



ISO 9001:2008

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH
HỘI ĐỒNG KHOA HỌC

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU KHOA HỌC CẤP TRƯỜNG

TÊN ĐỀ TÀI

CHIẾN LƯỢC ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ
CHO CÁC HỆ CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG GIÓ

Chủ nhiệm đề tài: NGUYỄN MINH HÒA
Chức danh: Giảng viên
Đơn vị: Khoa Kỹ thuật và Công nghệ

Trà Vinh, ngày 25 tháng 7 năm 2017



ISO 9001:2008

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH
HỘI ĐỒNG KHOA HỌC

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU KHOA HỌC CẤP TRƯỜNG

TÊN ĐỀ TÀI

CHIẾN LƯỢC ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ
CHO CÁC HỆ CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG GIÓ

Xác nhận của cơ quan chủ quản
(Ký, đóng dấu, ghi rõ họ tên)

Chủ nhiệm đề tài
(Ký, ghi rõ họ tên)

NGUYỄN MINH HÒA

Trà Vinh, ngày 25 tháng 7 năm 2017

TÓM TẮT

Năng lượng gió là một trong những nguồn năng lượng tái tạo quan trọng. Trong vài thập kỷ qua năng lượng gió phát triển rất mạnh và hiện đang là nguồn năng lượng tái tạo có tốc độ phát triển nhanh nhất. Năng lượng gió được chuyển đổi sang năng lượng điện nhờ các hệ thống chuyển đổi năng lượng gió hay các tuabin gió. Tùy theo trạng thái nổi lưới mà hệ thống năng lượng gió có thể được chia làm hai loại: hệ thống năng lượng gió nổi lưới và hệ thống năng lượng gió độc lập (SWES). Ngày nay phần lớn các hệ thống năng lượng gió được nổi lưới. Tuy nhiên nhu cầu sử dụng các hệ thống năng lượng gió độc lập vẫn còn rất lớn, đặc biệt là cung cấp điện cho các ứng dụng có quy mô công suất nhỏ hoặc sử dụng ở các vùng sâu, xa, hải đảo nơi các lưới điện không truyền tới. Các SWES thường được kết nối với các nguồn năng lượng dự phòng khác như hệ thống ắc quy dự phòng, hệ thống máy phát điện dùng dầu diesel,... để đảm bảo quá trình cung cấp điện của SWES được liên tục. Vì vậy hệ thống điều khiển đối với các SWES thường rất phức tạp vì phải đáp ứng đồng thời hai yêu cầu điều khiển cơ bản: (1) đảm bảo tối đa hóa năng lượng gió chuyển đổi được; (2) đảm bảo phối hợp công suất chặt chẽ, nhịp nhàng giữa các nguồn năng lượng khác nhau trong các SWES. Đề tài này trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển thích nghi dùng để tối ưu hóa quá trình chuyển đổi năng lượng cho các hệ thống năng lượng gió độc lập (SWES) sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Bộ điều khiển thích nghi được thiết kế dựa trên phân tích ổn định Lyapunov và được xấp xỉ bằng hệ thống mờ hoặc mạng nơron hàm cơ sở xuyên tâm (RBF). Toàn bộ hệ thống bao gồm hệ thống năng lượng gió độc lập và bộ điều khiển được thực thi và mô phỏng trên Matlab và Simulink để kiểm chứng hiệu quả hoạt động của bộ điều khiển thích nghi. Ngoài ra, kết quả mô phỏng của bộ điều khiển thích nghi cũng được so sánh với bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp để chứng minh tính ưu việt của phương pháp điều khiển thích nghi được đề xuất trong bài báo này.

MỤC LỤC

Phần mở đầu	1
1. Tổng quan nghiên cứu	1
1.1. Tình hình nghiên cứu trong nước	1
1.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước	3
2. Mục tiêu	3
3. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu	4
3.1. Đối tượng nghiên cứu	4
3.2. Phạm vi nghiên cứu	4
3.3. Phương pháp nghiên cứu	4
Phần nội dung	5
Chương 1: Giới thiệu về năng lượng gió	5
1. Giới thiệu về nguồn năng lượng gió	5
2. Các hệ thống năng lượng gió	7
2.1. Các thành phần cơ bản của tuabin gió	7
2.1.1. Hệ thống rotor	8
2.1.2. Hệ thống truyền động	8
2.1.3. Máy phát điện	8
2.1.4. Các bộ phận cấu tạo khác	8
3. Phân loại tuabin gió	8
3.1. Phân loại theo trục quay của rotor	9
3.1.1. Tuabin gió trục ngang (HAWT)	9
3.1.2. Tuabin gió trục đứng (VAWT)	9
3.2. Phân loại theo trạng thái nổi lưới	10
3.2.1. Tuabin gió nổi lưới	10
3.2.2. Tuabin gió độc lập	10

3.3. Phân theo công nghệ điều khiển	10
3.3.1. Điều khiển vận tốc.....	11
3.3.2. Điều khiển công suất.....	11
Chương 2: Mô hình hóa hệ thống năng lượng gió độc lập	13
1. Mô hình hóa khí động lực học của tuabin gió.....	13
2. Mô hình hóa bộ truyền động	15
3. Mô hình hóa máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu.....	16
4. Mô hình động học của hệ thống năng lượng gió độc lập.....	18
Chương 3: Điều khiển hệ thống năng lượng gió độc lập	20
1. Phương pháp điều khiển thích nghi.....	20
1.1. Thiết kế điều khiển thích nghi dựa vào tuyến tính hóa hồi tiếp.....	20
1.2. Thiết kế luật thích nghi	22
1.3. Thiết kế bộ điều khiển trượt.....	23
2. Thiết kế điều khiển thích nghi cho hệ thống năng lượng gió độc lập.....	24
2.1. Dùng hệ mờ để xấp xỉ tín hiệu điều khiển lý tưởng.....	24
2.2. Dùng mạng nơron RBF để xấp xỉ tín hiệu điều khiển lý tưởng.....	26
3. Mô phỏng hệ thống	27
Chương 4: Phân tích kết quả mô phỏng	29
1. Mô phỏng vận tốc gió thay đổi ngẫu nhiên.....	29
2. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển thích nghi mờ.....	29
3. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển thích nghi mạng nơron.....	32
4. Phân tích kết quả mô phỏng điều khiển thích nghi.....	34
5. So sánh điều khiển thích nghi mờ và điều khiển thích nghi mạng nơron	35
Phân kết luận	36
1. Kết luận	36
2. Kiến nghị.....	36

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

Các từ viết tắt

PMSG	Máy phát điện nam châm vĩnh cửu
SWES	Hệ thống năng lượng gió độc lập
WT	Tuabin gió
MPPT	Bám điểm công suất cực đại
FL	Logic mờ
NN	Mạng nơron
RBF	Hàm cơ sở xuyên tâm
PID	Vi tích phân tỉ lệ
SISO	Một đầu vào-Một đầu ra
FAC	Bộ điều khiển thích nghi mờ
NNAC	Bộ điều khiển thích nghi nơron
NFLC	Bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp phi tuyến

Các ký hiệu

λ, λ^*	Tỉ số vận tốc rìa và tỉ số vận tốc rìa tối ưu [-]
β	Góc chúc ngóc [-]
T_r	Mô men xoắn của tuabin gió [Nm]
P_r	Công suất cơ chuyển đổi của tuabin gió [W]
C_Q	Hệ số mô men [-]
C_P	Hệ số công suất chuyển đổi [-]
C_{Pmax}	Hệ số công suất chuyển đổi cực đại [-]
$\alpha_{i(i=1...6)}$	Hệ số đa thức mô tả hàm hệ số mô men [-]
R	Bán kính vòng quét của tuabin gió [m]

V	Vận tốc gió [m/s]
ρ	Mật độ không khí [kg/m^3]
ω_r	Vận tốc góc của tuabin gió [rad/s]
ω_g	Vận tốc góc của máy phát [rad/s]
J_h	Quán tính tương đương của bộ truyền động [$kg.m^2$]
i	Hệ số nhân vận tốc của bộ truyền động [-]
η	Hiệu suất của bộ truyền động [-]
i_d, i_q	Dòng điện d, q của stator [A]
L_d, L_q	Điện cảm d, q của stator [H]
R_s	Điện trở của stator [Ω]
R_L	Điện trở tương đương [Ω]
L_L	Điện cảm tải tương đương [H]
p	Số cặp cực [-]
Φ_m	Từ thông của stator [Wb]
r	Bậc tương đối của hệ thống phi tuyến [-]
$\alpha(x), \beta(x)$	Các hàm phi tuyến trong tín hiệu điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp
β_a, β_b	Giới hạn dưới và trên của hàm $\beta(x)$
β_v	Giới hạn tốc độ của hàm $\beta(x)$
e_0	Sai số đầu ra
e_s	Sai số bám
γ	Hệ số sai số bám
k_i	Các hệ số đa thức đặc trưng của sai số bám
$u^*(x)$	Tín hiệu điều khiển lý tưởng
$\hat{u}(x)$	Tín hiệu điều khiển xấp xỉ
u_s	Tín hiệu điều khiển giám sát
θ_u	Vectơ tham số

θ_u^*	Vectơ tham số tối ưu
$\xi_u(x)$	Vectơ hồi quy hoặc hàm cơ sở xuyên tâm
$\tilde{\theta}_u$	Sai số xấp xỉ
Q_u	Tốc độ học

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Tên bảng	Trang
Bảng 1: Các thông số mô phỏng	27

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Tên hình ảnh	Trang
Hình 1: Mô tả gió có vận tốc trung bình theo phân bố Weibull	5
Hình 2: Mối quan hệ giữa mật độ năng lượng và vận tốc gió	6
Hình 3: Các thành phần cấu tạo cơ bản của một tuabin gió	7
Hình 4: Tuabin gió trục ngang và tuabin gió trục dọc	9
Hình 5: Vùng hoạt động dưới tải và đầy tải của tuabin gió	11
Hình 6: Sơ đồ khối mô hình hóa hệ thống năng lượng gió	13
Hình 7: Khối khí động lực học của tuabin gió	14
Hình 8: Sơ đồ khối của bộ truyền động	15
Hình 9: Mô hình cứng của bộ truyền động	15
Hình 10: Mô hình hệ thống chuyển đổi năng lượng gió độc lập	17
Hình 11: Số lượng và hình dạng các tập mờ của x_3	25
Hình 12: Hệ điều khiển thích nghi mờ cho SWES	26
Hình 13: Cấu trúc mạng nơron RBF dùng để xấp xỉ $\hat{u}(x)$	26
Hình 14: Mô phỏng hệ thống điều khiển thích nghi cho SWES trong Simulink	27
Hình 15: Mô phỏng vận tốc gió thay đổi ngẫu nhiên	29
Hình 16: So sánh đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	30
Hình 17: So sánh sai số bám của bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	30
Hình 18: So sánh tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	31
Hình 19: So sánh khả năng duy trì tỉ số vận tốc rìa tối ưu của bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	31
Hình 20: So sánh khả năng duy trì hệ số công suất chuyển đổi tối ưu của bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	32
Hình 21: So sánh đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	32
Hình 22: So sánh sai số bám của bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	33
Hình 23: So sánh tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	33
Hình 24: So sánh khả năng duy trì tỉ số vận tốc rìa tối ưu của bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	34
Hình 25: So sánh khả năng duy trì hệ số công suất chuyển đổi tối ưu của bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp	34

LỜI CẢM ƠN

Đề tài này nằm trong đợt đầu tiên của chủ trương thí điểm khoán kinh phí nghiên cứu khoa học cho các khoa của Trường Đại học Trà Vinh. Đề tài là kết quả nỗ lực nghiên cứu nghiêm túc của tác giả trong nhiều tháng tại Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh với sự tham gia phối hợp của **GS. Desineni Subbaram Naidu**, Bộ môn Kỹ thuật điện và máy tính, Trường Đại học bang Minnesota tại Deluth (UMD), Hoa Kỳ. Tuy thời gian nghiên cứu tương đối ngắn nhưng đề tài đã cơ bản đạt được những mục tiêu đã đề ra. Vì vậy, chủ nhiệm đề tài xin chân thành cảm ơn **GS. Desineni Subbaram Naidu** đã thảo luận các ý tưởng nghiên cứu và cung cấp tài liệu tham khảo cho đề tài. Chủ nhiệm đề tài cũng cảm ơn học viên cao học **Huỳnh Minh Toàn** đã cùng tham gia nghiên cứu trong quá trình thực hiện đề tài này.

Đề tài cũng có sự đóng góp và tham gia hỗ trợ từ các cán bộ, nhân viên của Văn phòng khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh bao gồm các **Cô Đặng Thị Hồng Diễm, Cô Trịnh Thị Anh Duyên**, và Thầy **Nguyễn Thái Sơn**.

Nhân đây tác giả đề tài cũng xin chân thành cảm ơn **Ban Giám hiệu** và **Phòng Khoa học Công nghệ** đã có chủ trương đúng đắn, tạo điều kiện thúc đẩy nghiên cứu khoa học cho các khoa. Ngoài ra, các tác giả cũng xin cảm ơn **Phòng Kế hoạch - Tài vụ** đã tạo điều kiện thuận lợi trong thực hiện các thủ tục tài chính của đề tài.

Chủ nhiệm đề tài

Nguyễn Minh Hòa

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tổng quan nghiên cứu

Năng lượng gió là một trong những nguồn năng lượng tái tạo quan trọng. Trong vài thập kỷ qua năng lượng gió phát triển rất mạnh và hiện đang là nguồn năng lượng tái tạo có tốc độ phát triển nhanh nhất [1].

Năng lượng gió được chuyển đổi sang năng lượng điện nhờ các hệ thống chuyển đổi năng lượng gió hay các tuabin gió. Tùy theo trạng thái nối lưới mà hệ thống năng lượng gió có thể được chia làm hai loại: hệ thống năng lượng gió nối lưới và hệ thống năng lượng gió độc lập (SWES). Ngày nay phần lớn các hệ thống năng lượng gió được nối lưới. Tuy nhiên nhu cầu sử dụng các hệ thống năng lượng gió độc lập vẫn còn rất lớn, đặc biệt là cung cấp điện cho các ứng dụng có quy mô công suất nhỏ hoặc sử dụng ở các vùng sâu, xa, hải đảo nơi các lưới điện không truyền tới.

Các SWES thường được kết nối với các nguồn năng lượng dự phòng khác như hệ thống ắc quy dự phòng, hệ thống máy phát điện dùng dầu diesel,... để đảm bảo quá trình cung cấp điện của SWES được liên tục. Vì vậy hệ thống điều khiển đối với các SWES thường rất phức tạp vì phải đáp ứng đồng thời hai yêu cầu điều khiển cơ bản: (1) đảm bảo tối đa hóa năng lượng gió chuyển đổi được; (2) đảm bảo phối hợp công suất chặt chẽ, nhịp nhàng giữa các nguồn năng lượng khác nhau trong các SWES.

Nhiều nghiên cứu về thiết kế hệ thống điều khiển cho các SWES đã được công bố trên các tạp chí khoa học, hội nghị khoa học trong nước và quốc tế. Các nghiên cứu này có thể được tóm tắt như sau:

1.1. Tình hình nghiên cứu trong nước

Nghiên cứu về năng lượng gió đã được sự quan tâm của cộng đồng nghiên cứu trong nước vào những năm gần đây, điển hình như các bài báo [18-22]. Trong đó tác giả Nguyễn Văn Đoài [22] nghiên cứu về vấn đề tối ưu hóa cách bố trí xây dựng các tuabin gió của các nhà máy điện gió sao cho tối ưu hóa năng lượng chuyển đổi bằng cách phân tích và đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến sản lượng điện đầu ra của các nhà máy điện gió. Vấn đề kết nối vào lưới yếu của các

tuabin gió cũng được nghiên cứu trong các bài báo [18,21]. Hai tác giả *Phan Đình Chung* và *Lưu Ngọc An* trong bài báo [18] đã tiến hành nghiên cứu so sánh khả năng kết nối lưới yếu của 3 loại tuabin gió gồm tuabin gió sử dụng máy phát không đồng bộ SCIG, máy phát không đồng bộ DFIG và máy phát với bộ biến tần toàn phần. Bài báo chỉ ra tỷ số ngắn mạch (SCR) tối thiểu để các nhà máy có thể làm việc ổn định ở cả chế độ bình thường và sự cố. Ngoài ra, bài báo cũng đưa ra được giới hạn thời gian duy trì sự cố trên lưới đối với các nhà máy điện gió và các điểm cần phải khắc phục đối với các nhà máy điện gió khi có sự cố xảy ra trên lưới. Từ kết quả so sánh, ở điều kiện lưới yếu thì nhà máy điện gió nên sử dụng loại máy phát DFIG ở chế độ điều khiển điện áp sẽ tốt hơn so với các nhà máy còn lại. Nếu nhà máy phải sử dụng máy phát với bộ biến tần toàn phần thì phía GSC nên điều khiển điện áp. Trường hợp nhà máy điện gió phải sử dụng máy phát SCIG thì nên lắp đặt STATCOM thay vì sử dụng tụ bù tĩnh. Cũng quan tâm về vấn đề nối lưới yếu cho các tuabin gió, hai tác giả *Trương Thị Hoa* và *Ngô Văn Dưỡng* nghiên cứu đề xuất giải pháp điều khiển công suất phản kháng cho các tuabin gió sử dụng máy phát nam châm vĩnh cửu để ổn định điện áp trong các trường hợp sự cố. Giải pháp đề xuất cho phép điều khiển nhanh lượng công suất phản kháng phát cho lưới để cải thiện đặc tính sụp đổ điện áp, nâng cao khả năng ổn định cho hệ thống sau sự cố. Hiệu quả của sơ đồ điều khiển đề xuất ở đây được chứng minh thông qua các kết quả mô phỏng so sánh với sơ đồ điều khiển truyền thống. Qua đó cho thấy, những đáp ứng điện áp và công suất phản kháng một cách nhanh chóng và chính xác, giúp tăng cường khả năng vượt qua sự cố của hệ thống tuabin gió sử dụng PMSG khi được kết nối vào lưới yếu mà không cần lắp đặt thêm bất kì thiết bị hỗ trợ nào. Đặc biệt nghiên cứu về hệ thống năng lượng gió độc lập có các công trình [19,20], trong đó công trình [19] nghiên cứu giải pháp vận hành hệ thống phát điện hỗn hợp gió-diesel trong lưới cô lập sao cho tiết kiệm nguồn năng lượng thừa từ máy phát diesel. Bài báo đề xuất vận hành một số máy điện đồng bộ trong điện diesel ở chế độ động cơ bù để cung cấp công suất phản kháng và cả dự trữ quay. Các tác giả bài báo đã tính toán mô phỏng trên *Matlab* để đánh giá hiệu quả của đề xuất với hệ thống phát điện hỗn hợp gió – diesel ở đảo Phú Quý. Kết quả phân tích cho thấy hiệu quả giảm tiêu hao nhiên liệu diesel rất đáng kể. Tương tự, tác giả *Lê Kim Anh* và các cộng sự đã nghiên cứu hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp với nguồn pin mặt trời và pin nhiên liệu để tối ưu hóa năng

lượng chuyển đổi từ các nguồn một cách chủ động. Phương pháp điều khiển trong bài báo này là phương pháp điều khiển bám điểm công suất cực đại MPPT.

1.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Khác với tình hình nghiên cứu trong nước, các nghiên cứu về hệ thống điều khiển cho các SWES trên thế giới nhiều hơn và đa dạng hơn. Các tác giả trong các bài báo [2-4] tập trung nghiên cứu các phương pháp điều phối dòng công suất từ tuabin gió và các nguồn công suất dự phòng nhằm đảm bảo nguồn cung cấp điện từ SWES liên tục, ổn định trong điều kiện tải và tốc độ gió thay đổi liên tục, đôi khi không dự báo được. Các bài báo [5-10] tập trung nghiên cứu các phương pháp tối ưu hóa quá trình chuyển đổi năng lượng từ gió. Phương pháp thông dụng nhất là phương pháp điều khiển bám điểm công suất cực đại [5-9]. Phương pháp này có ưu điểm là đơn giản, không cần xây dựng mô hình toán của hệ thống. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là đáp ứng chậm và độ chính xác không cao nên quá trình chuyển đổi năng lượng gió không đảm bảo yêu cầu tối ưu. Một phương pháp điều khiển khác được đề xuất trong công trình nghiên cứu [10] là phương pháp điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp. Ưu điểm của phương pháp này là luôn đảm bảo tối ưu hóa quá trình chuyển đổi năng lượng gió. Tuy nhiên phương pháp này yêu cầu phải xây dựng được mô hình phi tuyến của hệ thống SWES. Ngoài ra phương pháp này khá nhạy cảm với sai số mô hình hóa và sự thay đổi theo thời gian của các thông số vật lý bên trong hệ thống SWES. Để khắc phục các nhược điểm của phương pháp điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp, các tác giả trong [11-16] đã đề xuất phương pháp điều khiển thích nghi cho các hệ thống năng lượng gió. Tuy nhiên phần lớn các bài báo này đều nghiên cứu xây dựng bộ điều khiển thích nghi dựa trên cấu trúc vi tích phân tỉ lệ (PID) dùng logic mờ [11,12] hoặc mạng nơron nhân tạo [13-16] để hiệu chỉnh các thông số của bộ điều khiển PID truyền thống.

2. Mục tiêu

Mục tiêu tổng quát của đề tài này thiết kế bộ điều khiển thích nghi dựa vào cấu trúc bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp với luật điều khiển thích nghi được rút ra từ phân tích ổn định *Lyapunov*. Bộ điều khiển này được áp dụng để tối ưu hóa chuyển đổi năng lượng gió cho các SWES sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Trên cơ sở mục tiêu tổng quát, các mục tiêu cụ thể có thể được trình bày như sau:

1. Xây dựng mô hình động học phi tuyến của một hệ thống năng lượng gió độc lập.
2. Nghiên cứu đề xuất phương pháp pháp điều khiển thích nghi mờ cho các hệ thống năng lượng gió độc lập.
3. Áp dụng thành công phương pháp điều khiển thích nghi mờ *trực tiếp* vào hệ thống năng lượng gió đề xuất.

3. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu trong đề tài này là một hệ thống năng lượng gió độc lập sử dụng máy phát điện nam châm vĩnh cửu có công suất 3 KW. Tuabin gió có hệ số công suất chuyển đổi cực đại là 0,478 và tỉ số vận tốc rìa tối ưu là 7.

3.2. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu giới hạn trong phạm vi các hệ thống năng lượng gió sử dụng máy phát nam châm vĩnh cửu. Đối với các máy phát điện loại khác chẳng hạn như máy phát điện bất đồng bộ lồng sóc hoặc máy phát điện bất đồng bộ kết nối kép không thuộc phạm vi của nghiên cứu. Ngoài ra nghiên cứu này chỉ đề xuất phương pháp điều khiển thích nghi và kiểm chứng kết quả thông qua các mô phỏng trên máy tính. Việc kiểm tra hiệu quả của phương pháp điều khiển thích nghi có thể được kiểm chứng qua các nghiên cứu thực nghiệm khác.

3.3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu chủ yếu là phân tích, thiết kế trên lý thuyết và kiểm chứng kết quả thông qua mô phỏng trên máy tính.

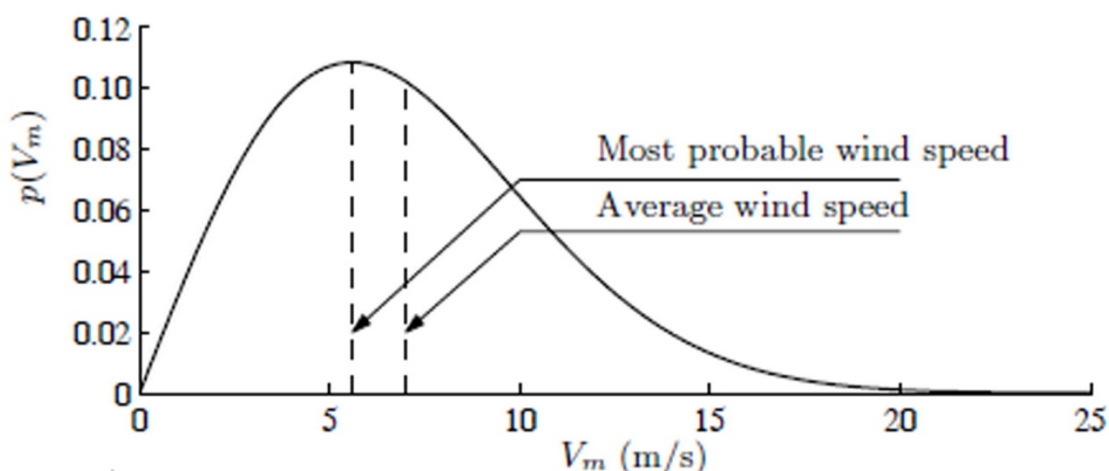
PHẦN NỘI DUNG

Chương 1 GIỚI THIỆU VỀ NĂNG LƯỢNG GIÓ

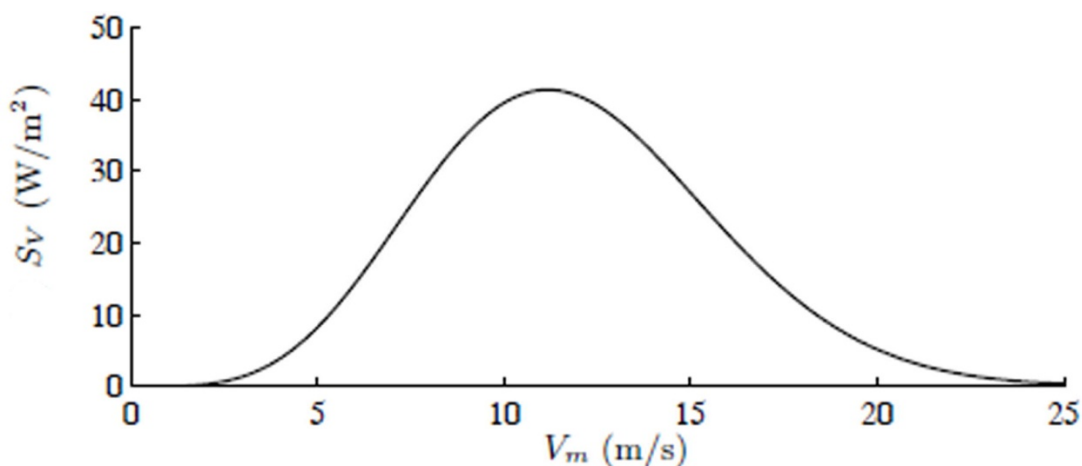
1. Giới thiệu về nguồn năng lượng gió

Gió có đặc điểm là luôn thay đổi theo không gian và thời gian. Vì vậy, trước khi lắp đặt các tuabin gió thì chúng ta cần phải khảo sát kỹ càng các đặc điểm của gió tại vùng mong muốn lắp đặt các nhà máy điện gió. Xét về yếu tố thời gian, gió có 3 chu kỳ cơ bản: chu kỳ lớn, chu kỳ trung bình, và chu kỳ ngắn. Chu kỳ gió dài có thể là một năm hoặc một thập kỷ. Chu kỳ gió trung bình được tính theo mùa. Vì vậy thành phần gió thay đổi theo mùa có thể được dự báo bằng các công cụ thống kê dựa vào dữ liệu gió đo lường được. Chu kỳ gió ngắn, gọi là gió giật, có thể đo bằng phút hoặc giây.

Thành phần gió có chu kỳ trung bình thường được mô tả bằng phân bố Weibull như được minh họa trong Hình 1.



Hình 1: Mô tả gió có vận tốc trung bình theo phân bố Weibull



Hình 2: Mối quan hệ giữa mật độ năng lượng và vận tốc gió

Phân bố Weibull có công thức toán học được mô tả như sau:

$$p(V_m) = \frac{k}{c} \left(\frac{V_m}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V_m}{c}\right)^k} \quad (1)$$

Trong đó V_m là vận tốc gió trung bình, $p(V_m)$ là hàm phân bố xác suất, k, c lần lượt là các hệ số hình dạng và thời gian. Các vùng địa lý khác nhau có phân bố Weibull khác nhau. Vì vậy các hệ số k, c được hiệu chỉnh sao phù hợp với dữ liệu gió đo lường được tại từng vùng địa lý. Hình 1 cho thấy vận tốc gió thấp (5 m/s) xảy ra thường xuyên hơn, vận tốc gió thấp hoặc cao hơn thì ít xảy ra hơn. Một điều thú vị là mật độ năng lượng gió không thay đổi theo vận tốc gió (Hình 2), nghĩa là không phải vận tốc gió cao thì mật độ năng lượng gió cao. Mật độ năng lượng gió cao nhất là ở khoảng vận tốc 10-13 m/s. Đây là yếu tố quan trọng để định vị các nhà máy điện gió.

Năng lượng gió là một trong nguồn năng lượng tái tạo có tốc độ phát triển nhanh nhất trong những năm gần đây bởi năng lượng gió có các ưu điểm sau:

- Năng lượng gió là năng lượng sạch.
- Năng lượng gió có mặt khắp nơi trên trái đất.
- Năng lượng gió tương đối rẻ hơn các nguồn năng lượng tái tạo khác.
- Năng lượng gió có thể được sản xuất và cung cấp điện cho các khu vực xa xôi nơi các lưới điện không nối tới được.

Tuy nhiên năng lượng gió cũng có các khuyết điểm sau:

- Năng lượng gió có chi phí đầu tư ban đầu cao

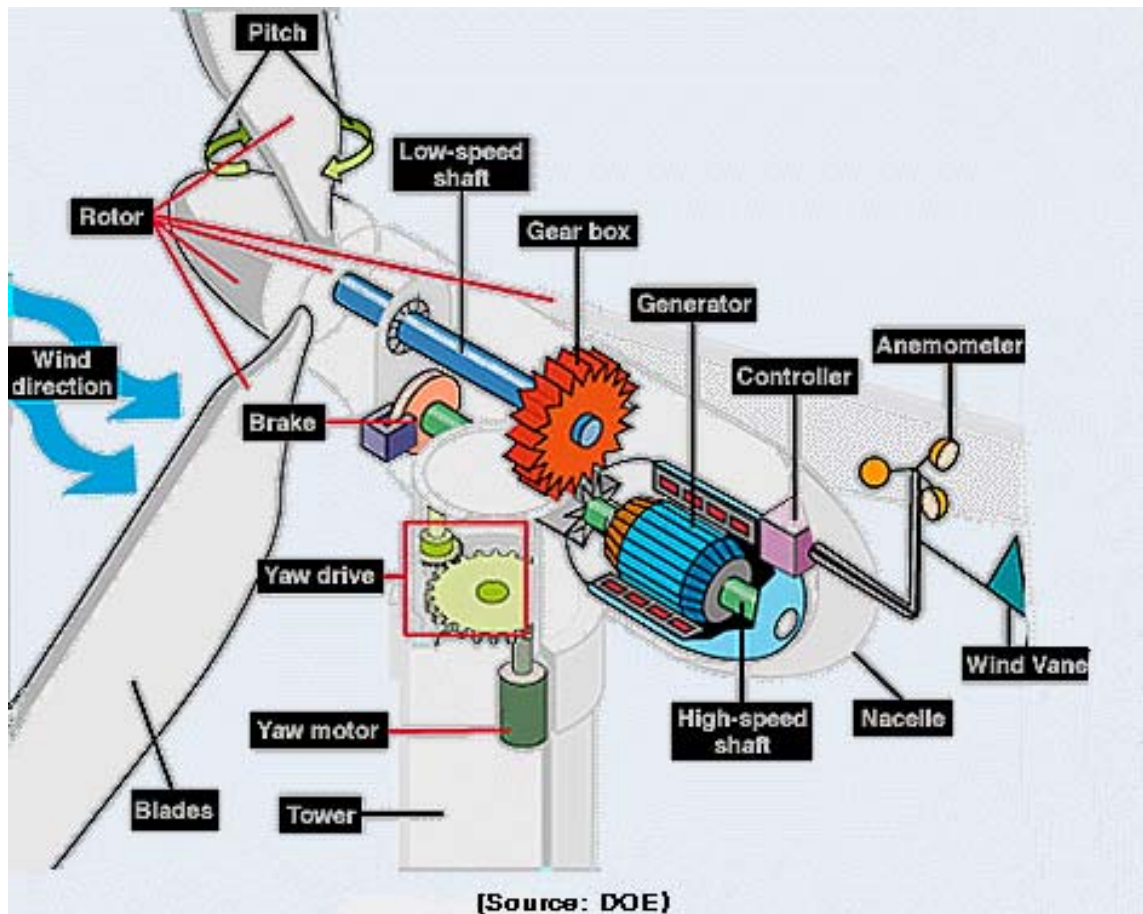
- Năng lượng gió không ổn định, luôn thay đổi theo vận tốc gió.
- Các nhà máy điện gió chiếm diện tích đất lớn.
- Các tuabin gió tạo ra tiếng ồn.

2. Các hệ thống năng lượng gió

Hệ thống năng lượng gió bao gồm tuabin gió và các hệ thống đi kèm mà chức năng chính là chuyển đổi năng lượng trong gió thành điện năng một cách tối ưu nhất.

2.1. Các thành phần cơ bản của tuabin gió

Mặc dù một tuabin gió có rất nhiều thành phần cấu tạo khác nhau nhưng xét về mặt chuyển đổi năng lượng thì tuabin gió có thể chia thành các hệ thống con được tương tác với nhau theo dòng năng lượng từ đầu vào tới đầu ra (xem Hình 3). Các hệ thống con này bao gồm hệ thống rotor, hệ thống truyền động, và máy phát. Các hệ thống con trên có thể được mô tả như sau:



Hình 3: Các thành phần cấu tạo cơ bản của một tuabin gió

2.1.1. Hệ thống rotor

Đây là hệ thống hoạt động theo nguyên lý khí động lực học dùng để chuyển đổi động năng trong gió thành cơ năng. Hệ thống này bao gồm các cánh quạt gió, đùm trục (hub), hệ thống điều chỉnh góc chúc ngóc. Các cánh quạt được kết nối với nhau tại đùm trục. Đùm trục được kết nối với bộ truyền động. Khi gió đi qua bề mặt của các cánh quạt gió sẽ tạo ra lực nâng và làm cho cánh quạt gió quay. Hệ thống điều chỉnh góc chúc ngóc được lắp thêm vào rotor để giảm bớt lực nâng khi vận tốc gió cao, nghĩa là giảm bớt năng lượng chuyển đổi để đảm bảo an toàn cho tuabin gió.

2.1.2. Hệ thống truyền động

Đây là một hệ cơ khí dùng để điều chuyển cơ năng từ hệ thống rotor đến máy phát. Cấu trúc của hệ truyền động bao gồm một trục vận tốc thấp kết nối với một trục vận tốc cao thông qua một hộp số hay còn gọi là bộ nhân vận tốc. Bộ nhân vận tốc này dùng để khuếch đại vận tốc góc từ hệ thống rotor lên vận tốc cao hơn để đáp ứng vận tốc vận hành của máy phát điện.

2.1.3. Máy phát điện

Máy phát điện là một hệ thống cơ điện dùng để chuyển đổi cơ năng từ hệ thống rotor sang điện năng. Máy phát là một bộ phận quan trọng xác định công suất định mức của một tuabin gió. Tùy thuộc vào công nghệ điều khiển, máy phát có thể được nối lưới trực tiếp hoặc gián tiếp thông qua bộ điện tử công suất. Các loại máy phát thông dụng nhất là máy phát không đồng bộ lồng sóc (SCIG), máy phát không đồng bộ nối kép (DFIG), và máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG).

2.1.4. Các bộ phận cấu tạo khác

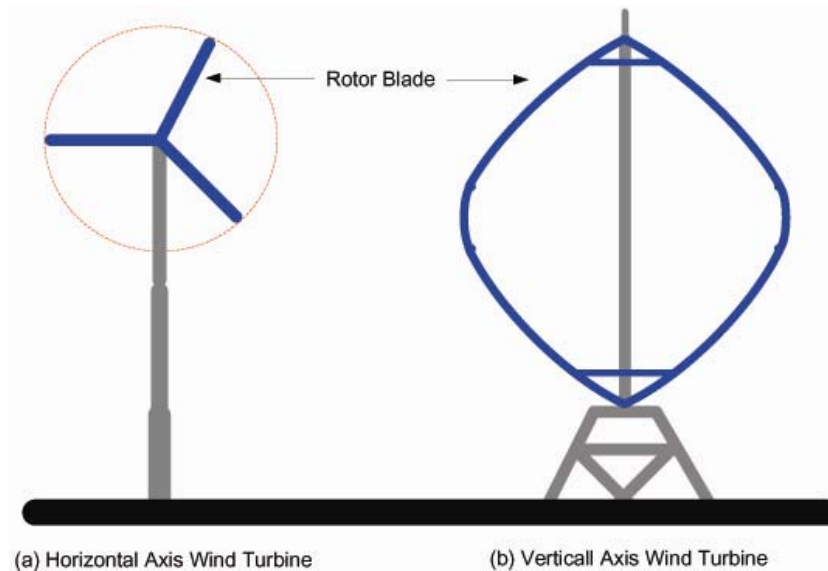
Ngoài 3 hệ thống cơ bản trên, một tuabin gió còn bao gồm các thành phần cấu tạo khác, chẳng hạn như hệ thống điều hướng (yaw system) dùng để điều chỉnh hướng hứng gió của tuabin, hệ thống phanh (brake) dùng để ngắt chuyển động của tuabin khi bảo trì hoặc khi có bão, trụ (tower) là kết cấu chịu lực dùng để nâng toàn bộ hệ thống rotor và các thành phần cấu tạo khác, thiết bị đo gió (phong tốc kế) dùng để đo vận tốc gió, cánh chỉ hướng gió (wind vane) dùng để xác định hướng gió, và các thành phần cấu tạo khác.

3. Phân loại tuabin gió

Hình dạng và kích thước của các tuabin gió liên tục được thay đổi và phát triển đáng kể trong hai thập kỷ qua, từ đơn giản đến phức tạp, từ kích thước nhỏ đến lớn. Các tuabin gió có thể được phân loại theo trục quay của rotor, theo trạng thái nổi lưới, theo công nghệ điều khiển.

3.1. Phân loại theo trục quay của rotor

Nếu phân loại theo trục quay của rotor thì có hai loại tuabin gió cơ bản như được minh họa trong Hình 4.



Hình 4: Tuabin gió trục ngang và tuabin gió trục dọc

3.1.1. Tuabin gió trục ngang (HAWT)

Đây là loại tuabin gió có rotor quay quanh trục ngang. Loại tuabin gió trục ngang có độ cao tùy ý và các thành phần cấu tạo có thể được lắp đặt nguyên khối. Vì vậy loại tuabin gió trục ngang có công suất chuyển đổi năng lượng lớn và bảo trì ít phức tạp. Tuy nhiên tuabin gió trục ngang phải có hệ thống điều hướng để luôn hứng đúng hướng gió chính.

3.1.2. Tuabin gió trục đứng (VAWT)

Đây là loại tuabin gió có rotor quay quanh trục đứng. Vì trục quay của tuabin là trục đứng nên loại tuabin gió trục đứng có thể quay mà không phụ thuộc hướng gió, do đó không cần hệ thống điều hướng. Tuy nhiên loại tuabin gió trục đứng không thể được lắp đặt ở độ cao tùy ý và các thành phần cấu tạo

khác phải được lắp đặt dưới đất. Vì thế tuabin gió trục đứng có hiệu suất chuyển đổi năng lượng thấp và công tác bảo trì phức tạp. Vì những lý do trên mà ngày nay các tuabin gió trục đứng không phổ biến bằng các tuabin gió trục ngang.

3.2. Phân loại theo trạng thái nối lưới

Có hai loại tuabin gió cơ bản được phân loại theo trạng thái nối lưới: tuabin gió nối lưới và tuabin gió độc lập.

3.2.1. Tuabin gió nối lưới

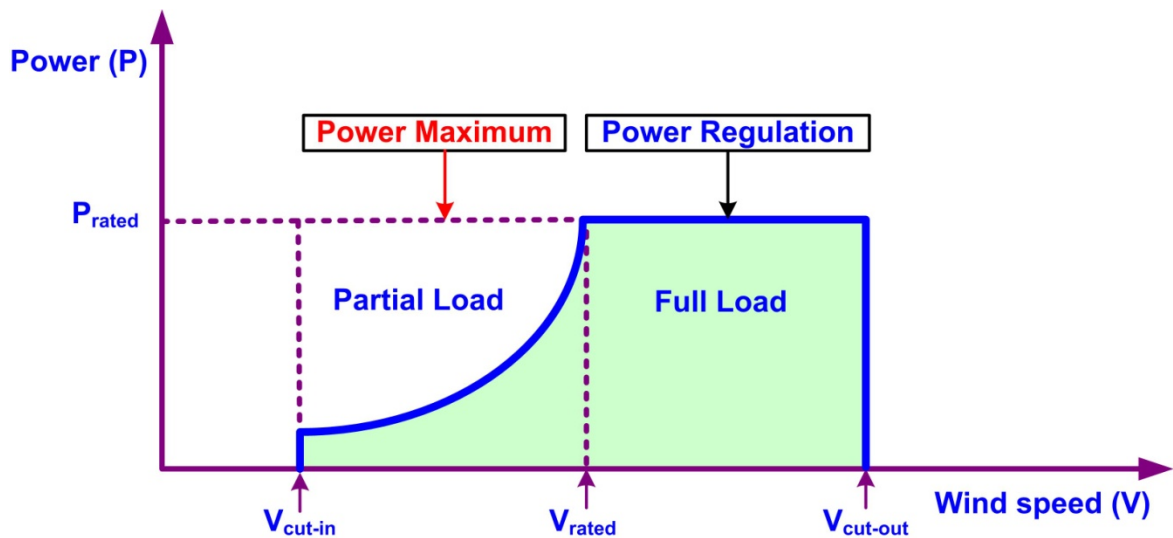
Các tuabin gió độc lập được lắp đặt tại cùng một khu vực địa lý hình thành các trang trại gió hay nhà máy điện gió. Đầu ra năng lượng của các nhà máy điện gió là tổng năng lượng từ các tuabin gió độc lập. Đầu ra năng lượng này được kết nối vào lưới điện để cung cấp điện cho lưới điện quốc gia. Tuabin gió nối lưới là loại phổ biến nhất trên thị trường điện gió hiện nay.

3.2.2. Tuabin gió độc lập

Tuy ngày nay phần lớn các khu vực cư dân đều có lưới điện đưa tới nhưng vẫn còn nhiều khu vực không có lưới điện đưa tới, chẳng hạn như các khu vực nông thôn, miền núi, hải đảo,...Giải pháp năng lượng gió cho các khu vực này là dùng các tuabin gió độc lập hoặc các hệ thống năng lượng gió kết hợp với các nguồn năng lượng khác. Đầu ra năng lượng của các hệ thống năng lượng gió này được kết nối trực tiếp với tải hoặc lưới điện cục bộ.

3.3. Phân theo công nghệ điều khiển

Xét về phương diện điều khiển, các tuabin gió được phân thành 2 loại cơ bản: điều khiển vận tốc và điều khiển công suất tương ứng với hai vùng hoạt động của tuabin gió là vùng hoạt động dưới tải và vùng hoạt động đầy tải (xem Hình 5).



Hình 5: Vùng hoạt động dưới tải và đầy tải của tuabin gió

3.3.1. Điều khiển vận tốc

Loại tuabin gió điều khiển vận tốc là loại có khả năng điều khiển vận tốc của máy phát. Vận tốc của máy phát có thể điều khiển được hoặc không tùy thuộc vào loại và cấu hình kết nối của máy phát. Nếu vận tốc của máy phát điều khiển được thì gọi là công nghệ tuabin gió vận tốc thay đổi. Nếu vận tốc của máy phát không điều khiển được thì gọi là công nghệ tuabin gió vận tốc cố định. Công nghệ tuabin gió vận tốc thay đổi có ưu điểm hơn vì nó có khả năng tối ưu hóa công suất chuyển đổi khi tuabin gió hoạt động trong vùng dưới tải.

3.3.2. Điều khiển công suất

Điều khiển công suất là khả năng cắt giảm công suất chuyển đổi năng lượng khi vận tốc gió quá lớn, vượt quá vận tốc gió định mức. Lúc này tuabin gió chuyển qua hoạt động trong vùng đầy tải. Trong vùng đầy tải, công suất chuyển đổi được điều khiển ổn định bằng cách thay đổi góc chúc ngóc của các cánh quạt gió. Khi đó lượng gió đi qua bề mặt quét của tuabin gió có thể được điều chỉnh tùy ý. Loại điều khiển công suất này được gọi là điều khiển công suất tích cực hay điều khiển công suất góc chúc ngóc thay đổi. Tuy nhiên có một cách điều khiển công suất đơn giản hơn gọi là điều khiển công suất góc chúc ngóc cố định. Công nghệ điều khiển góc chúc ngóc này được thực hiện bằng cách thiết kế các cánh quạt theo các phương pháp đặc biệt, cho phép các cánh quạt tự điều chỉnh sang chế độ thất tốc (dừng quay) khi vận tốc gió vượt giới hạn định mức. Tuy nhiên loại tuabin gió điều khiển công suất góc chúc ngóc cố định có hạn chế là tạo

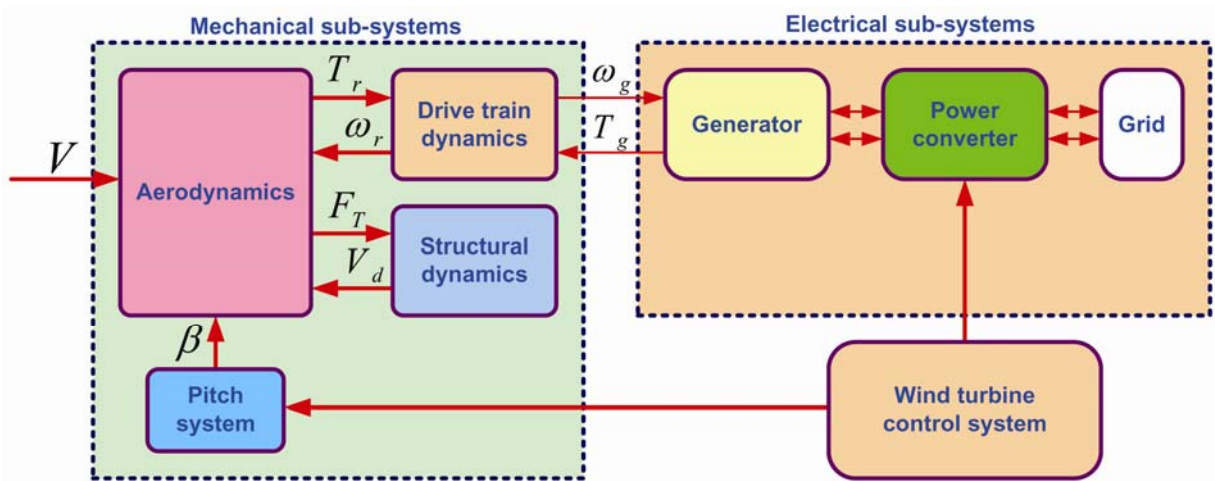
ra áp lực vật lý lớn trên bề mặt các cánh quạt. Nói tóm lại, dựa vào công nghệ điều khiển vận tốc và công suất chuyển đổi, có bốn loại tuabin gió như sau:

- Tuabin gió vận tốc cố định và góc chúc ngóc cố định (FSFP).
- Tuabin gió vận tốc thay đổi và góc chúc ngóc cố định (VSFP).
- Tuabin gió vận tốc cố định và góc chúc ngóc thay đổi (FSVP).
- Tuabin gió vận tốc thay đổi và góc chúc ngóc thay đổi (VSVP).

Chương 2

MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG GIÓ ĐỘC LẬP

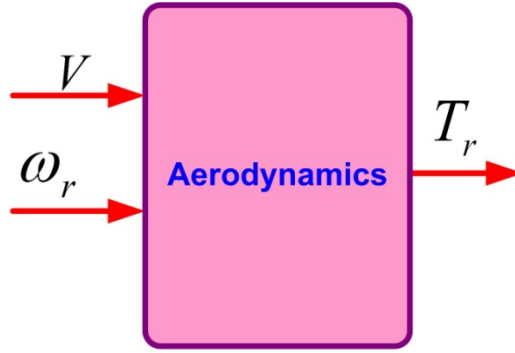
Chương này sẽ trình bày quá trình mô hình hóa động học của hệ thống năng lượng gió. Việc mô hình hóa sẽ được thực hiện đối với từng hệ thống con, sau đó kết hợp mô hình của các hệ thống con này thành mô hình phi tuyến của toàn bộ hệ thống năng lượng gió. Hệ thống năng lượng gió bao gồm nhiều thành phần vật lý khác nhau. Những hệ thống này có thể được chia thành hai nhóm khác nhau: nhóm các thành phần điện và nhóm thành phần cơ khí. Nếu xét về mặt động học thì hệ thống năng lượng gió bao gồm 4 loại động học: khí động lực học của rotor, động học cấu trúc của cánh quạt và trụ tuabin, động học của bộ truyền động, và động học của máy phát điện. Sơ đồ khối mô hình hóa hệ thống năng lượng gió được thể hiện trong Hình 6. Tuy nhiên liên quan đến mục tiêu điều khiển thì chỉ có động học của rotor, bộ truyền động, và máy phát được mô hình hóa.



Hình 6: Sơ đồ khối mô hình hóa hệ thống năng lượng gió

1. Mô hình hóa khí động lực học của tuabin gió

Khối khí động lực học của tuabin gió được minh họa trong Hình 7. Chức năng chính của khối này là chuyển đổi năng lượng tồn tại trong gió thành cơ năng của tuabin.



Hình 7: Khối khí động lực học của tuabin gió

Khi gió đi xuyên qua vòng quét của của tuabin sẽ tạo ra các lực tác động vào tuabin. Các lực này bao gồm lực đẩy (tác động vào trụ và các cánh quạt) và mô men xoắn (làm quay rotor). Lực đẩy (F_T), mô men xoắn (T_r), và công suất cơ chuyển đổi được định nghĩa như sau:

$$F_T = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 V^2 C_T(\lambda, \beta), \quad (2)$$

$$T_r = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 V^2 C_Q(\lambda, \beta), \quad (3)$$

$$P_r = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 V^3 C_P(\lambda, \beta). \quad (4)$$

Trong đó ρ là mật độ không khí, R là bán kính vòng quét của tuabin gió, V là vận tốc gió, $C_Q(\lambda, \beta)$ là hệ số mô men, $C_P(\lambda, \beta)$ là hệ số công suất chuyển đổi. Cả mô men xoắn và công suất cơ chuyển đổi đều là hàm của tỉ số vận tốc rìa (tip-speed ratio) λ và góc chúc ngóc (pitch angle) β . Tỉ số vận tốc rìa λ là tỉ số giữa vận tốc tại đỉnh rìa của cánh quạt của tuabin gió và vận tốc gió, được biểu diễn như sau:

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{V}. \quad (5)$$

Trong đó ω_r là vận tốc góc của rotor. Mối quan hệ giữa hệ số mô men và hệ số công suất được định nghĩa như sau:

$$C_P = \lambda C_Q. \quad (6)$$

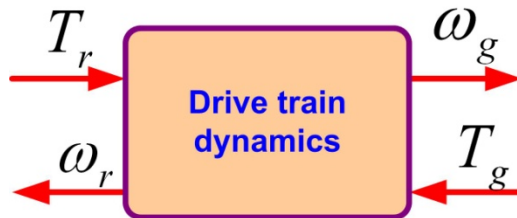
Hệ số mô men C_Q là một hàm phi tuyến cao của tỉ số vận tốc rìa λ và góc chúc ngóc β . Tuy nhiên đối với tuabin gió loại VSFP thì hệ số mô men C_Q chỉ

phụ thuộc tỉ số vận tốc rìa λ và được xấp xỉ bằng một đa thức bậc 6 theo λ như sau:

$$C_Q(\lambda) = a_6\lambda^6 + a_5\lambda^5 + a_4\lambda^4 + a_3\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_1\lambda^1 + a_0. \quad (7)$$

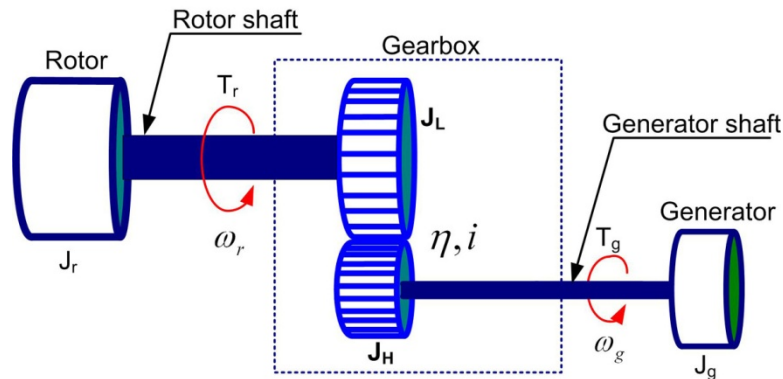
2. Mô hình hóa bộ truyền động

Chức năng chính của bộ truyền động là chuyển cơ năng từ rotor đến máy phát. Sơ đồ khối của bộ truyền động được minh họa trong Hình 8. Theo đó bộ truyền động là một hệ thống có tín hiệu đầu vào là các mô men xoắn của tuabin và máy phát và tín hiệu đầu ra là các vận tốc góc của tuabin và máy phát.



Hình 8: Sơ đồ khối của bộ truyền động

Tùy theo mục đích điều khiển mà bộ truyền động có thể được mô hình hóa dưới dạng mô hình cứng hoặc mô hình đàn hồi. Đối với các hệ thống năng lượng gió độc lập có công suất nhỏ thì để đơn giản hóa quá trình mô hình hóa, mô hình cứng thường được dùng để mô tả động học của bộ truyền động. Mô hình cứng này được minh họa trong Hình 9.



Hình 9: Mô hình cứng của bộ truyền động

Mô hình cứng của bộ truyền động gồm hai trục cứng được nối với nhau thông qua bộ nhân vận tốc. Các trục cứng này gồm trục nối với rotor (nhận mô men xoắn T_r của tuabin, có vận tốc ω_r thấp) và trục nối với máy phát (nhận mô

men xoắn T_g của máy phát, có vận tốc ω_g cao). Rotor và máy phát xem như các khối cứng có mô men quán tính lần lượt là J_r và J_g . Bộ nhân vận tốc gồm hai bánh răng lần lượt có quán tính là J_L và J_H với hiệu suất chuyển đổi vận tốc là η và tỉ số nhận vận tốc là i . Động học của mô hình này có thể được mô tả bằng phương trình vi phân bậc một được quy đổi sang phía máy phát như sau:

$$\dot{\omega}_g = \frac{\eta}{iJ_h} T_r - \frac{1}{J_h} T_g. \quad (8)$$

Trong đó J_h là mô men tương đương được quy đổi sang phía máy phát và được tính như sau:

$$J_h = (J_L + J_r) \frac{\eta}{i^2} + J_H + J_g. \quad (9)$$

Nếu quy đổi sang phía tuabin thì phương trình động học của bộ truyền động có thể được viết như sau:

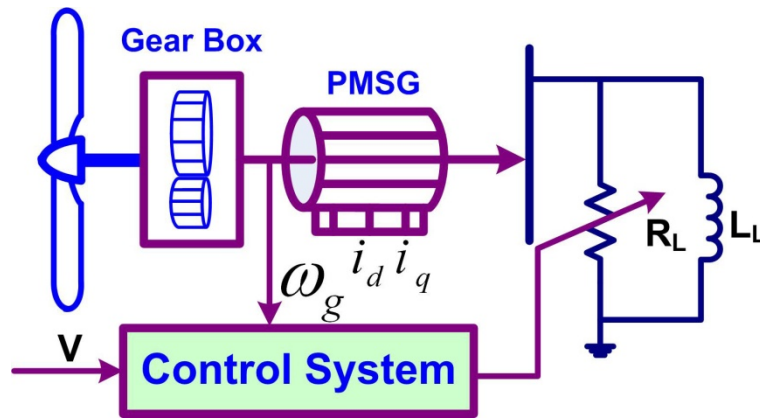
$$\dot{\omega}_r = \frac{1}{J_l} T_r - \frac{i}{\eta J_l} T_g. \quad (10)$$

Trong đó J_l là mô men tương đương được quy đổi sang phía tuabin và được tính như sau:

$$J_l = J_L + J_r + (J_H + J_g) \frac{i^2}{\eta}. \quad (11)$$

3. Mô hình hóa máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Các hệ thống năng lượng gió độc lập thường bao gồm tuabin gió và các nguồn năng lượng tái tạo khác như pin ắc quy, máy phát diesel, năng lượng mặt trời, pin năng lượng.v.v. Do đó việc điều khiển cho các hệ thống năng lượng gió độc lập được chia thành nhiều vòng điều khiển để đảm bảo nguồn năng lượng được cung cấp ổn định và liên tục cho các tải cục bộ. Đề tài này chỉ quan tâm thiết kế bộ điều khiển để tối ưu hóa quá trình chuyển đổi năng lượng cho các tuabin gió nên chỉ mô hình hóa động học của tuabin gió, bộ truyền động và máy phát (xem Hình 10).



Hình 10: Mô hình hệ thống chuyển đổi năng lượng gió độc lập

Loại máy phát được sử dụng phổ biến trong các hệ năng lượng gió độc lập là máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG). Mô hình toán của máy phát PMSG trong hệ tọa độ d, q được cho như sau:

$$\frac{di_d}{dt} = -\frac{R_s+R_L}{L_d+L_L} i_d + \frac{p(L_q-L_L)}{L_d+L_L} i_q \omega_g, \quad (12)$$

$$\frac{di_q}{dt} = -\frac{R_s+R_L}{L_q+L_L} i_q - \frac{p(L_d+L_L)}{L_q+L_L} i_d \omega_g + \frac{p\Phi_m}{L_q+L_L} \omega_g, \quad (13)$$

$$T_g = p\Phi_m i_q. \quad (14)$$

Trong đó i_d, i_q là dòng điện d, q của stator; L_d, L_q là điện cảm d, q của stator; R_s là điện trở của stator; R_L là điện trở tải tương đương; L_L là điện cảm của tải tương đương; p là số cặp cực; Φ_m là từ thông; ω_g là vận tốc của máy phát; T_g là mô men điện từ của máy phát.

Bộ truyền động của SWES bao gồm một trục tốc độ thấp kết nối với một trục tốc độ cao thông qua một hộp số. Động học của bộ truyền động có thể được mô hình hóa như sau:

$$J_h \frac{d\omega_g}{dt} = \frac{\eta}{i} T_r - T_g. \quad (15)$$

Trong đó J_h là quán tính tương đương; η là hiệu suất của bộ truyền động; i là hệ số nhân vận tốc của bộ truyền động; T_r, T_g lần lượt là mô men của tuabin và máy phát.

4. Mô hình động học của hệ thống năng lượng gió độc lập

Kết hợp động học của tuabin gió, bộ truyền động, và máy phát được trình bày ở trên, ta được mô hình động học của hệ thống năng lượng gió độc lập sử dụng máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu như sau:

$$\dot{\omega}_g = \frac{\eta\rho\pi}{2iJ_h} C_Q(\omega_g, V) - \frac{p\Phi_m}{J_h} i_q. \quad (16)$$

$$\frac{di_d}{dt} = -\frac{R_s+R_L}{L_d+L_L} i_d + \frac{p(L_q-L_L)}{L_d+L_L} i_q \omega_g, \quad (17)$$

$$\frac{di_q}{dt} = -\frac{R_s+R_L}{L_q+L_L} i_q - \frac{p(L_d+L_L)}{L_q+L_L} i_d \omega_g + \frac{p\Phi_m}{L_q+L_L} \omega_g, \quad (18)$$

Đặt $x = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [i_d \ i_q \ \omega_g]^T$ là vectơ biến trạng thái; $u = R_L$ là tín hiệu đầu vào; $y = \omega_g$ là tín hiệu đầu ra. Ta có mô hình phi tuyến dưới dạng không gian trạng thái của hệ thống năng lượng gió độc lập sử dụng máy phát nam châm vĩnh cửu như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ f_3(x) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1(x) \\ g_2(x) \\ g_3(x) \end{bmatrix} u, \quad (19)$$

$$y = h(x). \quad (20)$$

Trong đó:

$$f_1(x) = -\frac{R_s}{L_d+L_L} x_1 + \frac{p(L_q-L_L)}{L_d+L_L} x_2 x_3, \quad (21)$$

$$f_2(x) = -\frac{R_s}{L_q+L_L} x_2 - \frac{p(L_d+L_L)}{L_q+L_L} x_1 x_3 + \frac{p\Phi_m}{L_q+L_L} x_3, \quad (22)$$

$$f_3(x) = \frac{\eta\rho\pi}{2iJ_h} C_Q(x_3, V) - \frac{p\Phi_m}{J_h} x_2, \quad (23)$$

$$g_1(x) = -\frac{1}{L_d+L_L} x_1, \quad (24)$$

$$g_2(x) = -\frac{1}{L_q+L_L} x_2, \quad (25)$$

$$g_3(x) = 0, \quad (26)$$

$$h(x) = x_3, \quad (27)$$

$$C_Q(x_3, V) = a_6 \left(\frac{Rx_3}{iV} \right)^6 + a_5 \left(\frac{Rx_3}{iV} \right)^5 + a_4 \left(\frac{Rx_3}{iV} \right)^4 + \\ + a_3 \left(\frac{Rx_3}{iV} \right)^3 + a_2 \left(\frac{Rx_3}{iV} \right)^2 + a_1 \left(\frac{Rx_3}{iV} \right)^1 + a_0. \quad (28)$$

Quan sát từ phương trình (21) - (23), và (28) ta thấy mô hình của hệ thống năng lượng gió độc lập sử dụng máy phát nam châm vĩnh cửu có tính phi tuyến rất cao.

Chương 3

ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG GIÓ ĐỘC LẬP

1. Phương pháp điều khiển thích nghi

Có nhiều phương pháp điều khiển thích nghi đã được đề xuất áp dụng cho cả hệ tuyến tính và phi tuyến. Phương pháp điều khiển thích nghi trong đề tài này được dùng cho hệ phi tuyến, và được xây dựng trên cơ sở điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp.

1.1. Thiết kế điều khiển thích nghi dựa vào tuyến tính hóa hồi tiếp

Xét một hệ phi tuyến một vào một ra (SISO) được xác định trong miền $D_x \in R^n$ như sau:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u, \quad (29)$$

$$y = h(x). \quad (30)$$

Trong đó: $x \in R^n$ là vectơ trạng thái; $u \in R^1$ là tín hiệu điều khiển; $y \in R^1$ là tín hiệu đầu ra; $f(x) \in R^n$ và $g(x) \in R^n$ là các trường vectơ tron; $h(x) \in R^1$ là hàm tron vô hướng. Giả sử hệ phi tuyến có bậc tương đối r ($r < n$) tại $x_0 \in D_x$ và động học nội ổn định. Lấy đạo hàm đầu ra y theo thời gian r lần ta được:

$$y^{(r)} = L_f^r h(x) + L_g L_f^{r-1} h(x)u. \quad (31)$$

Trong đó $L_f^r h(x)$ là đạo hàm Lie r lần của $h(x)$ theo hướng của trường vectơ $f(x)$, $L_g L_f^{r-1} h(x)$ là đạo hàm Lie của $L_f^{r-1} h(x)$ theo hướng của trường vectơ $g(x)$. Đặt $\alpha(x) = L_f^r h(x)$ và $\beta(x) = L_g L_f^{r-1} h(x)$ và (22) thành:

$$y^{(r)} = \alpha(x) + \beta(x)u. \quad (32)$$

Giả sử $0 < \beta(x) < \infty$ với $\forall x \in D_x$. Chọn tín hiệu điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp trạng thái như sau:

$$u^*(x) = \frac{1}{\beta(x)} (-\alpha(x) + v). \quad (33)$$

Khi đó mối quan hệ vào-ra phi tuyến (23) trở thành tuyến tính như sau:

$$y^{(r)} = v. \quad (34)$$

Mỗi quan hệ vào-ra tuyến tính (34) có thể được thiết kế ổn định hóa hoặc bám quỹ đạo tham chiếu bằng các phương pháp thiết kế cho hệ tuyến tính. Tín hiệu điều khiển $u^*(x)$ trong (33) chỉ được xác định khi tính được chính xác các hàm $\alpha(x)$ và $\beta(x)$. Tuy nhiên trong thực tế các hàm này rất khó xác định chính xác vì ảnh hưởng bởi các yếu tố bất định. Vì vậy ta phải dùng một tín hiệu điều khiển $\hat{u}(x)$ để xấp xỉ tín hiệu điều khiển lý tưởng $u^*(x)$ bằng một bộ xấp xỉ phi tuyến là hệ mờ hoặc mạng nơron (mạng thần kinh nhân tạo).

Đối với mục tiêu điều khiển đầu ra y bám theo quỹ đạo tham chiếu y_m thì tín hiệu điều khiển tuyến tính hóa v trong (25) được xác định như sau:

$$v = y_m^{(r)} + \bar{e}_s + \gamma e_s. \quad (35)$$

Trong đó γ là hằng số dương; e_s và \bar{e}_s được xác định như sau:

$$e_s = e_0^{(r-1)} + k_1 e_0^{(r-2)} + \dots + k_{r-1} e_0, \quad (36)$$

$$\bar{e}_s = \dot{e}_s - e_0^{(r)} = k_1 e_0^{(r-1)} + \dots + k_{r-1} \dot{e}_0, \quad (37)$$

$$e_0 = y_m - y. \quad (38)$$

Trong đó e_s là sai số bám; e_0 là sai số đầu ra. Các hệ số k_i được chọn sao cho phương trình đặc trưng sai số sau *Hurwitz*:

$$E(s) = s^{r-1} + k_1 s^{r-2} + \dots + k_{r-2} s + k_{r-1}, \quad (39)$$

Tín hiệu điều khiển lý tưởng trong (24) được xấp xỉ bởi một hệ mờ hoặc một mạng nơron RBF sau:

$$\hat{u}(x) = \theta_u^T \xi_u(x). \quad (40)$$

Trong đó θ_u là vector tham số; $\xi_u(x)$ là vector hồi quy mờ hoặc hàm vector hàm cơ sở. θ_u được cập nhật trực tuyến sao cho $\hat{u}(x)$ tiến tới $u^*(x)$. Vector tham số tối ưu được xác định như sau:

$$\theta_u^* = \underset{\theta \in D_\theta}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sup_{x \in D_x} |\theta_u^T \xi_u(x) - u^*(x)| \right\}. \quad (41)$$

Bởi vì $u^*(x)$ được xấp xỉ bởi một mạng nơron có số lượng nơron hữu hạn nên phát sinh sai số cấu trúc $\delta_u(x)$. Vì vậy tín hiệu điều khiển $u^*(x)$ được viết lại như sau:

$$u^*(x) = \theta_u^{*T} \xi_u(x) + \delta_u(x). \quad (42)$$

Do đó sai số giữa tín hiệu điều khiển xấp xỉ $\hat{u}(x)$ và tín hiệu điều khiển lý tưởng $u^*(x)$ được xác định như sau:

$$\hat{u}(x) - u^*(x) = \tilde{\theta}_u^T \xi_u(x) - \delta_u(x). \quad (43)$$

Trong đó

$$\tilde{\theta}_u = \theta_u - \theta_u^* \quad (44)$$

là sai số xấp xỉ.

Giả sử tín hiệu điều khiển thích nghi được chọn sao cho sai số cấu trúc bị chặn ($\delta_u(x) \leq \bar{\delta}_u$) với $\forall x \in D_x$ và chặn trên $\bar{\delta}_u$ biết trước. Do có sự tồn tại của sai số cấu trúc nên tín hiệu điều khiển giám sát u_s được thêm vào để đảm bảo ổn định vòng kín. Vì thế tín hiệu điều khiển thực tế bao gồm:

$$u(x) = \hat{u}(x) + u_s(x) \quad (45)$$

1.2. Thiết kế luật thích nghi

Luật thích nghi được thiết kế dựa vào phân tích ổn định *Lyapunov*. Quá trình thiết kế được trình bày như sau:

Cộng và trừ đại lượng $\beta(x)u^*(x)$ vào (32) ta được:

$$\begin{aligned} y^{(r)} &= \alpha(x) + \beta(x)u^*(x) + \beta(x)[u(x) - u^*(x)], \\ &= v + \beta(x)[u(x) - u^*(x)]. \end{aligned} \quad (46)$$

Kết hợp (35), (38), (43), (45), và (46) ta được:

$$e_0^{(r)} = -\bar{e}_s - \gamma e_s - \beta(x)\tilde{\theta}_u^T \xi_u(x) + \beta(x)\delta_u(x) - \beta(x)u_s. \quad (47)$$

Kết hợp (28) và (38) ta được động học sai số sau:

$$\dot{e}_s + \gamma e_s = -\beta(x)\tilde{\theta}_u^T \xi_u(x) + \beta(x)\delta_u(x) - \beta(x)u_s. \quad (48)$$

Chọn hàm *Lyapunov* toàn phương bán xác định dương sau:

$$V = \frac{1}{2\beta(x)} e_s^2 + \frac{1}{2} \tilde{\theta}_u^T Q_u \tilde{\theta}_u. \quad (49)$$

Trong đó Q_u là ma trận trọng số xác định dương. Lấy đạo hàm của V theo thời gian ta được:

$$\dot{V} = \frac{1}{\beta(x)} e_s \dot{e}_s - \frac{\dot{\beta}(x)}{2\beta^2(x)} e_s^2 + \tilde{\theta}_u^T Q_u \dot{\theta}_u. \quad (50)$$

Thay (48) vào (50) ta được:

$$\dot{V} = -\frac{\gamma e_s^2}{\beta(x)} - e_s u_s + e_s \delta_u(x) + \tilde{\theta}_u^T (Q_u \dot{\theta}_u - \xi_u(x) e_s) - \frac{\dot{\beta}(x)}{2\beta^2(x)} e_s^2. \quad (51)$$

Nếu ta chọn luật thích nghi

$$\dot{\theta}_u = Q_u^{-1} \xi_u(x) e_s. \quad (52)$$

thì (51) trở thành

$$\dot{V} = -\frac{\gamma e_s^2}{\beta(x)} - e_s u_s + e_s \delta_u(x) - \frac{\dot{\beta}(x)}{2\beta^2(x)} e_s^2. \quad (53)$$

$$\dot{V} \leq -\frac{\gamma e_s^2}{\beta(x)} - e_s u_s + |e_s| \left(|\delta_u(x)| + \frac{|\dot{\beta}(x)|}{2\beta^2(x)} |e_s| \right). \quad (54)$$

Giả sử hàm $\beta(x)$ bị chặn trên và dưới ($0 < \beta_a \leq \beta(x) \leq \beta_b$), và đạo hàm của $\beta(x)$ bị chặn ($|\dot{\beta}(x)| \leq \beta_v$). Khi đó đạo hàm \dot{V} trong (54) trở thành:

$$\dot{V} \leq -\frac{\gamma e_s^2}{\beta_b} - e_s u_s + |e_s| \left(\bar{\delta}_u + \frac{\beta_v}{2\beta_a^2} |e_s| \right). \quad (55)$$

Ta chọn tín hiệu điều khiển giám sát u_s như sau:

$$u_s = |e_s| \left(\bar{\delta}_u + \frac{\beta_v}{2\beta_a^2} |e_s| \right) \text{sign}(e_s). \quad (56)$$

Lúc này \dot{V} trở thành

$$\dot{V} \leq -\frac{\gamma e_s^2}{\beta_b} \leq 0. \quad (57)$$

Từ (49) và (57) ta thấy rằng hàm *Lyapunov* V bán xác định dương có đạo hàm \dot{V} bán xác định âm. Vì vậy hệ vòng kín thích nghi ổn định.

1.3. Thiết kế bộ điều khiển trượt

Ngoài phương pháp điều khiển thích nghi được trình bày ở trên, ta có thể thiết kế bộ điều khiển trượt bám quỹ đạo tham chiếu cho hệ phi tuyến SISO ở trên như sau:

Định nghĩa sai số bám là $e(t) = y_m(t) - y(t)$, chọn mặt trượt $\sigma = e^{(r-1)} + k_1 e^{(r-2)} + \dots + k_{r-2} \dot{e} + k_{r-1} e$. Các hệ số k được chọn sao cho phương trình đặc trưng sai số (39) *Hurwitz*. Như vậy tín hiệu điều khiển trượt được xác định như sau:

$$u = \frac{1}{\beta(x)} \left[-\alpha(x) + y_m^{(r)} + k_1 e^{(r-1)} + \dots + k_{r-2} \ddot{e} + k_{r-1} \dot{e} + K \text{sign}(\sigma) \right]. \quad (57^*)$$

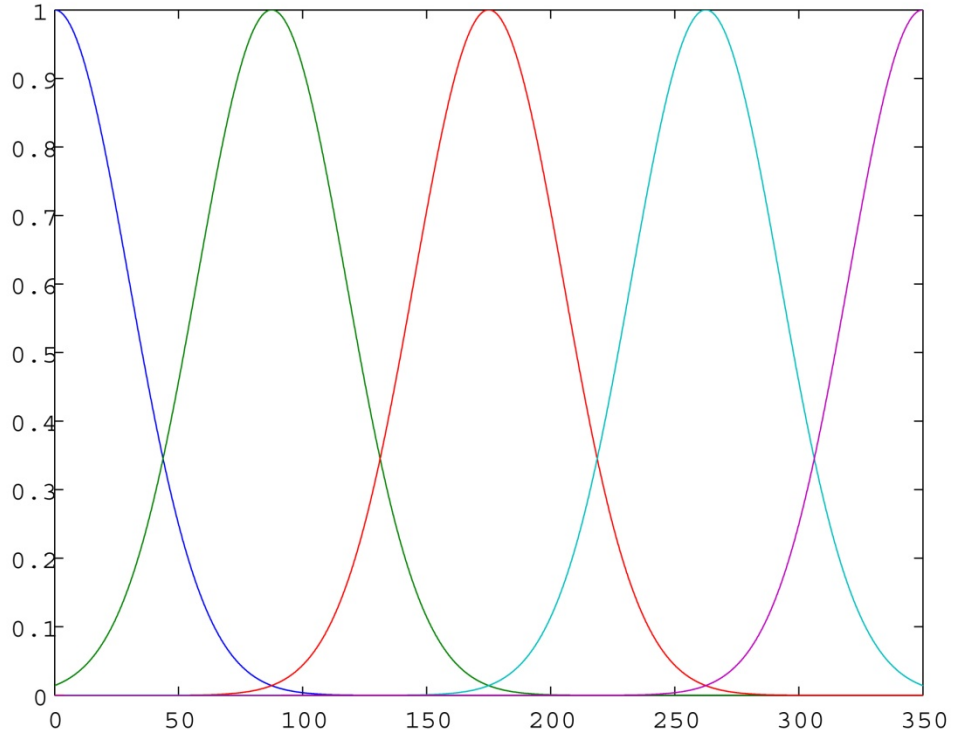
Trong đó K là hằng số dương. K càng lớn thì $\sigma \rightarrow 0$ càng nhanh.

2. Thiết kế điều khiển thích nghi cho hệ thống năng lượng gió độc lập

Mỗi tuabin gió có một giá trị tỉ số vận tốc rìa tối ưu λ^* nhất định. Mục tiêu điều khiển là bám theo quỹ đạo vận tốc tối ưu của máy phát ω_g^* để duy trì tỉ số vận tốc rìa λ^* không đổi khi vận tốc gió liên tục thay đổi. Khác với các tác giả trong [10] chỉ sử dụng đa thức bậc 2 để xấp xỉ hệ số mô men (4) trong vùng làm việc xác lập để đơn giản hóa quá trình thiết kế bộ điều khiển. Trong đề tài này hàm đa thức bậc 6 hệ số mô men (4) sẽ được giữ nguyên để bao quát toàn bộ vùng làm việc của tuabin gió.

2.1. Dùng hệ mờ để xấp xỉ tín hiệu điều khiển lý tưởng

Mô hình mờ $\hat{u}(x)$ dùng để xấp xỉ tín hiệu điều khiển lý tưởng $u^*(x)$ là mô hình mờ Takagi – Sugeno với các luật suy diễn mờ có dạng: nếu x_1 là A_{1i} và x_2 là A_{2i} và x_3 là A_{3i} thì $\hat{u}(x) = \theta_{ui}$. Trong đó x_1, x_2, x_3 là các biến trạng thái; A_{1i}, A_{2i}, A_{3i} lần lượt là các tập mờ mô tả các biến ngôn ngữ x_1, x_2, x_3 ở luật mờ thứ i . Số lượng và hình dạng của các tập mờ chủ yếu được chọn dựa vào phương pháp thử sai. Trong đề tài này, dạng của tập mờ được chọn là dạng hình Gauss và mỗi biến ngôn ngữ có năm tập mờ như được trình bày trong Hình 11. Vì vậy có tổng cộng 125 luật suy diễn mờ.



Hình 11: Số lượng và hình dạng các tập mờ của x_3

Mô hình mờ xấp xỉ mờ có dạng sau:

$$\hat{u}(x) = \theta_u^T \xi_u(x). \quad (58)$$

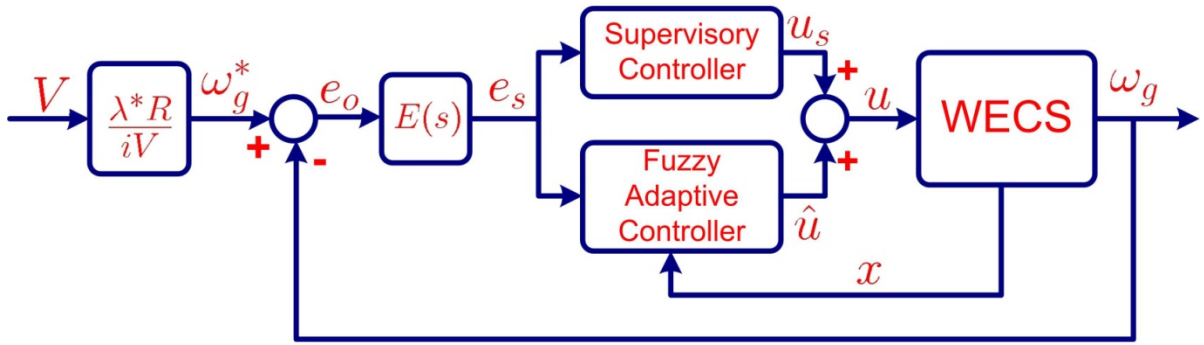
Trong đó:

$$\theta_u = [\theta_{u1} \theta_{u2} \dots \theta_{u125}]^T, \quad (59)$$

$$\xi_u(x) = [\xi_{u1}(x) \xi_{u2}(x) \dots \xi_{u125}(x)]^T, \quad (60)$$

$$\xi_{ui}(x) = \frac{\mu_{A1i}(x_1) \cdot \mu_{A2i}(x_2) \cdot \mu_{A3i}(x_3)}{\sum_{i=1}^{125} \mu_{A1i}(x_1) \cdot \mu_{A2i}(x_2) \cdot \mu_{A3i}(x_3)}. \quad (61)$$

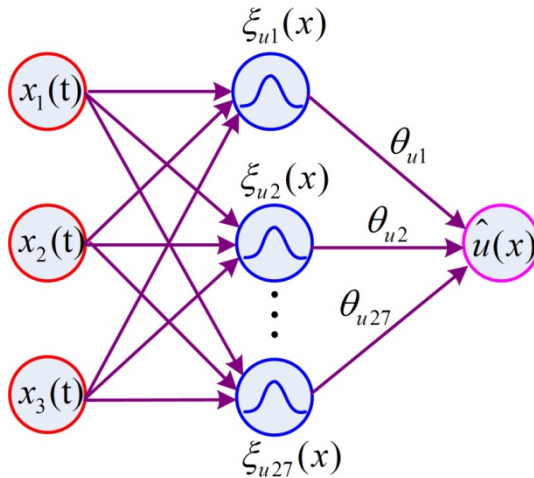
Sơ đồ hệ thống điều khiển thích nghi mờ cho hệ thống năng lượng gió độc lập được trình bày trong Hình 12.



Hình 12: Hệ điều khiển thích nghi mờ cho SWES

2.2. Dùng mạng nơron RBF để xấp xỉ tín hiệu điều khiển lý tưởng

Tín hiệu điều khiển xấp xỉ $\hat{u}(x)$ là một mạng nơron hàm cơ sở xuyên tâm RBF. Mạng nơron RBF được sử dụng trong đề tài này gồm 1 lớp vào, 1 lớp ẩn, và 1 lớp ra. Lớp vào gồm 3 biến trạng thái của hệ thống (x_1, x_2, x_3). Lớp ẩn gồm 27 nơron. Lớp ra là tín hiệu điều khiển xấp xỉ $\hat{u}(x)$. Cấu trúc của mạng nơron RBF được thể hiện trong Hình 13.



Hình 13: Cấu trúc mạng nơron RBF dùng để xấp xỉ $\hat{u}(x)$

Các hàm cơ sở được phân bố đều trong không gian trạng thái và độ phân tán được chọn đều như nhau ($\sigma = 0,7$). Như vậy tín hiệu điều khiển xấp xỉ được xác định như sau:

$$\hat{u}(x) = \theta_u^T \xi_u(x), \quad (62)$$

$$\xi_u(x) = [\xi_{u1}(x) \xi_{u2}(x) \dots \xi_{u27}(x)]^T, \quad (63)$$

$$\theta_u = [\theta_{u1} \theta_{u2} \dots \theta_{u27}]^T, \quad (64)$$

Trong đó hàm cơ sở xuyến tâm thứ i được xác định như sau:

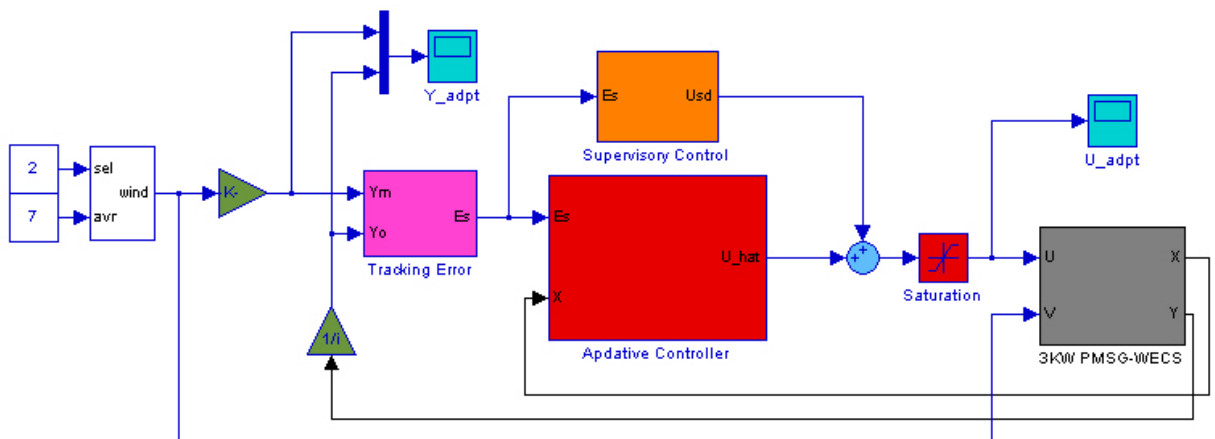
$$\xi_{ui}(x) = \exp\left(\frac{-[(x_1 - \mu_{1i})^2 + (x_2 - \mu_{2i})^2 + (x_3 - \mu_{3i})^2]}{\sigma_i^2}\right). \quad (65)$$

3. Mô phỏng hệ thống

Mô phỏng được thực hiện trên hệ thống SWES dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu có công suất 3kW. Hệ SWES này có hệ số công suất chuyển đổi cực đại $C_{Pmax} = 0,478$ tại tỉ số vận tốc rìa tối ưu $\lambda^* = 7$. Các thông số hệ thống dùng trong mô phỏng được cho trong Bảng 1. Hệ SWES có bậc tương đối $r = 2$. Hệ mô phỏng SWES và bộ điều khiển thích nghi được thể hiện trong Hình 14. Thời gian mô phỏng là 50 s.

Bảng 1: Các thông số mô phỏng

Tuabin	Bộ truyền động	Máy phát điện
$R = 2,5 \text{ m}$ $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$	$i = 7$ $\eta = 0,99$ $J_h = 0,0552 \text{ kg.m}^2$	$p = 3$ $R_s = 3,3 \Omega$ $L_d = 0,04156 \text{ H}$ $L_q = 0,04156 \text{ H}$ $L_L = 0,08 \text{ H}$ $\Phi_m = 0,4382 \text{ Wb}$



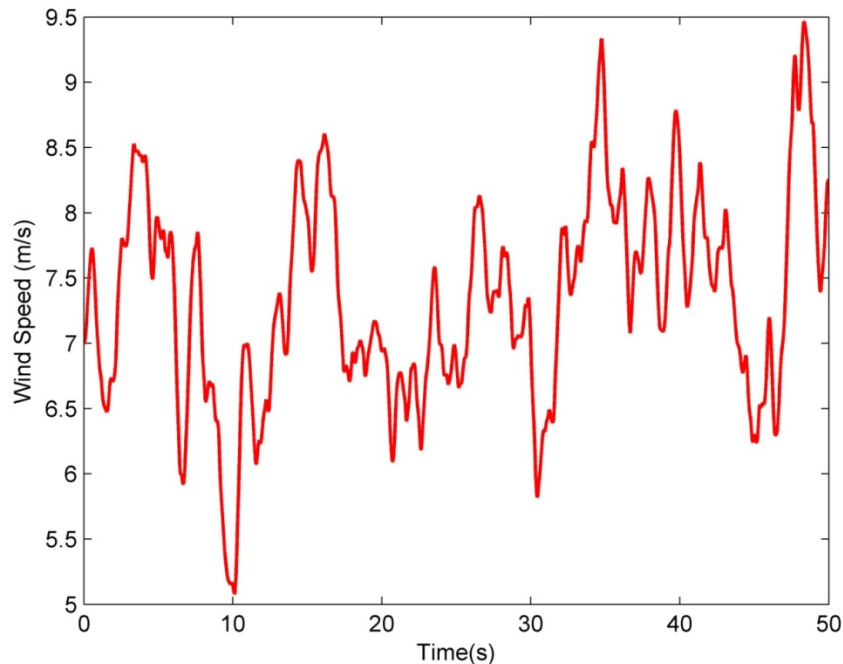
Hình 14: Mô phỏng hệ thống điều khiển thích nghi cho SWES trong Simulink

Các thông số của bộ điều khiển thích nghi được chọn như sau: $\bar{\delta}_u = 0,001$; $\beta_a = 1,15$; $\beta_v = 30$; $\gamma = 15$; $k_1 = 5$. Tín hiệu điều khiển u thay đổi từ 0 đến 100 ($0 < u \leq 100$).

Chương 4 PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

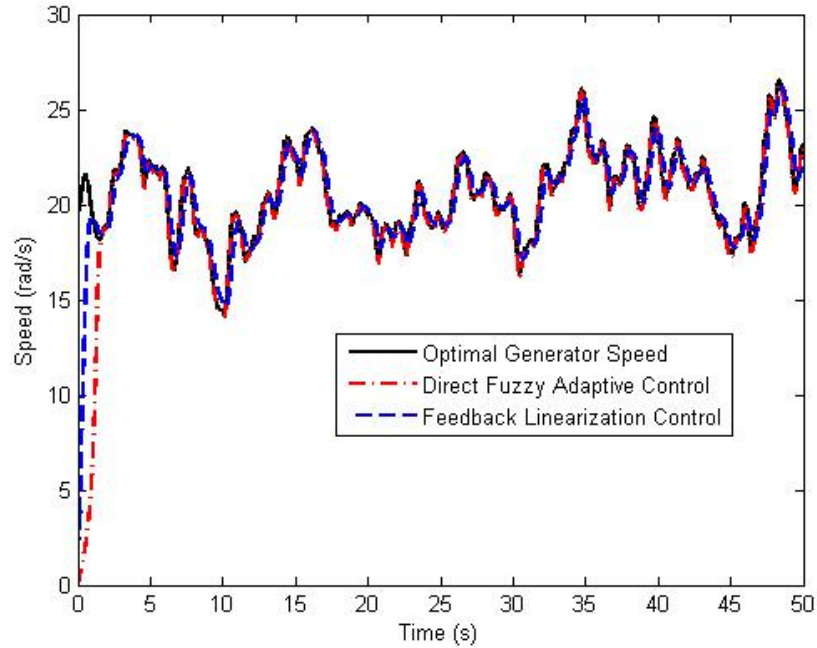
1. Mô phỏng vận tốc gió thay đổi ngẫu nhiên

Gió là một đại lượng vật lý thay đổi ngẫu nhiên có chu kỳ như đã trình bày trong Hình 1. Để mô phỏng vận tốc gió thay đổi ngẫu nhiên có chu kỳ như trên, trong đề tài này xây dựng khối tạo gió gồm vận tốc gió trung bình kết hợp với các bộ lọc có các tần số khác nhau. Các hệ thống năng lượng gió độc lập thường hoạt động ở những khu vực có vận tốc gió trung bình từ 7 – 8 m/s nên đề tài này mô phỏng hệ thống điều khiển với vận tốc gió thay đổi ngẫu nhiên có giá trị trung bình là 7 m/s như được minh họa trong Hình 15.

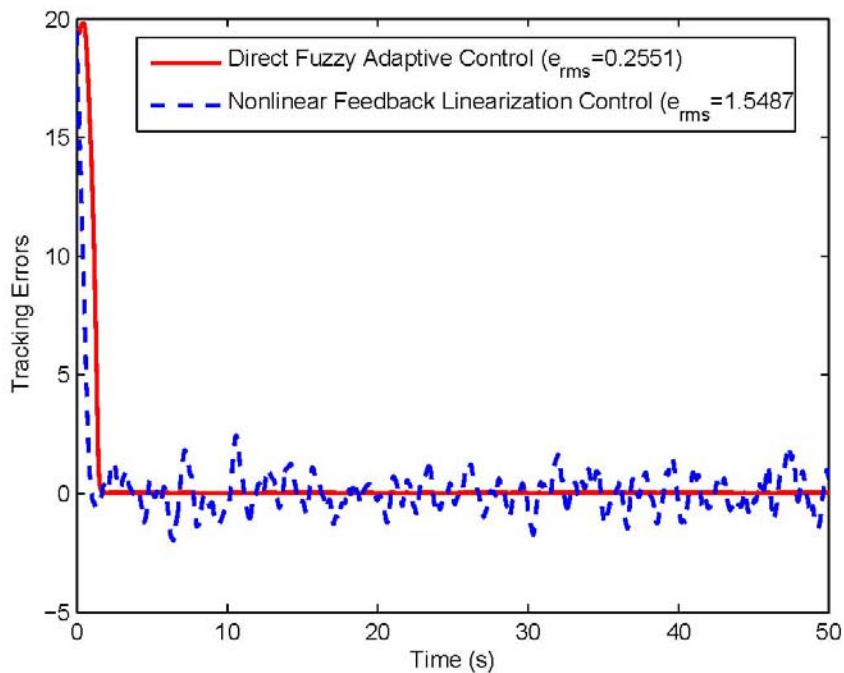


Hình 15: Mô phỏng vận tốc gió thay đổi ngẫu nhiên

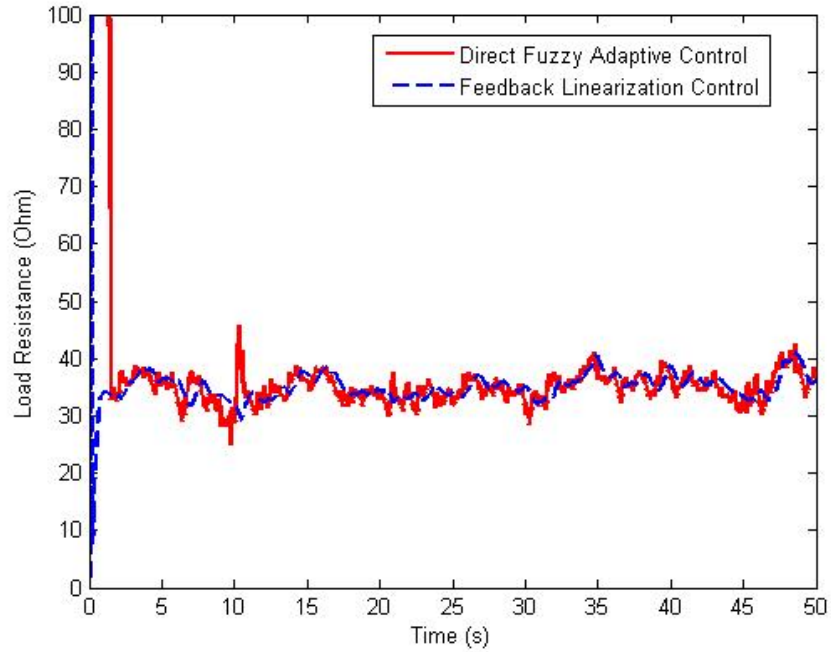
2. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển thích nghi mờ



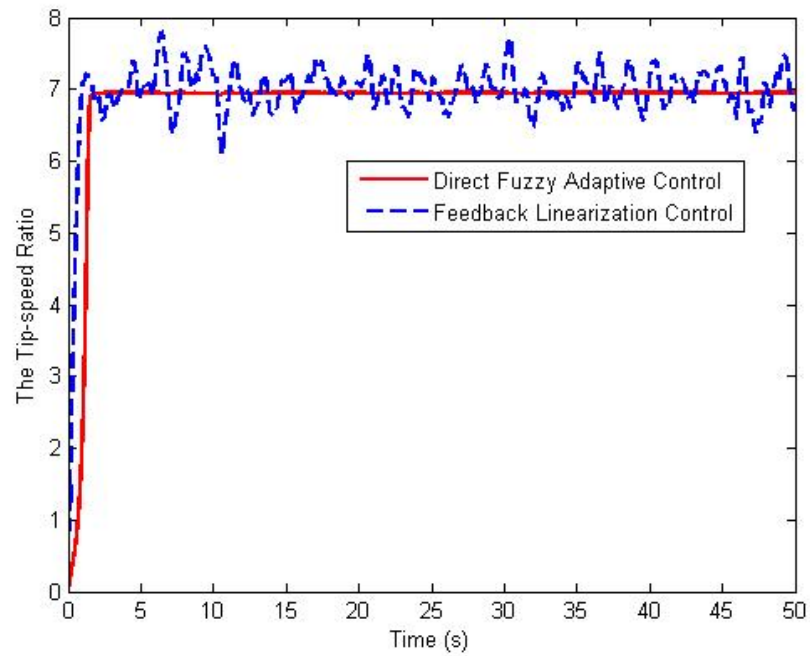
Hình 16: So sánh đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp



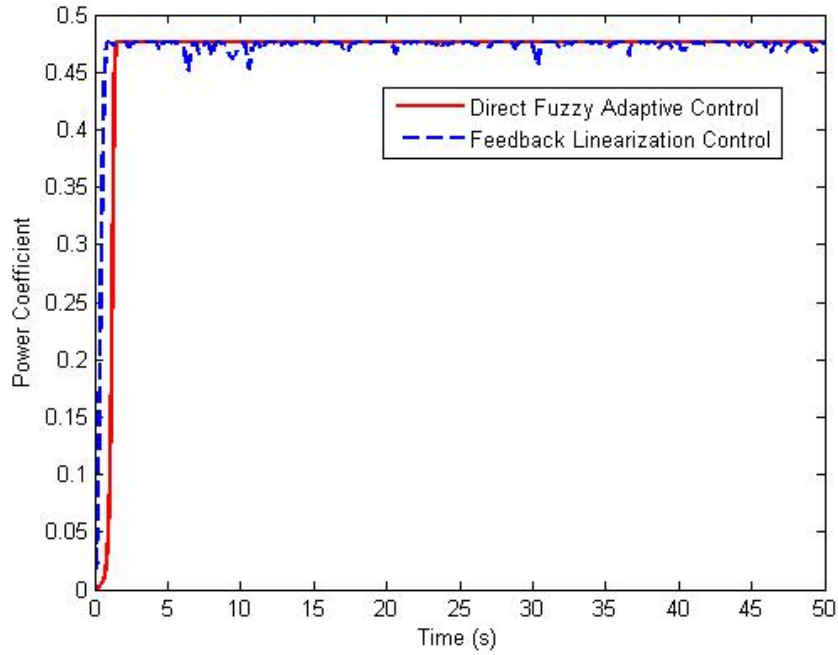
Hình 17: So sánh sai số bám của bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp



Hình 18: So sánh tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp

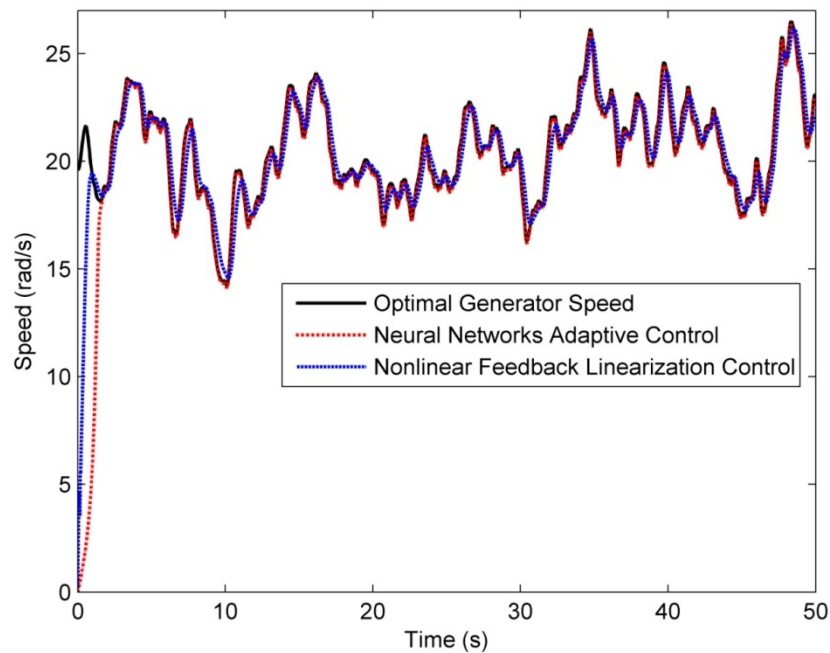


Hình 19: So sánh khả năng duy trì tỉ số vận tốc rìa tối ưu của bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp

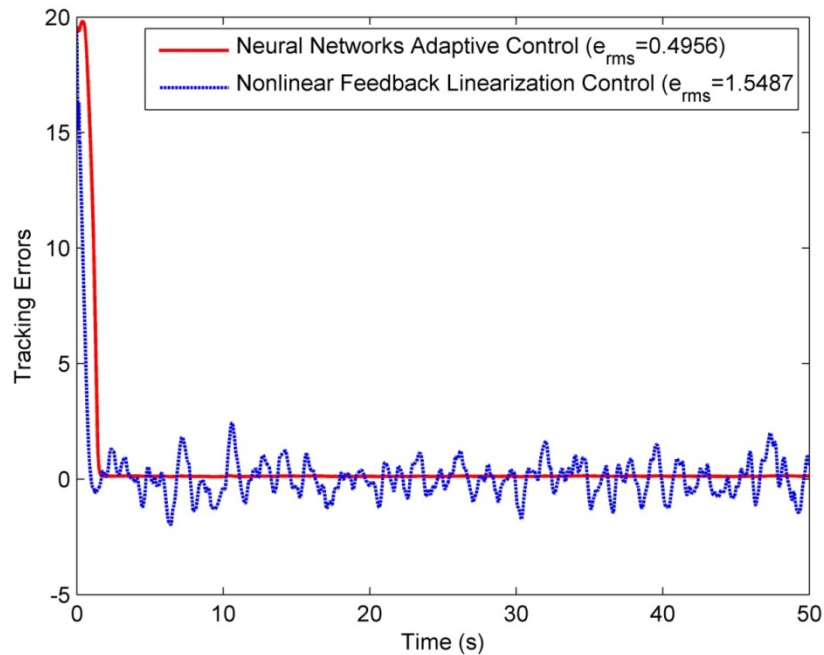


Hình 20: So sánh khả năng duy trì hệ số công suất chuyển đổi tối ưu của bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp

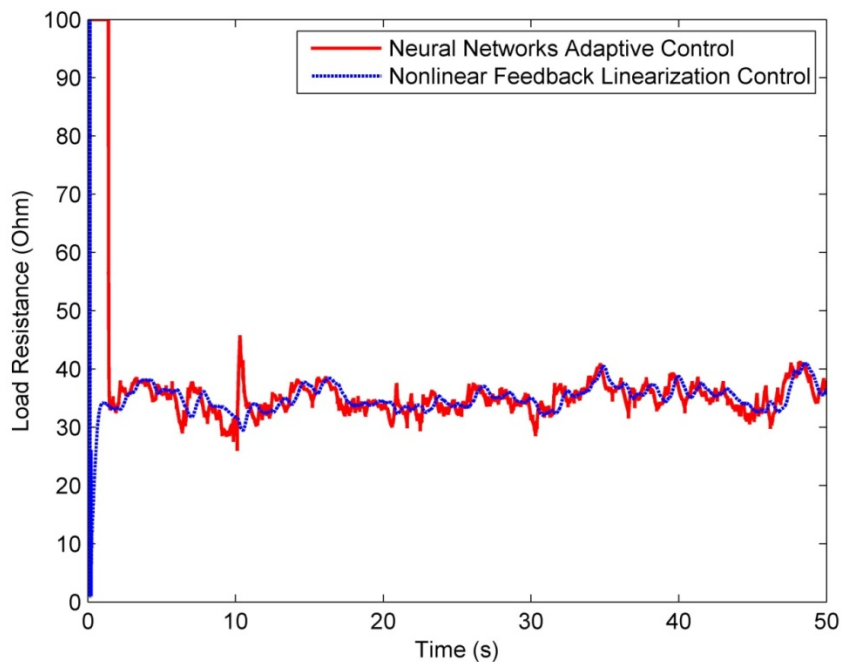
3. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển thích nghi mạng nơron



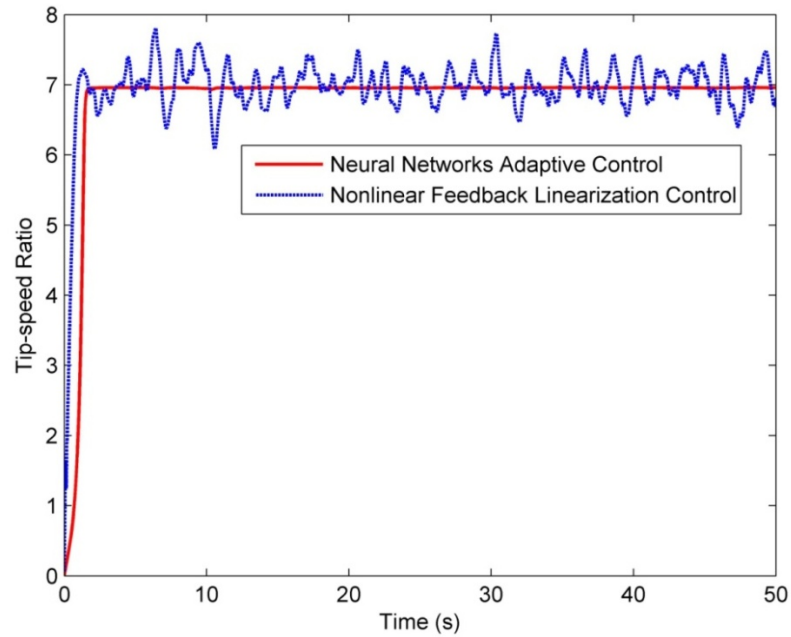
Hình 21: So sánh đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp



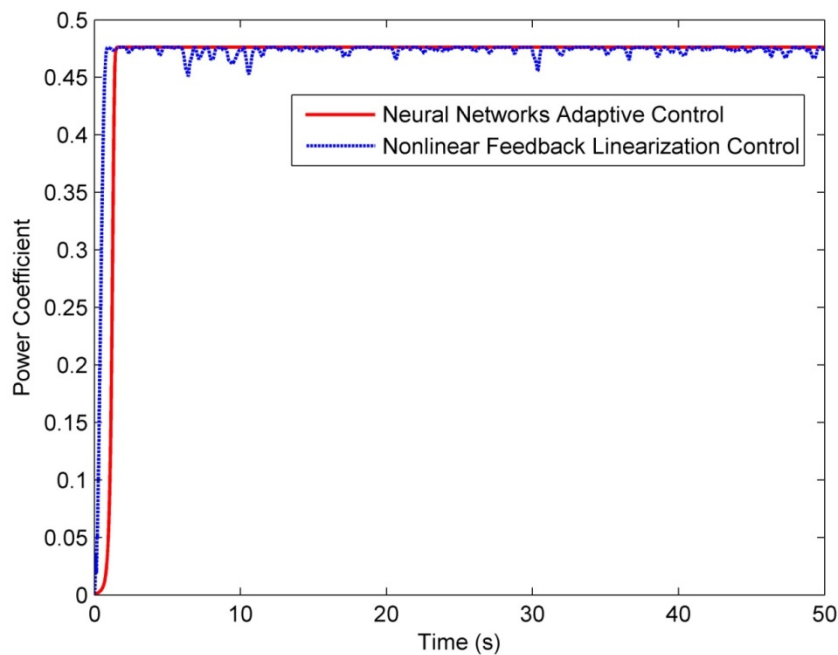
Hình 22: So sánh sai số bám của bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp



Hình 23: So sánh tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp



Hình 24: So sánh khả năng duy trì tỉ số vận tốc rìa tối ưu của bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp



Hình 25: So sánh khả năng duy trì hệ số công suất chuyển đổi tối ưu của bộ điều khiển thích nghi nơron và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp

4. Phân tích kết quả mô phỏng điều khiển thích nghi

Xét về mục tiêu điều khiển bám quỹ đạo tối ưu của vận tốc máy phát thì ta thấy cả bộ điều khiển thích nghi mờ (FAC), bộ điều khiển thích nghi mạng nơron (NNAC) và bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp (NFLC) đều có khả năng bám sát quỹ đạo tham chiếu (Hình 16 và 21). Tuy nhiên, qua so sánh sai số bám quỹ đạo tham chiếu (Hình 17 và 22) cho thấy bộ điều khiển FAC và NNAC có khả năng bám quỹ đạo tham chiếu tốt hơn bộ điều khiển NFLC (tổng bình phương tối thiểu của sai số bám e_{rms} nhỏ hơn). Ngoài ra, kết quả mô phỏng ở Hình 18 và 23 cho thấy tín hiệu điều khiển FAC và NNAC có hiện tượng dao động tại một số thời điểm.

Xét về khả năng tối ưu hóa quá trình chuyển đổi năng lượng thì cả bộ điều khiển FAC, NNAC và NFLC đều có khả năng điều khiển tuabin gió vận hành ở chế độ chuyển đổi năng lượng cực đại, tức là có khả năng duy trì tỉ số vận tốc rìa tối ưu khi vận tốc gió thay đổi liên tục (xem Hình 19 và 24) cũng như duy trì hệ số công suất chuyển đổi cực đại (xem Hình 20 và 25). Tuy nhiên, Hình 20 và 25 cho thấy bộ điều khiển FAC và NNAC có khả năng duy trì trạng thái chuyển đổi năng lượng cực đại ổn định hơn so với bộ điều khiển NFLC.

5. So sánh điều khiển thích nghi mờ và điều khiển thích nghi mạng nơron

So sánh bộ điều khiển thích nghi mờ FAC và bộ điều khiển thích nghi mạng nơron NNAC thì ta thấy cả hai bộ điều khiển này đều vượt trội hơn so với bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp NFLC về phương diện bám quỹ đạo tham chiếu lẫn tối ưu quá trình chuyển đổi năng lượng. Câu hỏi đặt ra là giữa bộ điều khiển thích nghi mờ và bộ điều khiển thích nghi mạng nơron thì bộ điều khiển nào tốt hơn? Qua kết quả mô phỏng được trình bày từ Hình 16 đến 25, ta thấy hai bộ điều khiển này cho kết quả khá tương tự nhau nên rất khó phân biệt được sự khác nhau. Tuy nhiên, qua so sánh tích phân sai lệch sai số bám của hai bộ điều khiển này ở Hình 17 và 22 ta thấy bộ điều khiển FAC có chất lượng điều khiển bám tốt hơn bộ điều khiển NNAC vì tích phân sai lệch sai số bám của NNAC lớn hơn 2 lần so với tích phân sai lệch sai số bám của FAC.

PHẦN KẾT LUẬN

1. Kết luận

Kết quả mô phỏng cho thấy các bộ điều khiển thích nghi cho đáp ứng điều khiển tốt đối với hệ SWES có tính phi tuyến cao và thay đổi theo thời gian. Ngoài ra, so sánh kết quả mô phỏng của các bộ điều khiển thích nghi với bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp cho thấy các bộ điều khiển thích nghi hiệu quả hơn trong quá trình tối ưu hóa chuyển đổi năng lượng gió của hệ SWES.

2. Kiến nghị

Tuy nhiên, thiết kế bộ điều khiển thích nghi cho SWES gặp các khó khăn như tìm các giới hạn vật lý của hàm $\beta(x)$ và sai số cấu trúc $\delta_u(x)$. Các thông số vật lý này rất khó tính toán trong thực tế và thường tìm được bằng phương pháp thử sai. Ngoài ra, cũng tương tự như bộ điều khiển tuyến tính hóa hồi tiếp, các bộ điều khiển thích nghi cũng yêu cầu phải truy xuất được tất cả các biến trạng thái của hệ thống. Điều này không phải lúc nào cũng thực hiện được trong thực tế vì không phải biến trạng thái nào cũng đo lường được. Vì vậy, hướng nghiên cứu mở rộng sắp tới là nghiên cứu thiết kế các bộ ước lượng trạng thái kết hợp với bộ điều khiển thích nghi để nâng cao khả năng ứng dụng của bộ điều khiển thích nghi trong thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Stiebler, *Wind Energy Systems for Electric Power Generation*, Springer-Verlag, 2008.
- [2] C. Abbey, K. Strunz, and G. Joos, “A knowledge-based approach for control of two-level energy storage for wind energy systems,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 24, no. 2, 2009, pp. 539–547.
- [3] S. Teleke, M. Baran, A. Huang, S. Bhattacharya, and L. Anderson, “Control strategies for battery energy storage for wind farm dispatching,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 24, no. 3, 2009, pp. 725–732.
- [4] S. Teleke, M. Baran, S. Bhattacharya, and A. Huang, “Optimal control of battery energy storage for wind farm dispatching,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 25, no. 3, 2010, pp. 787–794.
- [5] Ching-Tsai Pan; Yu-Ling Juan, “A Novel Sensorless MPPT Controller for a High-Efficiency Microscale Wind Power Generation System,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 25, no. 1, 2010, pp. 207–216.
- [6] Vivek Agarwal; Rakesh K. Aggarwal; Pravin Patidar; Chetan Patki, “A Novel Scheme for Rapid Tracking of Maximum Power Point in Wind Energy Generation Systems,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 25, no. 1, 2010, pp. 228–236.
- [7] Yuanye Xia; Khaled H. Ahmed; Barry W. Williams, “A New Maximum Power Point Tracking Technique for Permanent Magnet Synchronous Generator Based Wind Energy Conversion System,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 12, 2011, pp. 3609–3620.
- [8] Jakeer Hussain; Mahesh K. Mishra, “Adaptive Maximum Power Point Tracking Control Algorithm for Wind Energy Conversion Systems,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 31, no. 2, 2016, pp. 228–236.
- [9] Hongliang Liu; Fabrice Locment; Manuela Sechilariu, “Experimental analysis of impact of maximum power point tracking methods on energy efficiency for small-scale wind energy conversion system,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, no. 2, 2017, pp. 389–397.
- [10] I. Munteanu, A. Bratcu, N. Cutuluslis, and E. Ceanga, “*Optimal Control of Wind Energy Systems: Toward a Global Approach*.” Springer, 2008.
- [11] W. Dinghui, X. Lili, and J. Zhicheng, “Fuzzy adaptive control for wind energy conversion system based on model reference,” in *Proceedings of Control and Decision Conference, 2009. CCDC '09. Chinese, June 2009*, pp. 1783–1787.
- [12] J. Qi and Y. Liu, “PID control in adjustable-pitch wind turbine system

- based on fuzzy control,” in Proceedings of 2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation (ICIMA), 2010, vol. 2, May 2010, pp. 341 –344.
- [13] X. Yao, H. Wen, Y. Deng, and Z. Zhang, “Research on rotor excitation neural network PID control of variable speed constant frequency wind turbine,” in Proceedings of International Conference on Electrical Machines and Systems, 2007. ICEMS., Oct. 2007, pp. 560 –565.
- [14] X. Yao, X. Su, and L. Tian, “Wind turbine control strategy at lower wind velocity based on neural network PID control,” in Proceedings of International Workshop on Intelligent Systems and Applications, ISA 2009., May. 2009, pp. 1 –5.
- [15] Xingjia Yao; Xianbin Su; Lei Tian, “Pitch angle control of variable pitch wind turbines based on neural network PID,” in Proceedings of 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2009., May. 2009, pp. 3235 –3239.
- [16] Z. Xing, Q. Li, X. Su, and H. Guo, “Application of BP neural network for wind turbines,” in Proceedings of Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA '09., vol. 1, Oct. 2009, pp. 42 –44.
- [17] H. Khalil, “Nonlinear Systems”, 2nd Edition. Prentice-Hall. Inc., Upper Saddle River, New Jersey, U.S., 1996.
- [18] Phan Đình Chung, Lưu Ngọc An, “So sánh khả năng kết nối lưới yếu của các loại turbine gió”, Tạp chí khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 5, 2017, quyển 1.
- [19] Lê Thái Hiệp, Đoàn Đức Tùng, “Giải pháp vận hành hệ thống phát điện hỗn hợp gió-diesel trong lưới cô lập”, Tạp chí khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 11, 2016, quyển 2.
- [20] Lê Kim Anh, Đặng Ngọc Huy, Xin Ai, “Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp với nguồn pin mặt trời và pin nhiên liệu”, Tạp chí khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 10, 2013.
- [21] Trương Thị Hoa, Ngô Văn Dưỡng, “Giải pháp điều khiển công suất phản kháng cho hệ thống turbin sử dụng PMSG khi được kết nối vào lưới yếu”, Tạp chí khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 4 (53), 2012.
- [22] Nguyễn Văn Đoài, “Nghiên cứu lựa chọn phương án xây dựng để tuabin gió đạt sản lượng tối ưu”, Tạp chí khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 9 (106), 2016.