

PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH TĨNH HỆ THỐNG ĐIỆN HỖN HỢP GIÓ – DIESEL TRÊN ĐẢO PHÚ QUÝ

SMALL-SIGNAL STABILITY ANALYSIS OF THE WIND – DIESEL ENERGY HYBRID SYSTEM ON PHUQUY ISLAND

Lê Thái Hiệp¹, Doãn Văn Đông², Nguyễn Thế Công³, Lê Văn Doanh³

¹Trường Đại học Quy Nhơn; Email: lthiep@ftt.edu.vn

²Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng; Email: dvd17285@gmail.com

³Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; Email: cong.nguyenthe@hust.edu.vn, ledoanhbk@yahoo.com

Tóm tắt - Hiện nay lưới điện trên đảo Phú Quý (Bình Thuận) là một lưới nhỏ, độc lập và được cấp nguồn từ một hệ thống điện hỗn hợp gió - diesel. Trong quá trình vận hành hệ thống này có xảy ra hiện tượng không ổn định vì các tính năng của trạm điện gió không phù hợp với lưới nhỏ và độc lập như điều khiển hỗ trợ ổn định lưới kém, công suất cực tiểu quá lớn, cài đặt chế độ không phát công suất phản kháng. Qua khảo sát lưới điện trên khi có các dao động bé như tốc độ gió thay đổi, thay đổi công suất phụ tải, dao động điện áp, dao động tần số...vv, chúng tôi xác định được vùng làm việc kém ổn định và các điều kiện biên. Dựa vào kết quả khảo sát, trong bài báo này, chúng tôi đưa ra các khuyến nghị để vận hành lưới điện ở đây tốt hơn và ổn định hơn, mà không cần thay đổi cấu trúc hoặc thêm thiết bị phụ trợ.

Từ khóa - điện gió; hệ thống điện hỗn hợp gió - diesel; ổn định; công suất; công suất phản kháng.

1. Đặt vấn đề

Hệ thống điện gió kết hợp diesel đã được xem là hệ thống điện phù hợp nhất cho các vùng sâu, vùng xa, hải đảo và được ứng dụng ở nhiều nơi trên thế giới. Tuy nhiên khi áp dụng cần có các nghiên cứu chuyên sâu để hệ thống độc lập này làm việc ổn định và mang lại hiệu quả kinh tế.

Tháng 8/2012 Tổng công ty Điện lực miền Nam (EVN SPC) cùng Công ty Năng lượng tái tạo Dầu khí Việt Nam (PV Power RE) đã thống nhất phương án vận hành hệ thống điện gió – diesel ở đảo Phú Quý trên một số nguyên tắc, trong đó quan trọng nhất là tỷ lệ phát điện gió - diesel là 50% - 50% [1],[2],[3]. Với quy trình vận hành như vậy sẽ không tận dụng tốt nguồn năng lượng gió mà tiếp tục tiêu tốn nhiên liệu diesel.

Theo các đề xuất trước kia [1] thì hệ thống điện ở đây nên được trang bị thêm các thiết bị phụ trợ để nâng tỷ lệ phát của trạm điện gió. Bài báo này nhằm mục đích đưa ra các khuyến nghị để vận hành ổn định lưới điện ở đây và có thể nâng cao được tỷ lệ công suất phát của trạm điện gió mà không cần thêm thiết bị phụ trợ.

Để giải quyết vấn đề trên, bài báo này đã khảo sát tính ổn định của hệ thống điện hỗn hợp gió - diesel ở Phú Quý. Qua đó xác định được vùng làm việc ổn định và các yếu tố ảnh hưởng lớn tới sự ổn định tĩnh của hệ thống. Từ đó đưa ra các khuyến nghị để vận hành ổn định hệ thống này.

2. Hệ thống điện gió kết hợp diesel trên đảo Phú Quý [3]

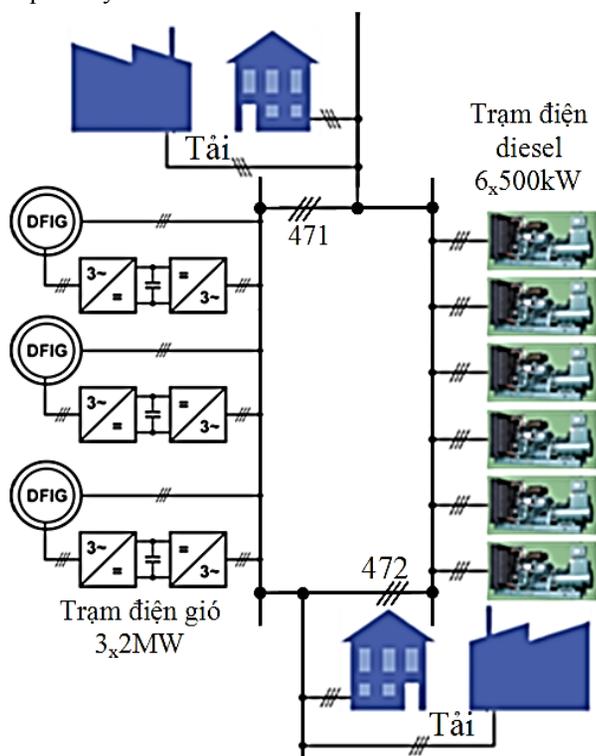
Hệ thống phát điện diesel gồm 6 máy phát loại VTA-28 được sản xuất bởi Cummin, công suất phát định mức 500kW (625kVA), điện áp đầu cực 0.4kV, hệ số công suất 0.8. Hệ thống 0.4kV này kết nối lưới 22kV thông qua 03 máy biến áp làm việc song song loại 1600kVA, 22±2x2.5/0.4kV.

Abstract - At the moment, the distribution network of PhuQuy island (BinhThuan Province) is an isolated microgrid which is only supplied from a wind – diesel hybrid energy system. In fact, the system operation has occurred unstable phenomenons, because of the wind power station is not suitable for isolated microgrid such as less stable controlling supports, too large minimum capacity, no generated reactive power set mode. After studying this grid with small fluctuations as wind speed changes, changing capacity of load, voltage fluctuations, frequency fluctuations, etc., we found less stable regions and boundary conditions. Therefore, in this paper we give recommendations to operate this grid more stable, without changing the structure or adding auxiliary equipments.

Key words - wind power; wind – diesel hybrid energy system; stability; power; reactive power.

Hệ thống 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.

Lưới điện 22kV có tổng chiều dài khoảng 21.5 km gồm hai phát tuyến 471 và 472.

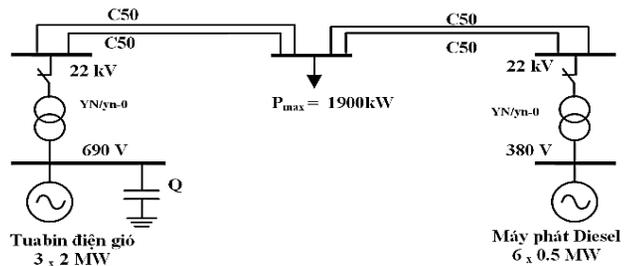


Hình 1. Hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel trên đảo Phú Quý.

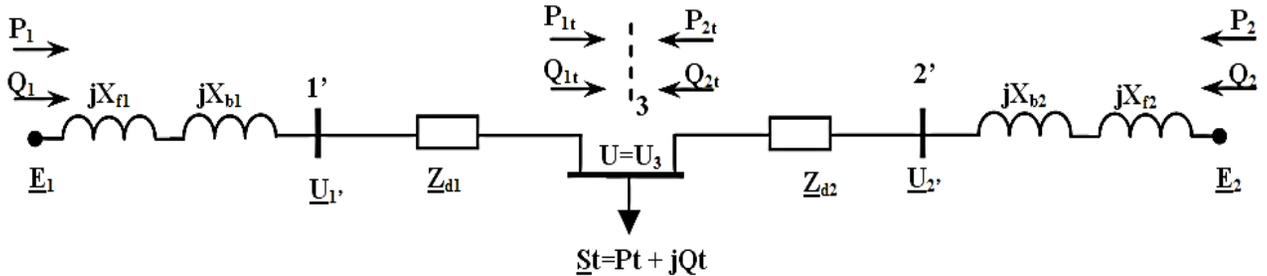
3. Phân tích quy đổi hệ thống điện về dạng đơn giản

Để thuận tiện cho việc khảo sát, trong bài báo đã quy đổi hệ thống điện thực trên đảo Phú Quý về dạng đơn giản như hình 2.

Do đường dây 22kV thường có điện dung đường dây không đáng kể, nên ở đây không xét. Tủ bù Q cung cấp vừa đủ công suất phản kháng cho máy phát điện gió, nên không xét đến ảnh hưởng trong hệ thống. Do đó trong hệ thống khảo sát chỉ bao gồm các thông số chính như Hình 3.



Hình 2. Sơ đồ đơn giản hóa hệ thống điện Phú Quý.



Hình 3. Sơ đồ mạch đơn giản hệ thống điện Phú Quý.

Bảng 1. Thông số hệ thống

Thông số	Giá trị thông số	Đơn vị
Máy phát 1 (điện gió):		
Công suất định mức	$P_{dm1}=3 \times 2000$	kW
Điện áp định mức	$U_{dm1}=690$	V
Điện kháng quá độ	$X'_{d1}=0.42$	pu
Hệ số công suất	$\cos\varphi_1=0.98$	
Hằng số thời gian quán tính	$T_{j1}=10.1$	s
Máy biến áp 1:		
Công suất định mức	$S_{ba_dm}=3 \times 2100$	kVA
Điện áp định mức	$U_{ba_dm}=0.69/22$	kV
Điện áp ngắn mạch	$U_{ba_n}=5.3$	%
Tỷ số biến áp	$k_1=22000/690$	
Đường dây 1:		
Điện trở đường dây	$r_{01}=0.3688$	Ω/km
Điện kháng đường dây	$x_{01}=0.3800$	Ω/km
Chiều dài đường dây	$l_1 \approx 6$	km
Máy phát 2 (điện diesel):		
Công suất định mức	$P_{dm2}=6 \times 500$	kW
Điện áp định mức	$U_{dm2}=380$	V
Điện kháng quá độ	$X'_{d2}=0.22$	pu
Hệ số công suất	$\cos\varphi_2=0.8$	
Hằng số thời gian quán tính	$T_{j2}=3.2$	s
Máy biến áp 2:		
Công suất định mức	$S_{ba_dm2}=3 \times 1600$	kVA
Điện áp định mức	$U_{ba_dm2}=0.4/22$	kV
Điện áp ngắn mạch	$U_{ba_n2}=4.6$	%
Tỷ số biến áp	$k_2=22000/380$	
Đường dây 2:		
Điện trở đường dây	$r_{02}=0.3688$	Ω/km
Điện kháng đường dây	$x_{02}=0.3800$	Ω/km
Chiều dài đường dây	$l_2 \approx 6$	km
Phụ tải:		
Điện áp nút tải	$U_3=22$	kV
Hệ số công suất	$\cos\varphi \approx 0.87$	

[Nguồn từ Vestas, Cummin và Dự án phong điện Phú Quý].

4. Tính toán khảo sát

4.1. Các bước tiến hành khảo sát

Việc khảo sát và xác định vùng làm việc ổn định được thực hiện qua các bước sau:

Bước 1: Tính toán xác định các thông số trạng thái của hệ thống điện trong chế độ làm việc ổn định [4],[5];

Bước 2: Tính toán xác định các đặc tính làm việc của hệ thống điện [4],[5];

Bước 3: Cho phụ tải thay đổi khảo sát ổn định theo các tiêu chuẩn Lyapunov [4],[5] và tiêu chuẩn Gidanov [4];

Bước 4: Thay đổi khả năng phát công suất phản kháng của trạm điện gió để nhận được vùng làm việc ổn định của hệ thống điện.

Trong các bước 2, 3 và 4 thì công suất của trạm điện gió được khảo sát toàn miền 0MW ÷ 6MW (sao cho thỏa mãn cân bằng công suất).

4.2. Khảo sát theo phương pháp dao động bé của Lyapunov

Hệ phương trình (1), (2) [4],[5] thể hiện quá trình quá độ của hệ thống điện. Hệ phương trình (3), (4) mô tả sự cân bằng công suất tại nút phụ tải.

$$T_{j1} \frac{d^2\delta_1}{dt^2} = P_{m1} - P_1 \tag{1}$$

$$T_{j2} \frac{d^2\delta_2}{dt^2} = P_{m2} - P_2 \tag{2}$$

$$Q_{1t} + Q_{2t} - Q_t = 0 \tag{3}$$

$$P_{1t} + P_{2t} - P_t = 0 \tag{4}$$

Tuyến tính hóa hệ phương trình (1), (2), (3), (4) theo các biến δ_1, δ_2, U và ω nhằm áp dụng phương pháp đánh giá ổn định theo xấp xỉ bậc nhất của Lyapunov, khi đó thu được hệ (5), (6), (7), (8) [4].

$$T_{j1} \frac{d^2\Delta\delta_1}{dt^2} + \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} \Delta\delta_1 + \frac{\partial P_1}{\partial U} \Delta U - \frac{\partial P_{m1}}{\partial \omega} \Delta\omega = 0 \tag{5}$$

$$T_{j2} \frac{d^2\Delta\delta_2}{dt^2} + \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} \Delta\delta_2 + \frac{\partial P_2}{\partial U} \Delta U - \frac{\partial P_{m2}}{\partial \omega} \Delta\omega = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\partial Q_{1t}}{\partial \delta_1} \Delta \delta_1 + \frac{\partial Q_{1t}}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial Q_{2t}}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial Q_{2t}}{\partial U} \Delta U - \frac{\partial Q_t}{\partial U} \Delta U - \frac{\partial Q_t}{\partial \omega} \Delta \omega = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial P_{1t}}{\partial \delta_1} \Delta \delta_1 + \frac{\partial P_{1t}}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial P_{2t}}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial P_{2t}}{\partial U} \Delta U - \frac{\partial P_t}{\partial U} \Delta U - \frac{\partial P_t}{\partial \omega} \Delta \omega = 0 \quad (8)$$

Vậy phương trình đặc trưng $D(p) = 0$ có dạng như sau [4]:

$$\begin{vmatrix} T_{11}p^2 + \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & 0 & \frac{\partial P_1}{\partial U} & -\frac{\partial P_{m1}}{\partial \omega} \\ 0 & T_{12}p^2 + \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial U} & -\frac{\partial P_{m2}}{\partial \omega} \\ \frac{\partial Q_{1t}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{2t}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{1t}}{\partial U} + \frac{\partial Q_{2t}}{\partial U} - \frac{\partial Q_t}{\partial U} & -\frac{\partial Q_t}{\partial \omega} \\ \frac{\partial P_{1t}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{2t}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{1t}}{\partial U} + \frac{\partial P_{2t}}{\partial U} - \frac{\partial P_t}{\partial U} & -\frac{\partial P_t}{\partial \omega} \end{vmatrix} = 0 \quad (9)$$

Trong định thức trên, giá trị của các đạo hàm riêng được tính từ các phương trình sau:

$$P_1 = E_1^2 y_{13} \sin \alpha_{13} + E_1 U y_{13} \sin(\delta_1 - \alpha_{13}) \quad (10)$$

$$Q_1 = E_1^2 y_{13} \cos \alpha_{13} + E_1 U y_{13} \cos(\delta_1 - \alpha_{13}) \quad (11)$$

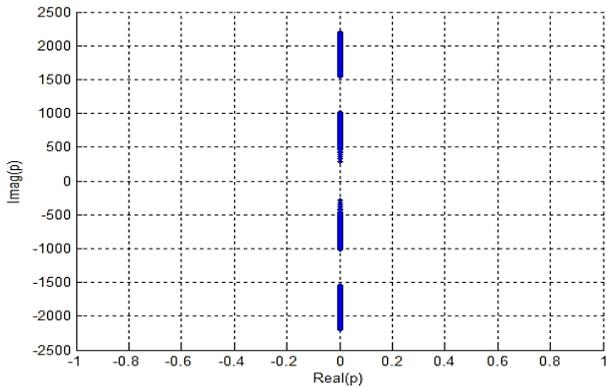
$$P_2 = E_2^2 y_{23} \sin \alpha_{23} + E_2 U y_{23} \sin(\delta_2 - \alpha_{23}) \quad (12)$$

$$Q_2 = E_2^2 y_{23} \cos \alpha_{23} + E_2 U y_{23} \cos(\delta_2 - \alpha_{23}) \quad (13)$$

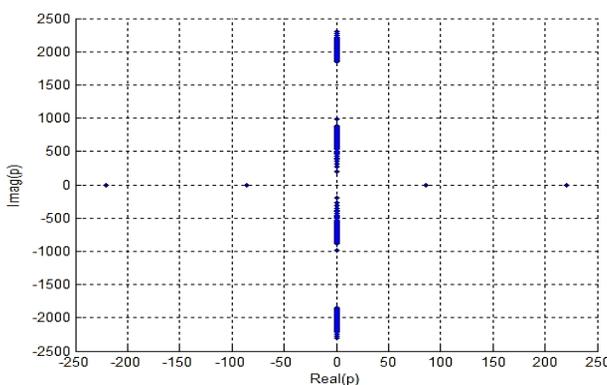
$$P_{1t} = E_1 U y_{13} \sin(\delta_1 + \alpha_{13}) - U^2 y_{13} \sin \alpha_{13} \quad (14)$$

$$Q_{1t} = E_1 U y_{13} \cos(\delta_1 + \alpha_{13}) - U^2 y_{13} \cos \alpha_{13} \quad (15)$$

$$P_{2t} = E_2 U y_{23} \sin(\delta_2 + \alpha_{23}) - U^2 y_{23} \sin \alpha_{23} \quad (16)$$



Hình 4. Khảo sát nghiệm của $D(p) = 0$ và hệ số a_n của $D(p)$ với tải $P_t = 1 \div 5.3 \text{ MW}$, $\cos \varphi = 0.87$ và $\underline{S}_I = (0 \div 5.3) + j.0 \text{ MVA}$.



Hình 5. Khảo sát nghiệm của $D(p) = 0$ và hệ số a_n của $D(p)$ với tải $P_t = 5.5 \text{ MW}$, $\cos \varphi = 0.87$ và $\underline{S}_I = (0 \div 5.5) + j.0 \text{ MVA}$.

$$Q_{2t} = E_2 U y_{23} \cos(\delta_2 + \alpha_{23}) - U^2 y_{23} \cos \alpha_{23} \quad (17)$$

Sau khi tính định thức từ phương trình đặc trưng (9) được dạng sau:

$$Ap^4 + Bp^2 + C = 0 \quad (18)$$

Giải phương trình (18) trong các trường hợp khác nhau thì được tập nghiệm phân bố trên các Hình 4 đến 7. Hệ thống sẽ ổn định khi các nghiệm p_i là các số thuần ảo.

4.3. Khảo sát ổn định theo tiêu chuẩn mất ổn định phi chu kỳ (tiêu chuẩn Gidanov)

Trong khảo sát ổn định hệ thống điện, người ta chia sự mất ổn định làm hai nhóm:

+ Mất ổn định gây ra do các thông số hệ thống thì diễn ra theo dạng phi chu kỳ (các biến trạng thái tăng vô hạn không dao động);

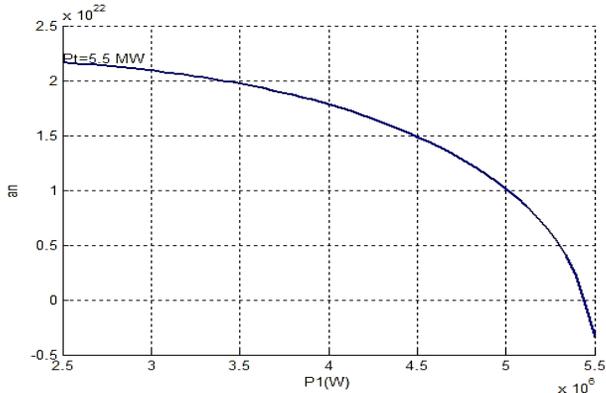
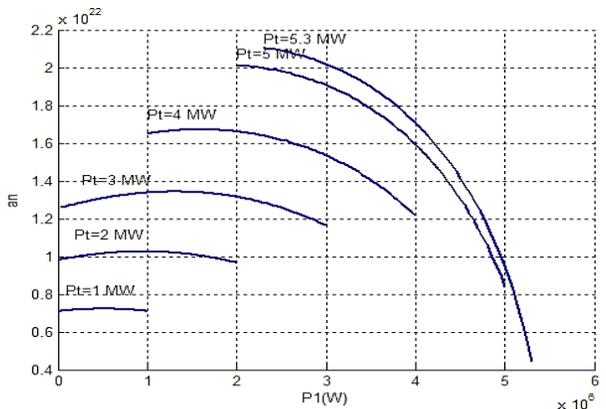
+ Mất ổn định gây ra do thông số các bộ điều chỉnh không phù hợp thì diễn ra theo dạng chu kỳ (các biến trạng thái tăng vô hạn dao động).

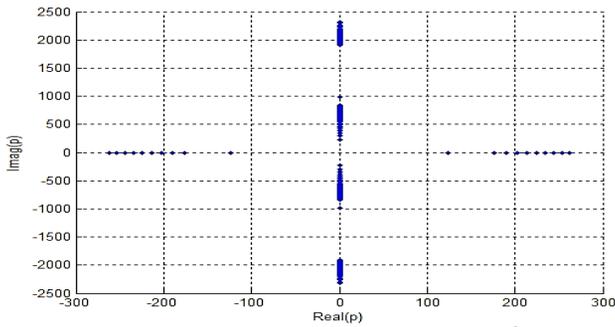
Tiêu chuẩn Gidanov được áp dụng để khảo sát ổn định khi các bộ tự động điều chỉnh trên hệ thống đang làm việc tốt.

Theo tiêu chuẩn Gidanov thì hệ thống bắt đầu chuyển từ trạng thái ổn định sang mất ổn định phi chu kỳ khi hệ số a_n trong phương trình đặc trưng (19) bắt đầu đổi dấu từ dương sang âm. Đặc điểm này có ích cho việc xác định điều kiện biên của các yếu tố ảnh hưởng đến tính ổn định của hệ thống.

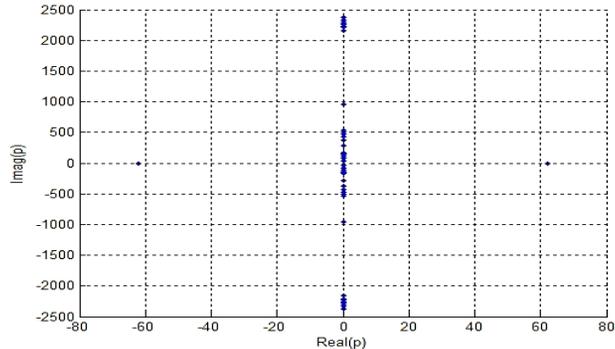
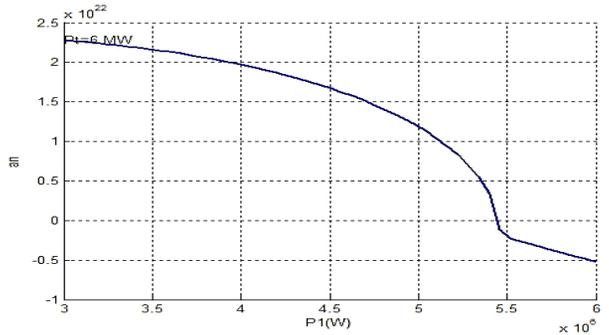
$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p^1 + a_n = 0 \quad (19)$$

5. Các kết quả khảo sát

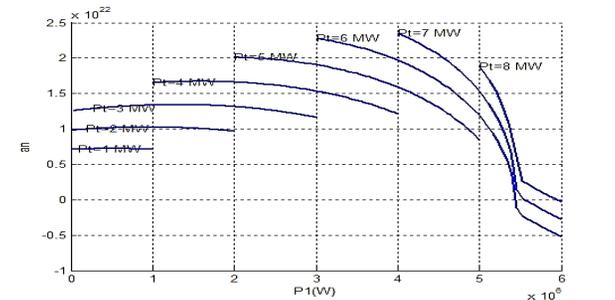
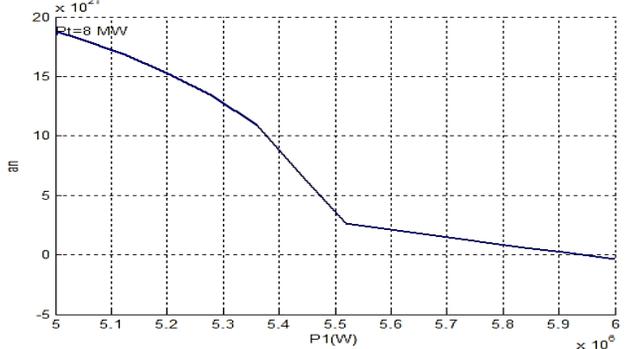




Hình 6. Khảo sát nghiệm của $D(p) = 0$ và hệ số a_n của $D(p)$ với tải $P_t = 6 \text{ MW}$, $\cos\phi = 0.87$ và $\underline{S}_l = (0 \div 6) + j.0 \text{ MVA}$.



Hình 7. Khảo sát nghiệm của $D(p) = 0$ và hệ số a_n của $D(p)$ với tải $P_t = 8 \text{ MW}$, $\cos\phi = 0.87$ và $\underline{S}_l = (0 \div 6) + j.0 \text{ MVA}$.



Hình 8. Khảo sát a_n với tải $P_t = 0 \div 8 \text{ MW}$, $\cos\phi = 0.87$ và $P_l = 0 \div 6 \text{ MW}$, $\cos\phi_{s1} = 1$.

Quá trình tính toán trên phần mềm Matlab cho các kết quả thể hiện từ Hình 4 đến Hình 10, khi công suất tải thay đổi và thay đổi công suất phát của điện gió với giả thiết (đúng với thực tế vận hành hiện nay) là điện gió không phát công suất phản kháng hoặc phát với $\cos\phi_{s1} = 0.98$.

Nếu bộ điều chỉnh điện áp các máy phát được cài đặt theo chế độ giữ điện áp đầu cực máy phát không đổi cho dù điện áp tại các nút tải có thay đổi thì kết quả khảo sát như Hình 10.

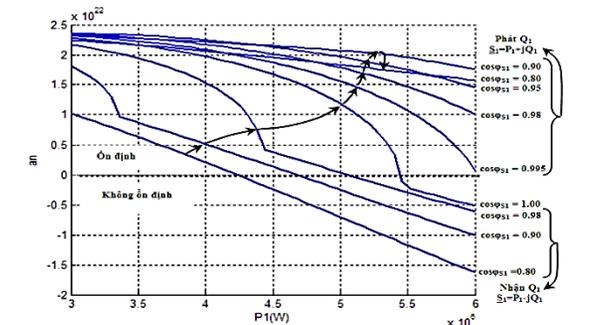
Nhận xét

Từ Hình 4 có kết luận hệ hoạt động ổn định trong dải công suất tải $P_t = 1 \div 5.3 \text{ MW}$ và với mọi công suất của trạm điện gió có thể phát.

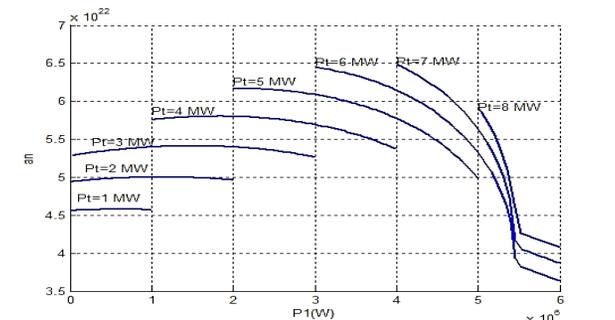
Từ các Hình 5, 6, 7 rút ra kết luận khi hệ hoạt động có xảy ra mất ổn định trong dải công suất tải $P_t = 5.5 \text{ MW}$ trở lên (với $\cos\phi = 0.87$). Ở đây cũng khảo sát với mọi khả năng phát công suất của trạm điện gió.

Từ các Hình 5, 6, 7, 8 có kết luận hệ hoạt động không ổn định trong dải công suất tải $P_t = 5.5 \text{ MW}$ trở lên (với $\cos\phi = 0.87$) tương ứng với một dải công suất của trạm điện gió $\underline{S}_l = (0.91\% \div 100\%).6 + j.0 \text{ MVA}$, nhưng hệ thống lại làm việc ổn định trong dải công suất của trạm điện gió $\underline{S}_l = (0\% \div 0.91\%).6 + j.0 \text{ MVA}$.

Phụ tải thực tế trên đảo có giá trị lớn nhất là 2 MW [1],[2] nên khi so sánh với miền khảo sát trên Hình 4 ta thấy hệ thống làm việc hoàn toàn ổn định tĩnh với mọi khả năng phát công suất của trạm điện gió. Ổn định tĩnh là một thuộc tính của cấu trúc hệ thống [4], nên khi hệ thống đã ổn định tĩnh thì có thể đảm bảo được ổn định động thông qua các thiết bị bảo vệ sự cố tác động nhanh, sử dụng thiết bị tự động đóng trở lại đường dây có ngắn mạch thoáng qua, điều khiển tốt các thiết bị bù. Điều này cho phép nâng cao tỷ lệ điện gió so với diesel lên trên 50% tổng công suất phát nhằm tiết kiệm nhiên liệu diesel. Đã có những chứng



Hình 9. Khảo sát a_n với tải $P_t = 6 \text{ MW}$, $\cos\phi = 0.87$ và $P_l = 0 \div 6 \text{ MW}$.



Hình 10. Khảo sát a_n với tải $P_t = 1 \div 8 \text{ MW}$, $\cos\phi = 0.87$ và $P_l = 0 \div 6 \text{ MW}$, $\cos\phi_{s1} = 1$ khi giữ điện áp đầu cực các máy phát không đổi.

minh cho thấy hệ thống vận hành với tỷ lệ điện gió – diesel 70%-30% vẫn đảm bảo ổn định [1].

Từ Hình 9 nhận thấy nếu trạm điện gió phát thêm công suất phản kháng $\underline{S}_1 = P_1 + j.Q_1$ với $\cos\varphi_{S1} = 0.995$ trở đi (theo chiều mũi tên) thì hệ thống làm việc hoàn toàn ổn định. Dù rằng khi xem xét ở giá trị $\cos\varphi_{S1}$ rất thấp theo hướng phát công suất phản kháng thì có xảy ra mất ổn định, nhưng lúc này Q_1 rất lớn, đây là điều không thể có trong hệ thống điện gió sử dụng máy phát DFIG. Còn nếu trạm điện gió phải nhận công suất phản kháng $\underline{S}_1 = P_1 - j.Q_1$ thì hệ không ổn định ở vùng trạm điện gió phát công suất lớn.

6. Kết luận

Trong bài báo này đã xem xét, xác định được rằng khả năng phát công suất phản kháng của các nguồn điện có vai trò quan trọng trong ổn định hệ thống điện và đề xuất yêu cầu trạm điện gió phải phát công suất phản kháng với $\cos\varphi_{S1}$ hợp lý là từ 0.98 đến 0.80 tùy nhu cầu của phụ tải.

Đồng thời bài báo cũng đề xuất các bộ điều chỉnh điện áp của các máy phát phải được cài đặt theo chế độ giữ điện áp đầu cực máy phát không đổi cho dù điện áp tại các nút tải có thay đổi.

Qua phân tích trong bài báo, chúng tôi thấy hoàn toàn có thể nâng tỷ lệ phát điện gió – diesel lên 70%-30% sau khi phối hợp các điều chỉnh đã nêu nhằm giảm tiêu tốn diesel và bảo vệ môi trường.

Việc chứng minh tỷ lệ điện gió so với diesel hợp lý nhất mà vẫn đảm bảo ổn định động trong vận hành tại các hệ thống điện hỗn hợp gió – diesel cấp nguồn cho lưới nhỏ cô lập là một hướng nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 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.
- [2] EVN SPC, *Vận hành hệ thống hỗn hợp Diesel-gió trên đảo Phú Quý*, [online]
- [3] <http://pctayninh.evnspec.vn/index.php/gioi-thieu-cty/810-vn-hanh-h-thng-hn-hp-diesel-gio-tren-o-phu-quy>
- [4] Công ty TNHH ITV năng lượng tái tạo Điện lực Dầu khí Việt Nam, (2012) Công ty điện lực Bình Thuận, *Quy trình vận hành hỗn hợp gió – diesel trên đảo Phú Quý*, Bình Thuận.
- [5] GS. TS. Lê Văn Út, (2011) *Phân tích và điều khiển ổn định hệ thống điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [6] Mrinal K Pal, (2007) *Power System Stability*, Edison, New Jersey.

(BBT nhận bài: 12/03/2014, phân biên xong: 06/05/2014)