tỷ lệ thâm nhập điện gió ở mức nào là phù hợp. Nghiên cứu [5] chỉ tập trung điều khiển máy phát trong

Abstract - In fact, there are many wind – diesel hybrid power systems which operate ineffectively in isolated regions because the coordination between wind power station and diesel power station is not appropriate. In this paper, a common control structure of wind – diesel hybrid power system in isolated grid without auxiliary devices is proposed. The control algorithm calculates the number and power of generators in both power stations, and drives the system according to the calculated value. Simultaneously, the frequency is also controlled toward maximizing generating capacity of wind power stations in order to minimize the consumption of diesel fuel. This control structure is applied to the hybrid power system on Phu Quy Island and the result shows the appropriateness of the proposed structure. Therefore, this paper recommends applying this control structure to similar systems.

Key words - Wind – diesel hybrid power system; isolated grid; power; frequency; the penetration of wind power.

tuabin gió. Ngoài ra có nghiên cứu [6] cũng tiến hành điều khiển tần số cho hệ thống hỗn hợp kiểu này, nghiên cứu [7] điều khiển tần số và điện áp cho hệ thống hỗn hợp có thiết bị phụ trợ. Các nghiên cứu [6] và [7] không quan tâm đến mục tiêu nâng cao mức thâm nhập điện gió.

Do vậy, mục tiêu của bài báo là đề xuất một cấu trúc điều khiển chung cho hai trạm điện nhằm sử dụng tối đa khả năng của trạm điện gió, mà vẫn đảm bảo các điều kiện kỹ thuật và vận hành ổn định. Đây cũng là nền tảng cho phép ứng dụng rộng rãi hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel cho các đảo ở Việt Nam.

2. Đối tượng áp dụng

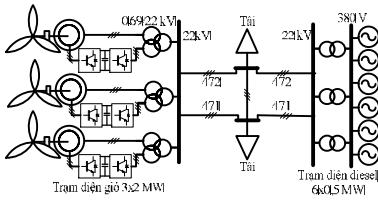
Bài báo chọn hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel ở đảo Phú Quý làm đối tượng khảo sát.

Trạm phát điện diesel đã có từ năm 1999, bao gồm 6 máy phát loại VTA-28 của hãng Cummin, công suất phát định mức 500kW (625kVA), điện áp đầu cực 0,4kV, hệ số công suất 0,8. Hệ thống 0,4kV này kết nối lưới 22kV thông qua 03 máy biến áp làm việc song song loại 1600kVA, 22±2x2.5/0,4kV [1, 2].

Từ năm 2011, trạm điện gió được đưa vào vận hành kết hợp với trạm điện diesel. Trạm điện gió gồm 3 tuabin loại V80-2MW sử dụng máy phát không đồng bộ, nguồn kép (DFIG) của Tập đoàn Vestas. Mỗi tuabin có công suất phát định mức 2.0 MW và điện áp phát 690V, được nối lưới 22kV thông qua máy biến áp khô công suất 2.1 MVA, 22/0,69kV, YN/yn-0 [1, 2].

Lưới điện 22kV có tổng chiều dài khoảng 21,5 km gồm hai phát tuyến 471 và 472 [1, 2].

Phụ tải trên đảo Phú Quý thường khoảng 1MW ÷ 2MW.



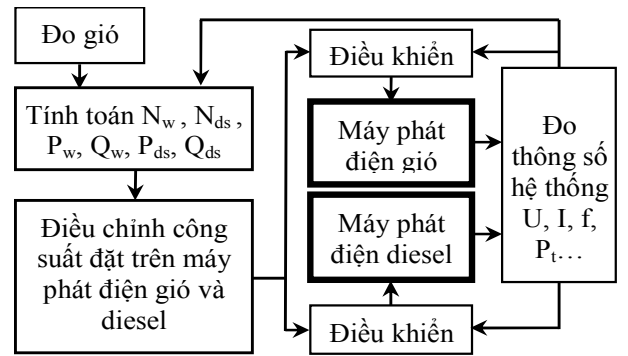
Hình 1. Sơ đồ tổng quát hệ thống điện hỗn hợp gió – diesel trên đảo Phú Quý

Quá trình tính toán vận hành ở Phú Quý phải thỏa mãn các điều kiện trong Bảng 1.

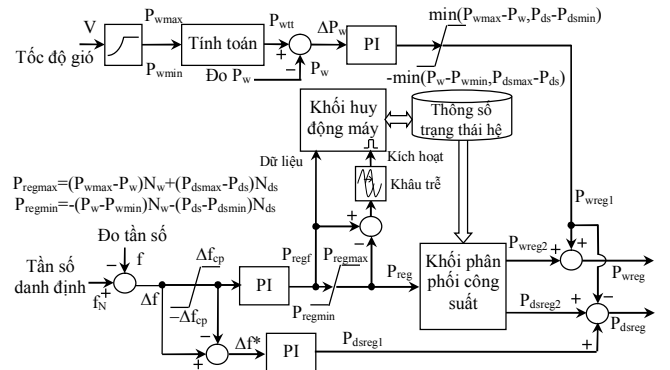
Bảng 1. Điều kiện vận hành [1, 3, 8, 9]

Điều kiện	Ghi chú
Cân bằng công suất	
$P_1 + P_2 = P_t$ $Q_1 + Q_2 = Q_t$	1- điện gió; 2 – điện diesel; t – tổng phụ tải của lưới.
Giới hạn phát công suất	
$165\text{kW} \leq P_{ds} \leq 420\text{kW}$ $S_{ds} \leq 625\text{kVA}$	P_{ds} – công suất của máy phát điện diesel
$P_{wmin} \leq P_w \leq 2000\text{kW}$	P_w – công suất của máy phát điện gió; min – cực tiểu.
$P_{wmin} = 500\text{kW}$ $P_{wmin} = 500 \div 800 \text{ kW}$	Khi tốc độ gió từ 7.2m/s đến 17.8m/s; Khi tốc độ gió từ 17.8m/s đến 25m/s.
Đặt công suất dự trữ quay cho hệ thống	
$P_{dp} = P_{dp1} + P_{dp2}$ $P_{dp2min} \leq P_{dp}$	P_{dp}, P_{dp1}, P_{dp2} – lần lượt là công suất dự trữ quay của cả hệ thống, của trạm điện gió, của trạm điện diesel.
$P_{dp2min} = 150 \text{ kW}$ $P_{dp2min} = 250 \text{ kW}$	Khi tốc độ gió lớn hơn 7.2 m/s; Khi tốc độ gió nhỏ hơn 7.2 m/s.
Đảm bảo ổn định trong vận hành.	

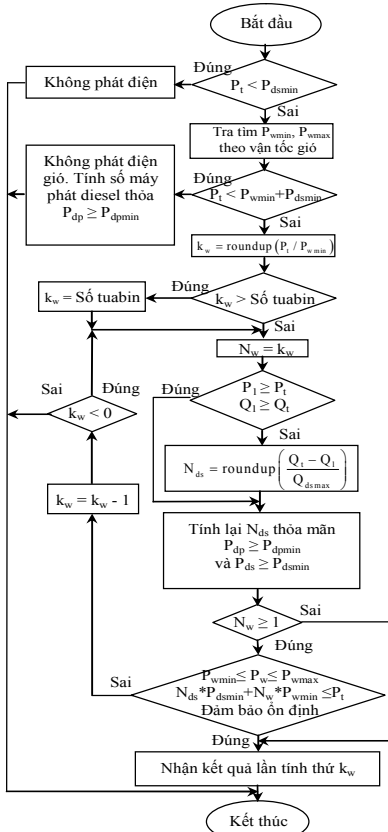
3. Đề xuất cấu trúc điều khiển



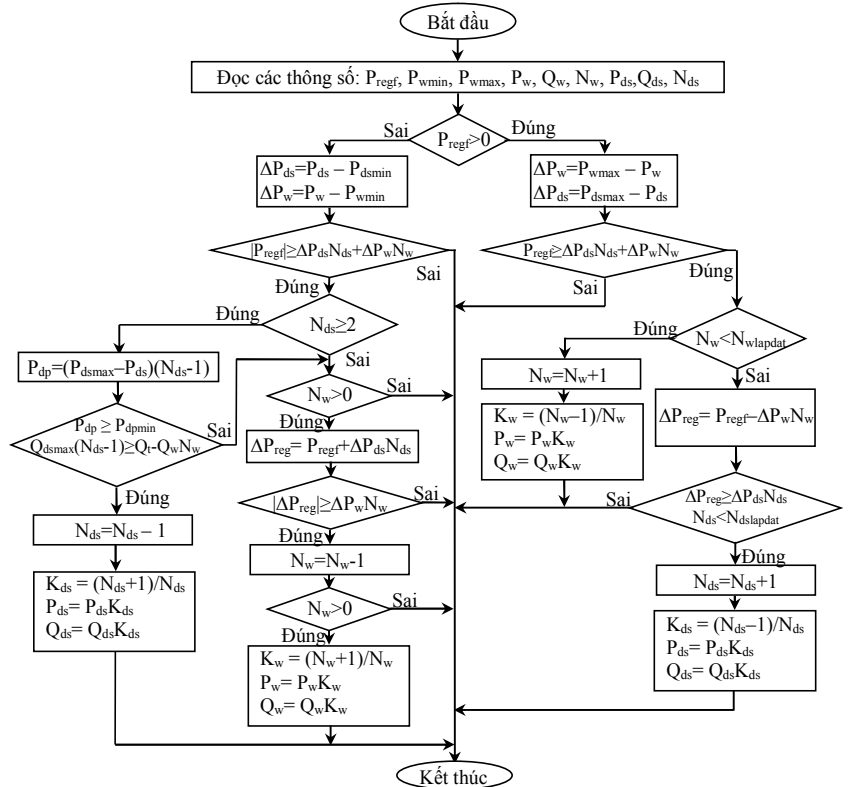
Hình 2. Sơ đồ thể hiện mối liên hệ giữa việc tính toán và quá trình điều chỉnh hệ thống [9]



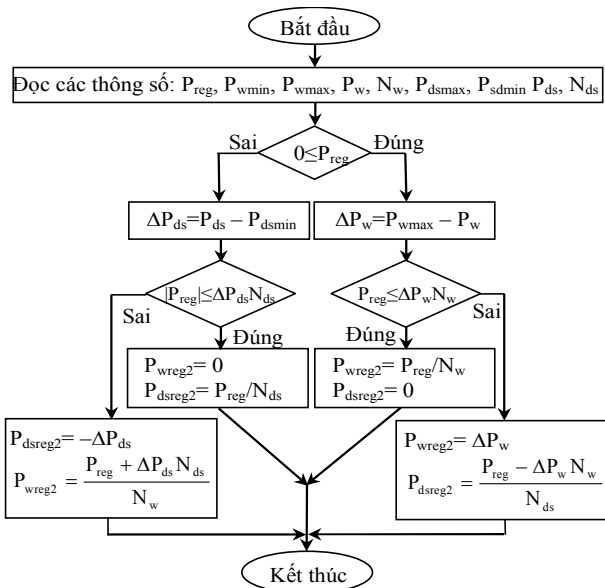
Hình 3. Cấu trúc khối điều chỉnh công suất đặt trên máy phát điện gió và diesel



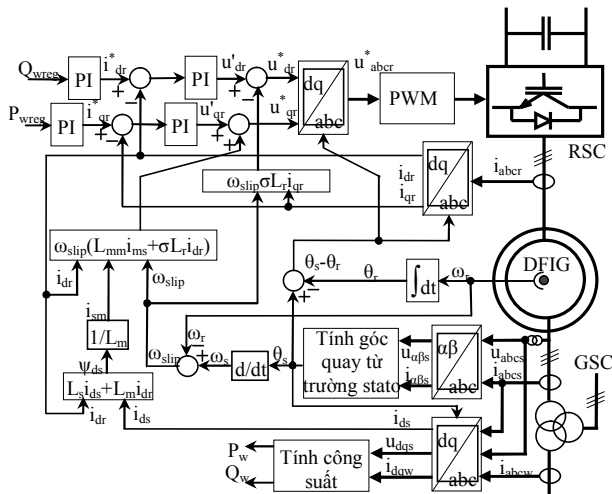
Hình 4. Thuật toán khởi tính toán [9]



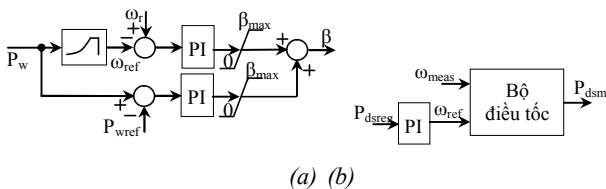
Hình 5. Thuật toán khôi huy động máy



Hình 6. Thuật toán phối phân phối công suất



Hình 7. Sơ đồ bộ điều khiển cho khối chuyển đổi phía rotor của DFIG

Hình 8. (a) Sơ đồ điều khiển góc nghiêng cánh;
(b) Sơ đồ điều khiển công suất cơ trên máy diesel

Sơ đồ khối thể hiện quá trình thu thập số liệu, tính toán số máy phát điện gió, số máy phát điện diesel và công suất tương ứng, cũng như thiết lập lại cho hệ thống như Hình 2. Trong sơ đồ Hình 2, w và ds là các ký hiệu thể hiện các thông số của máy phát điện gió và máy phát điện diesel; ký hiệu N là số máy phát tham gia vận hành.

Khi trên lưới có biến động công suất hoặc sự sụt giảm tốc độ gió đột ngột thì các máy phát điện diesel sẽ đáp ứng để cân bằng công suất. Sau đó các kết quả đo sẽ được đưa vào tính toán công suất thực trên lưới, khả năng phát của trạm điện gió và xác định số lượng máy phát cũng

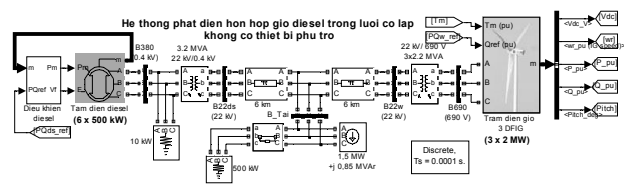
như công suất phát điện của các máy trong hai trạm điện nhờ khối tính toán trên Hình 4. Hệ thống điều khiển sẽ tiến hành thay đổi điểm đặt công suất từ từ tiến đến thông số đã tính, cũng như thêm hoặc giảm số máy phát nhờ khối Điều chỉnh công suất đặt trên Hình 2 và được cụ thể hóa trên Hình 3. Như vậy, sau một khoảng thời gian ngắn hệ thống sẽ tiến đến điểm làm việc mới với lượng phát công suất của trạm điện gió là cực đại.

Sự tăng tốc độ gió nhanh và có nhiều thay đổi theo kiểu gió giật sẽ bị hệ thống điều khiển cũng như tính toán lọc bỏ. Khi có một quá trình thay đổi tốc độ gió thì hệ thống điều khiển cũng như tính toán sẽ tiến hành tính toán lại và bám theo.

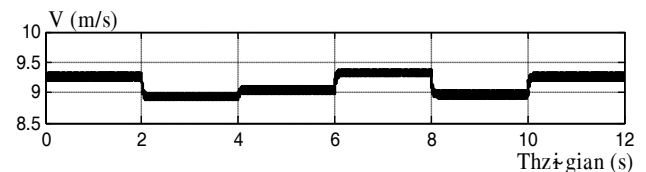
Quá trình điều chỉnh công suất của toàn hệ thống được thực hiện theo hướng phát tối đa công suất của trạm điện gió như Hình 3. Khi tốc độ gió tăng thì hệ thống sẽ tăng công suất phát của trạm điện gió và giảm công suất phát của trạm diesel nhờ phần điều chỉnh theo sai lệch công suất. Khi tần số trên lưới có biến động không quá lớn, thông qua phần điều chỉnh theo tần số sẽ ưu tiên tăng công suất trạm điện gió và giảm công suất trạm diesel. Cụ thể, việc thay đổi cho từng máy phát được định hướng nhờ khối phân phối công suất được thể hiện trên Hình 6. Khi lượng công suất điều chỉnh liên tục nằm ngoài giới hạn từ P_{regmin} đến P_{regmax} thì sau một khoảng thời gian, Δt sẽ thực hiện quá trình huy động thêm máy phát hoặc giảm máy phát. Cụ thể, quá trình huy động thêm máy phát hoặc giảm máy phát được điều khiển nhờ khối huy động máy ở Hình 5. Khi tần số có biến động lớn hơn giới hạn cho phép (Δf_{cp}) thì bổ sung phần điều chỉnh tác động trực tiếp vào công suất trạm diesel trên sơ đồ Hình 3.

4. Kết quả và thảo luận

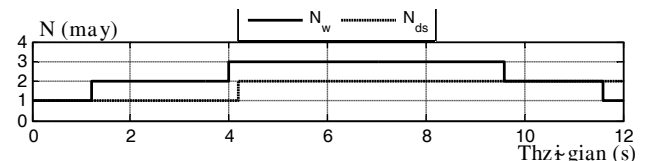
4.1. Mô phỏng quá trình điều khiển chung cho cả hệ thống



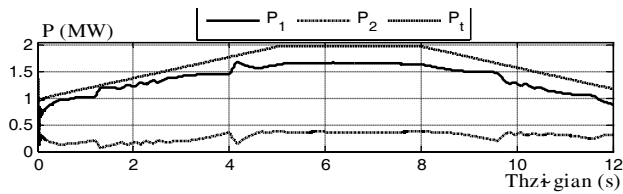
Hình 9. Mô hình hệ thống hỗn hợp gió - diesel



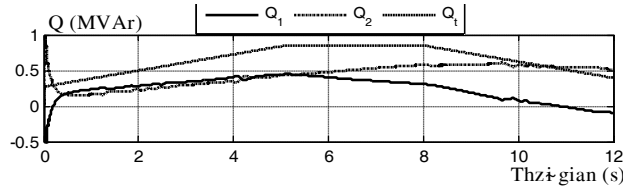
Hình 10. Biểu đồ tốc độ gió trong mô phỏng



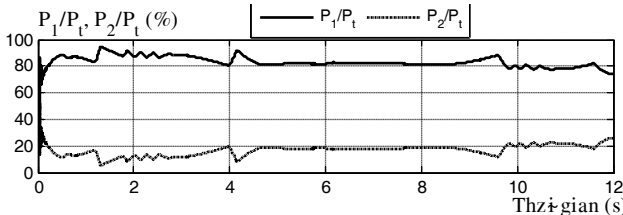
Hình 11. Số lượng máy phát tham gia vận hành



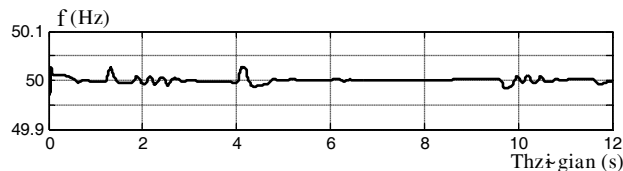
Hình 12. Biểu đồ phát công suất tác dụng của hai trạm điện



Hình 13. Biểu đồ phát công suất phản kháng của hai trạm điện



Hình 14. Biểu đồ biểu diễn tỷ lệ phát công suất tác dụng của hai trạm điện



Hình 15. Biểu đồ tần số trên lưới

Trong mô phỏng quá trình điều khiển chung cho cả hệ thống, tốc độ gió biến đổi theo hàm ngẫu nhiên có tốc độ trung bình khoảng 9 m/s, sự dao động được trung bình hóa trong một khoảng thời gian 2s được thể hiện trên Hình 10. Việc lựa chọn này nhằm mục đích để các kết quả mô phỏng thể hiện rõ hơn quá trình điều khiển bám theo phụ tải và ổn định tần số theo xu hướng tối đa hóa khả năng phát điện của trạm điện gió. Các mô phỏng với tốc độ gió dao động mạnh thì cấu trúc điều khiển đã đề xuất hoàn toàn đáp ứng tốt, tuy nhiên kết quả bị ảnh hưởng mạnh của dao động này (sẽ trình bày ở mục 4.2).

Trên Hình 12 xuất hiện một số điểm nhấp nháy về công suất do hiện tượng huy động thêm hoặc cắt giảm máy phát trong hai trạm điện (như Hình 11). Các dao động về tần số cũng xảy ra vào thời điểm này (Hình 15). Khi đó, hệ thống điều khiển chung sẽ điều chỉnh đề công suất các máy tham gia vận hành trong vùng giới hạn của mỗi máy. Sau đó, thuật toán điều khiển sẽ điều chỉnh đề các máy phát điện diesel bám lấy mức công suất thấp nhất, các tuabin gió bám theo mức công suất cao nhất có thể.

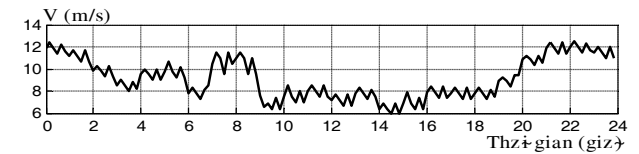
Trong quá trình vận hành, các tuabin gió được huy động với số lượng nhiều nhất có thể. Ngược lại, huy động số máy phát trong trạm điện diesel ít nhất có thể để vừa đủ đảm bảo dự trữ quay và cung cấp công suất phản kháng.

Trong quá trình khởi động, tuabin gió sử dụng máy phát không đồng bộ nguồn kép nhận nhiều công suất phản kháng để thành lập điện áp (như Hình 13). Tuy nhiên, trong quá trình làm việc thì các máy phát này có thể phát

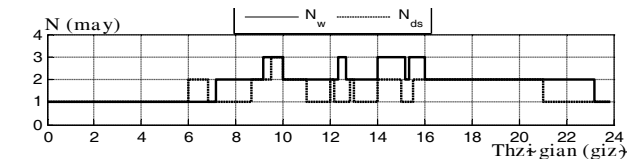
bổ sung công suất phản kháng, còn trạm điện diesel đóng vai trò chính trong việc phát công suất phản kháng.

Kết quả khảo sát cho thấy mức thâm nhập điện gió trung bình khoảng 80 % P_t (như Hình 14). Với mức thâm nhập này, chỉ tiêu về chất lượng tần số hoàn toàn tốt so với tiêu chuẩn vận hành hiện nay (như Hình 15).

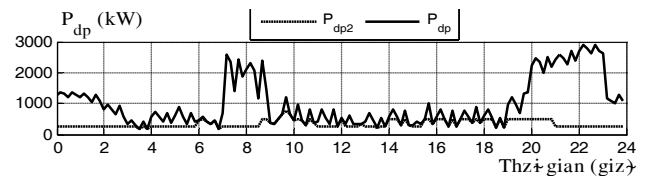
4.2. Áp dụng cho hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel trên đảo Phú Quý



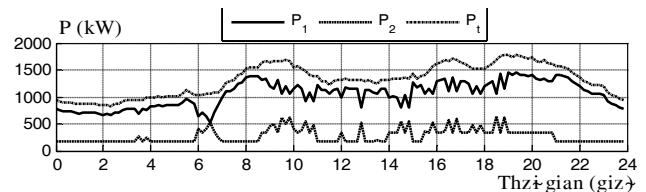
Hình 16. Biểu đồ tốc độ gió trên đảo Phú Quý ngày 13/7/2014



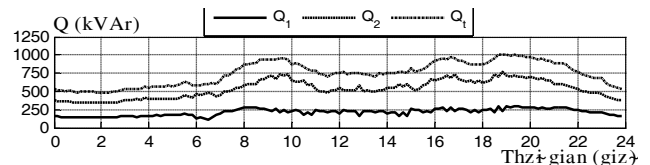
Hình 17. Số lượng máy phát tham gia vận hành



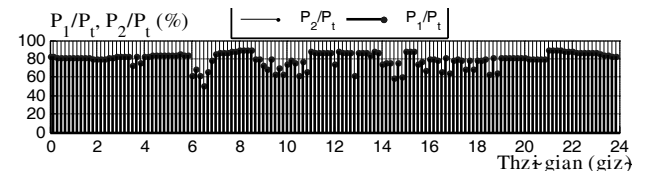
Hình 18. Biểu đồ công suất dự trữ quay trong hệ thống



Hình 19. Biểu đồ phát công suất tác dụng của hai trạm điện



Hình 20. Biểu đồ phát công suất phản kháng của hai trạm điện



Hình 21. Biểu đồ biểu diễn tỷ lệ phát công suất tác dụng của hai trạm điện

Việc áp dụng cấu trúc điều khiển đã đề xuất cho hệ thống phát điện hỗn hợp trên đảo Phú Quý được thực hiện với ngày điển hình - ngày 13/7/2014. Biểu đồ phụ tải thực tế trong ngày thể hiện trên Hình 19 tương tự với rất nhiều ngày trong mùa nắng nóng, mùa có phụ tải cao nhất. Tốc độ gió được lựa chọn trong tháng này không phải tháng có tốc độ gió tốt. Biểu đồ gió tức thời trong ngày 13/7/2014 được đo trên Hình 16 có giá trị trung bình gần với tốc độ gió trung bình trong năm trên đảo (khoảng 9 m/s [3]).

Công suất trạm điện gió có thể nhận được từ nguồn năng lượng gió thông qua các tuabin gió đang vận hành bằng lượng công suất thực phát P_1 (trên Hình 19) cộng với dự trữ quay của trạm điện gió P_{dp1} ($P_{dp1}=P_{dp}-P_{dp2}$, trên Hình 18). Có thể thấy rằng hệ thống điều khiển đã khai thác gần hết khả năng phát điện của trạm điện gió vào những giờ có tốc độ gió không quá 9 m/s. Trong thời gian này toàn bộ dự trữ quay của hệ thống do trạm điện diesel đáp ứng. Còn vào các giờ năng lượng gió thừa so với nhu cầu phụ tải (trước 3 giờ, từ 7 giờ đến 9 giờ, sau 21 giờ) thì chỉ vận hành một máy phát điện diesel để đảm bảo mức dự trữ quay tối thiểu. Riêng trường hợp từ 20 giờ đến 21 giờ cũng thừa năng lượng gió, nhưng không thể cắt giảm số máy phát điện diesel xuống còn một máy vì nhu cầu công suất phản kháng của phụ tải lớn (Hình 20).

Từ kết quả khảo sát cho thấy, vào thời điểm gió có tốc độ cao, trạm điện gió cung cấp phần lớn công suất cho phụ tải, chỉ phải huy động công suất từ trạm diesel nhiều vào thời điểm gió thấp (Hình 19). Vào các giờ gió có tốc độ cao các máy phát diesel chỉ vận hành ở mức công suất tối thiểu để tiêu thụ ít nhiên liệu diesel nhất có thể.

Vào thời điểm sau 23 giờ vì phụ tải giảm thấp, mặc dù gió có tốc độ cao, nhưng phải cắt giảm số tuabin gió xuống còn một tuabin vận hành chung với một máy phát trong trạm điện diesel (Hình 17). Trong trường hợp này không thể tạm ngừng vận hành trạm điện diesel vì một số lý do sau: các máy phát điện diesel được trang bị ở đây có chức năng thích ứng với sự thay đổi của phụ tải tốt, trong khi các tuabin gió thì ngược lại vì có quán tính lớn; trạm điện diesel được vận hành để đảm bảo dự trữ quay tối thiểu cho hệ thống và đảm nhiệm vai trò chính trong việc cung cấp công suất phản kháng cho phụ tải vì không có thiết bị bù trên lưới. Vào thời điểm trước 3 giờ cũng vận hành tương tự.

Nhìn chung, kết quả khảo sát cho thấy mức thâm nhập điện gió trung bình khoảng 80% P_t như trên Hình 21. Theo kết quả khảo sát ngày 13/7/2014, trạm điện gió cung cấp 79.88 % tổng điện năng tiêu thụ cả đảo. Trong khi đó theo số liệu thực tế cùng ngày, trạm điện diesel đã phát 82.3 % tổng điện năng tiêu thụ trên đảo. Đây là một lợi ích đáng kể, nếu áp dụng giải pháp bài báo đã đề xuất vào thực tế.

5. Kết luận

Bài báo đã xây dựng thuật toán và cấu trúc điều khiển chung cho hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel không

có thiết bị phụ trợ. Cấu trúc này điều chỉnh hệ thống theo hướng khai thác tối đa khả năng của trạm điện gió, mà vẫn thỏa mãn các điều kiện vận hành.

Kết quả nghiên cứu với đối tượng là hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel ở đảo Phú Quý cho thấy, mức thâm nhập điện gió trung bình khoảng 80% P_t . Như vậy, vận hành nhờ cấu trúc điều khiển đã đề xuất sẽ tối đa hóa lợi ích kinh tế của hệ thống.

Hướng nghiên cứu tiếp theo là triển khai ứng dụng cụ thể cấu trúc điều khiển đã đề xuất cho lưới điện trên đảo Phú Quý nhằm khai thác tối đa hiệu quả của hệ thống đã lắp đặt ở đây. Điều này cho phép khuyến nghị sử dụng cấu trúc điều khiển này cho quá trình điều khiển toàn hệ thống hỗn hợp gió – diesel trong lưới có lập tương tự nhằm tận dụng tối đa nguồn năng lượng gió.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cty TNHH 1TV năng lượng tái tạo Điện lực Dầu khí Việt Nam, Cty điện lực Bình Thuận, *Quy trình vận hành hỗn hợp gió – diesel trên đảo Phú Quý, Bình Thuận*, 2012.
- [2] Tổng công ty Điện lực miền Nam, *Tình hình đầu nối dự án nhà máy phong điện đảo Phú Quý, thành phố Hồ Chí Minh*, 2012.
- [3] Nguyen Duc Huy, Tran Nam Trung, Tran Khanh Viet Dung, Nguyen Phung Quang, Vo Hong Thai, “Solutions for local isolated grid with hybrid system”, *PetroVietnam – journal*, vol. 10, 2013, pp. 62–67.
- [4] Dinh Chung Phan and Anh Tuan Doan, “Maximum Utilization of Wind Energy in a Wind Farm and Diesel Generator-Based Isolated Grid without Energy Storage System”, *International Journal of Energy, Information and Communications*, vol. 4, no. 1, 2013, pp. 23–36.
- [5] Mustafa Kayikci and Jovica V. Milanovic, “Dynamic contribution of DFIG-based wind plants to system frequency disturbances”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, no. 2, may 2009, pp. 859–867.
- [6] Olivare Dzune Mipoung, Luiz A. C. Lopes and Pragasen Pillay, “Frequency support from a fixed-pitch type-2 wind turbine in a diesel hybrid mini-grid”, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 5, no. 1, january 2014, pp. 110–118.
- [7] R. Sebastián, R. Peña-Alzola, J. Quesada, “Peak shaving simulation in a wind diesel power system with battery energy storage”, *Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE*, 10–13 Nov. 2013, pp. 7642 – 7647.
- [8] Võ Hồng Thái, Nguyễn Đức Huy, Trần Nam Trung, “Giải pháp hoạt động hỗn hợp gió - diesel đảo Phú Quý”, *Tạp chí Dầu Khí*, số 3, 2014, trang 55–64.
- [9] Lê Thái Hiệp, Nguyễn Duy Khiêm, Nguyễn Thế Công, Lê Văn Doanh, “Tính toán lượng công suất phát cực đại của trạm điện gió trong hệ thống điện hỗn hợp gió – diesel trên đảo Phú Quý”, *Tạp chí Khoa học & Công nghệ các Trường Đại học Kỹ thuật*, số 104, 2015, trang 6–10.

(BBT nhận bài: 26/07/2015, phản biện xong: 04/09/2015)