BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

HCMUTE

CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU KHOA HỌC CẤP TRƯỜNG

NGHIÊN CỨU NÂNG CAO ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG NHIỀU MÁY PHÁT CÓ TÍCH HỢP NĂNG LƯỢNG GIÓ SỬ DỤNG GFPEC

MÃ SỐ: T2016 - 47TĐ

SKC005339

Tp. Hồ Chí Minh, 2017

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KH&CN CẤP TRƯỜNG TRỌNG ĐIỂM

NGHIÊN CỨU NÂNG CAO ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG NHIỀU MÁY PHÁT CÓ TÍCH HỢP NĂNG LƯỢNG GIÓ SỬ DỤNG GFPFC

Mã số: T2016-47TĐ

Chủ nhiệm đề tài: TS. Nguyễn Thị Mi Sa
Thành viên đề tài: TS. Ngô Văn Thuyên
TS. Trương Đình Nhơn

TP. HCM, 03/2017

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
ĐƠN VỊ

CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

Tp. HCM, Ngày 08 tháng 03 năm 2017

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: **NGHIÊN CỨU NÂNG CAO ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG NHIỀU MÁY PHÁT CÓ TÍCH HỢP NĂNG LƯỢNG GIÓ SỬ DỤNG GFPFC**

- Mã số: T2016-47TĐ
- Chủ nhiệm: TS. Nguyễn Thị Mi Sa
- Cơ quan chủ trì: Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM
- Thời gian thực hiện:

2. Mục tiêu:

Đề tài nghiên cứu giải pháp nâng cao độ ổn định động của hệ thống điện nhiều máy phát có tích hợp năng lượng gió bằng cách sử dụng thiết bị bù GUPFC để đảm bảo sự hoạt động bình thường của hệ thống và đảm bảo chất lượng điện năng khi có sự kết nối với hệ thống điện gió. Trong đó bộ điều khiển giảm dao động PID) của GUPFC được thiết kế để tạo những đặc tính giảm dao động thích hợp cho hệ thống dưới các trạng thái làm việc khác nhau.

3. Tính mới và sáng tạo:

Nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển PID cho GUPFC để nâng cao tính ổn định của hệ thống điện nhiều máy phát có tích hợp năng lượng gió.

4. Kết quả nghiên cứu:

Đánh giá mức độ đáp ứng của hệ thống khi có bộ điều khiển PID thiết kế cho GUPFC.

5. Sản phẩm:

Báo cáo tổng kết và Chương trình mô phỏng trên Matlab

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:

Làm cơ sở cho các nghiên cứu ứng dụng tiếp theo và là tài liệu tham khảo cho các học viên cao học làm đề tài tốt nghiệp.

Trưởng Đơn vị
(ký, họ và tên)

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

TS. Nguyễn Thị Mi Sa

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Dynamic Stability Improvement of a Multi-machine Power System Connected with a DFIG-based Wind Farm Using a Generized Unified Power-Flow Controller (GUPFC)

Code number: T2016-47TĐ

Coordinator: Nguyen Thi Mi Sa, PhD

Implementing institution: University of Technology and Education Hochiminh City

Duration: from to

2. Objective(s):

Study of designing PID damping controller for GUPFC to enhance the dynamic stability of a multi-machine power system connected with a DFIG-based wind farm

3. Creativeness and innovativeness:

Design PID damping controller for GUPFC to enhance the dynamic stability of a multi-machine power system connected with a DFIG-based wind farm.

4. Research results:

Estimating the effective of the studied system with and without PID controller for inverter.

5. Products:

Report and Matlab program.

6. Effects, transfer alternatives of reserach results and applicability:

It can be used as a reference for master students to perform their thesis.

CHƯƠNG 1: 1
GIỚI THIỆU CHUNG 1
1.1. Lý do chọn đề tài và tính cấp thiết của đề tài. 1
1.2. Tổng quan tình hình nghiên cứu. 2
1.3. Mục tiêu nghiên cứu, đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu. 4
1.4. Phương pháp nghiên cứu: 4
1.5. Đóng góp và điểm mới của đề tài. 4
1.6. Nội dung của đề tài: 5
CHƯƠNG 2: 6
CẤU HÌNH VÀ MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG. 6
2.1. Cấu hình của hệ thống 6
2.2. Hệ thống bốn máy-hai vùng: 7
2.2.1. Mô hình máy phát điện đồng bộ: 8
2.2.2. Mô hình hệ thống kích từ: 9
2.2.3. Các mô hình bộ điều chỉnh tốc độ và tua bin hơi nước: 12
2.2.4. Mô hình turbine hơi nước: 12
2.2.5. Mô hình bộ điều chỉnh tốc độ 13
2.3. Mô hình hóa của hệ thống tua bin gió dựa trên DFIG 14
2.3.1 Cấu hình của hệ thống tua bin gió dựa trên DFIG 14
2.3.2 Mô hình tốc độ gió. 15
2.3.3 Mô hình tua bin gió: 17
2.3.4 Mô hình miêu tả mối quan hệ về khối lượng, độ đàn hồi giữa máy phát và tua bin: 17
2.3.5 Mô hình máy phát điện cảm ứng nguồn kép (DFIG) 19
2.3.6 Mô hình bộ nghịch lưu xung đối: 20
2.3.7 Bộ điều khiển thuộc khối nghịch lưu phía máy phát : 21
2.3.8 Bộ điều khiển thuộc khối nghịch lưu phía lưới: 23
2.3.9 Bộ điều khiển góc cánh quạt 25
2.4. Mô hình GUPFC 26
2.4.1 Mô hình toán học của GUPFC: 26
2.4.2 Bộ điều khiển luồng công suất GUPFC 31

2.5. Phương trình mạng: 33
CHƯƠNG 3: 36
THIẾT KẾ CỦA BỘ ĐIỀU KHIỂN GIẢM DAO ĐỘNG CHO GUPFC. 36
CHƯƠNG 4: 43
MÔ PHỎNG TRONG MIỀN THỜI GIAN 43
4.1. Sự cố ngắn mạch 3 pha tại đường dây truyền tải, không thay đổi cấu trúc hệ thống. 43
4.2. Sự cố ngắn mạch ba pha tại đường dây truyền tải với việc thay đổi cấu trúc mạng. 47
CHƯƠNG 5: 50
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI. 50
5.1 Kết luận: 50
5.2 Hướng phát triển đề tài: 51
TÀI LIỆU THAM KHẢO: 52
PHỤ LỤC 57

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 2.1 Cấu hình của hệ thống được dùng để nghiên cứu 7
Hình 2.2 Sơ đồ đơn tuyến của hệ bốn máy-hai vùng được nghiên cứu 8
Hình 2.3 Sơ đồ khối của các mô hình hai trục của SG. 9
Hình 2.4 Sơ đồ khối của hệ thống kích từ IEEE loại I. 10
Hình 2.6 Mô hình bộ điều chỉnh tốc độ cho tua bin hơi nước. 14
Hình 2.7 Sơ đồ đơn tuyến của DFIG gió được dẫn động bởi một VSWT thông qua GB. 14
Hình 2.8 Mô hình hai khối theo thứ tự giảm đã đơn giản hóa của bộ dẫn động tua bin gió (Wind turbine) WT. 18
Hình2.9 Mạch điện tương đương theo trục dq của DFIG. 19
Hình 2.10 Mô hình của bộ nghịch lưu xung đối 20
Hình 2.11 Sơ đồ khối điều khiển của bộ điều khiển RSC. 23
Hình 2.12 Hệ quy chiếu định hướng từ thông stator. 23
Hình 2.13 Sơ đồ khối của bộ điều khiển GSC 24
Hình 2.14 Hệ quy chiếu hướng điện áp stator 25
Hình 2.15 Sơ đồ điều khiển của bộ điều khiển góc cánh quạt 26
Hình 2.16. Nguyên tắc hoạt động của GUPFC với ba bộ chuyển đổi. 28
Hình 2.17 Mạch tương đương của GUPFC. 28
Hình 2.18 Sơ đồ khối điều khiển của GUPFC 32
Hình 2.19 Tích hợp mô hình vào hệ thống 34
Hình 2.20 Chuyển đổi từ hệ quy chiếu rotor thứ i của máy phát điện sang hệ quy chiếu chung D-Q. 35
Hình 3.1 Sơ đồ khối điều khiển góc pha α_{sh} của GUPFC bao gồm hai bộ điều khiển PID. 37

CHƯƠNG 1:

GIỚI THIỆU CHUNG

1.1.Lý do chọn đề tài và tính cấp thiết của đề tài.

Sự ổn định hệ thống điện được xem như là một vấn đề quan trọng đối với vận hành an toàn hệ thống điện từ những năm 1920 [1]. Nhiều sự cố mất điện lớn có nguyên nhân do sự không ổn định của hệ thống điện đã được phân tích trong [2]. Điều khiển ổn định hệ thống điện là một trong những nhiệm vụ quan trọng trong vận hành hệ thống điện [3].

Với các vấn đề môi trường toàn cầu và sự thiếu hụt của nhiên liệu hóa thạch, nhu cầu của năng lượng tái tạo tăng lên từng ngày. Trong đó điện gió đã và đang phát triển mạnh mẽ và dần trở thành nguồn năng lượng phát triển nhanh nhất thế giới. Từ 2010 trở về sau, tỷ lệ công suất gió tăng trưởng hàng năm trên thế giới là 20% và ước tính sẽ đạt được 1.2 triệu MW đến cuối năm 2020 [4]. Tại Đan Mạch điện gió chiếm 20% trong tổng nguồn điện năng của cả nước và dự kiến đạt mức 50% thị phần sản lượng điện gió năm 2025 [5]. Tuy nhiên, một trong những vấn đề quan trọng khi tích hợp nguồn năng lượng này vào lưới điện quốc gia là sự tác động lên độ ổn định hệ thống điện.

Các thiết bị hệ thống truyền tải điện xoay chiều linh hoạt (Flexible AC transmission systems) (FACTS) có hiệu suất cao trong việc cải thiện cả tính ổn định và việc giảm dao động của một hệ thống điện [6]. Do đáp ứng nhanh, những thiết bị này được dùng để điều chỉnh tự động cấu hình mạng điện để nâng cao đặc tính ổn định tĩnh cũng như ổn định động [7]. Có nhiều loại thiết bị FACTS khác nhau, loại mắc nối tiếp với đường dây, loại mắc song song hoặc kết hợp giữa mắc song song và nối tiếp. Mô tả chi tiết của các thiết bị FACTS có thể được tìm thấy trong [8-10].

Các thiết bị FACTS hiện đại ngày nay có thể được vận hành bằng cách kết

hợp linh hoạt hai hay nhiều bộ nghịch lưu. Có hai cấu hình vận hành mới, là bộ điều khiển dòng công suất trên mỗi nhánh (Interline powerflow controller) (IPFC) và bộ điều khiển dòng công suất hợp nhất suy rộng (Generalized unified power flow controller) (GUPFC) [11]. Trong đó, IPFC và GUPFC có khả năng điều khiển dòng công suất của nhiều đường dây hay một mạng điện con so với chỉ điều khiển dòng công suất của nhiều đường dây đơn của bộ điều khiển dòng công suất hợp nhất (unified power-flow controller) (UPFC) [12] và thiết bụ bù tĩnh đồng bộ nối tiếp (Static synchronous series compensator) (SSSC) [13-17]. GUPFC đã được đề xuất trong nhiều nghiên cứu và đã chứng tỏ được khả năng nâng cao sự ổn định của hệ thống. Bởi vậy, đề tài chọn thiết bị này và đề xuất mô hình điều khiển mới để nâng cao đáp ứng động của một hệ thống điện nhiều máy điển hình.

1.2. Tổng quan tình hình nghiên cứu.

Các máy phát điện gió thường được sử dụng là máy phát điện cảm ứng (Induction Generator) IG, máy phát điện không đồng bộ nguôn kép (Douly- Feed Induction Generator) DFIG, máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (Permanent-Magnet Synchronous Generator) (PMSG). Trong đó, tua bin gió kết hợp DFIG là một trong những hệ thống chuyển đổi năng lượng gió phổ biến nhất, do hiệu suất làm việc cao, tổn thất nhỏ, điều chỉnh hệ số công suất dễ dàng, vận hành với tốc độ thay đổi, khả năng điều khiển cả bốn góc phần tư của công suất tác dụng và phản kháng [18-20].

Trong máy phát điện gió DFIG, các cuộn dây stato được mắc trực tiếp với lưới điện và các cuộn dây rotor được cấp điện thông qua các bộ nghịch lưu nguồn áp để điều khiển công suất ngõ ra và tần số [21-22]. Trong máy phát điện nguồn kép DFIG, cuộn dây rotor và stator có thể cung cấp công suất tác dụng, nhưng chiều của dòng công suất qua mạch điện rotor lệ thuộc vào tốc độ gió và theo tốc độ máy phát điện. Khi dưới tốc độ đồng bộ, công suất tác dụng đi từ lưới điện đến phía rotor và bộ điều khiển phía rotor (Rotor side converter) (RSC) hoạt động giống như bộ nghịch lưu nguồn áp trong khi bộ điều khiển phía lưới (Grid side converter) (GSC) hoạt động giống như một bộ chỉnh lưu. Tuy nhiên, khi DFIG

vận hành trên tốc độ đồng bộ, RSC hoạt động như bộ chỉnh lưu và GSC hoạt động như bộ nghịch lưu. Mô hình điều khiển trong [23, 24] cho máy phát điện gió DFIG có thể cả công suất tác dụng và phản kháng.

Tác động của các máy phát điện gió về động lực học được nghiên cứu trong [25-26]. Trong [27], những ảnh hưởng của các thông số hệ thống, điểm vận hành và công suất lưới trong hệ thống điện gồm một máy nối với thanh cái vô cùng lớn (one-machine-infinite-bus) (OMIB) đã được nghiên cứu. Ảnh hưởng của máy điện gió lên các chế độ dao động của một hệ thống điện hai khu vực-bốn máy được nghiên cứu trong [28]. Nghiên cứu [29] đã chỉ ra rằng các loại máy phát điện gió có tham gia vào việc tạo các dao động hệ thống điện. Bên cạnh đó, việc nghiên cứu được tiến hành trong [30] đã chỉ ra những tác động bất lợi và có lợi của việc sử dụng DFIG vào sự ổn định quá độ hệ thống. Việc nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển cho một máy DFIG nhằm giảm dao động của hệ thống đã được đề xuất [31-33].

GUPFC đã được đề xuất để thực hiện việc điều khiển dòng công suất đồng thời của nhiều nhánh dây và nâng cao sự ổn định hệ thống điện [34]. Kết hợp ba hoặc nhiều bộ chuyển đổi công suất làm việc cùng nhau, GUPFC mở rộng khái niệm điều khiển dòng công suất và điện áp vượt ra ngoài những gì có thể đạt được với bộ điều khiển UPFC đã được biết đến. GUPFC có thêm lợi thế và điều khiển linh hoạt hơn một UPFC. Tuy nhiên, rất ít tài liệu dành cho GUPFC với hơn ba chuyển đổi.

Với các ứng dụng thực tế của GUPFC trong hệ thống điện, một số các công trình nghiên cứu về GUPFC đã được thực hiện trong những năm gần đây [35]-[37], hầu hết trong số đó đã tập trung vào thiết kế bộ điều khiển cho GUPFC. Chỉ một vài tài liệu tập trung vào mô hình toán học trong phân tích hệ thống điện. Một mô hình cơ bản của GUPFC bao gồm một bộ chuyển đổi công suất mắc song song và hai bộ chuyển đổi công suất mắc nối tiếp được đề xuất trong [36]. Trong [37], mô hình GUPFC dành cho mô phỏng độ điện từ đã được báo cáo và các kết quả thực nghiệm đã được đưa ra trên một hệ thống khá đơn giản.

Về cơ bản, UPFC, là một bộ điều khiển FACTS với hai bộ chuyển đổi mắc nối tiếp và mắc song song, đã được công nhận là có khả năng điều khiển dòng công suất và điện áp tốt hơn, vượt ra ngoài những gì có thể đạt được bởi một điều khiển FACTS có một bộ chuyển đổi. Tuy nhiên, UPFC có thể điều khiển dòng công suất của chỉ một đường dây truyền tải. Mặt khác, so với UPFC và IPFC, GUPFC có cấu trúc linh hoạt và bao gồm ít nhất ba bộ chuyển đổi công suất, chính vì thế GUPFC có thể được sử dụng để điều khiển dòng công suất của một nhóm các đường dây và các mạng điện con.

1.3. Mục tiêu nghiên cứu, đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu.

Đề tài này đề xuất thiết bị GUPFC cùng với những bộ điều khiển giảm dao động nhằm nâng cao ổn định động của một hệ thống bốn máy-hai vùng kết nối với một nhà máy điện gió ngoài khơi loại cảm ứng nguồn kép dưới các nhiễu loạn khác nhau. Trong cấu hình điều khiển mới này, bộ điều khiển giảm dao động loại (Proportional integral derivative) PID của GUPFC được thiết kế để đóng góp những đặc tính giảm dao động thích hợp cho các chế độ chính của hệ thống điện dưới các trạng thái làm việc khác nhau. Có thể kết luận từ các kết quả mô phỏng rằng, GUPFC khi được kết hợp với bộ điều khiển PID thể hiện tính ổn định tốt hơn khi hệ thống chịu các nhiễu loạn nghiêm trọng khác nhau.

1.4.Phương pháp nghiên cứu:

Tổng hợp các bài báo, tài liệu tham khảo phục vụ cho quá trình nghiên cứu, sử dụng công cụ Matlab/Simulink phục vụ trong quá trình mô phỏng. Đánh giá kết quả đạt được của đề tài và hướng phát triển của đề tài.

1.5.Đóng góp và điểm mới của đề tài.

Trong đề tài này, mô hình hệ thống điện bốn máy – hai vùng kết hợp với điện gió ngoài khơi DFIG kết hợp GUPFC và bộ điều khiển giảm dao động PID được nghiên cứu để chứng minh hiệu suất của GUPFC trong việc nâng cao tính ổn định của hệ thống.

Để đạt được mục tiêu này, công việc sẽ được chia thành các bước sau:

(a) Thiết lập mô hình đầy đủ của hệ thống trong hệ quy chiếu trục dq.

(b) Thiết kế bộ điều khiển giảm dao động tỷ lệ-tích phân-đạo hàm (PID) cho GUPFC bằng cách sử dụng phương pháp gán cực.

(c) Thực hiện mô phỏng ổn định động và quá độ của hệ thống khi phải chịu các nhiễu loạn khác nhau để chứng minh tính hiệu quả của các PID được thiết kế dành cho GUPFC.

1.6.Nội dung của đề tài:

Đề tài được tổ chức như sau. Trong chương 2, cấu hình hệ thống và các mô hình toán học của hệ thống được trình bày. Các quá trình thiết kế của bộ điều khiển giảm dao động PID dành cho GUPFC được mô tả trong chương 3. Các kết quả mô phỏng theo miền thời gian được sử dụng để chứng minh hiệu quả của bộ điều khiển PID giảm dao động được thiết kế cho GUPFC dưới nhiều các điều kiện nhiễu loạn được trình bày trong chương 4. Kết luận và các công việc trong tương lai được rút ra trong chương 5. Cuối cùng, các tham số được sử dụng cho các mô phỏng có thể được tìm thấy trong phần phụ lục.

CHƯƠNG 2:

CẤU HÌNH VÀ MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG

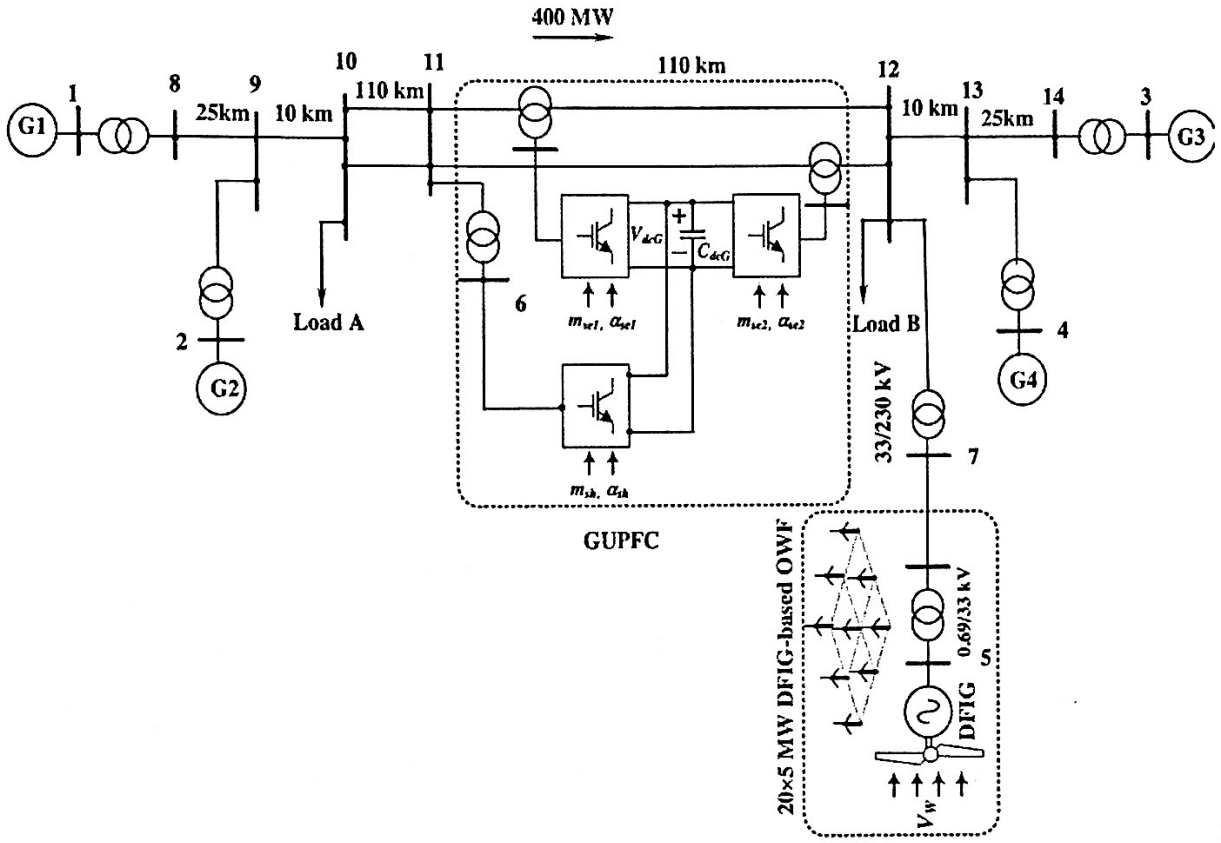
Chương này giới thiệu cấu hình và mô hình toán học của hệ thống bốn máy-hai vùng [38] kết hợp với điện gió ngoài khơi DFIG kết hợp GUPFC. Mô hình này được thành lập dựa trên một hệ quy chiếu trục d-q. Hệ đơn vị cơ bản (pu) được sử dụng với công suất cơ bản là 100 MVA ngoại trừ biến thời gian *t* theo giây.

2.1.Cấu hình của hệ thống

Hệ thốngnhiều máy phát bao gồm hai vùng hoàn toàn đối xứng liên kết với nhau thông qua hai đường dây truyền tải song song 230-kV dài 220-km được minh hoạ trong hình 2.1. Mỗi vùng được trang bị hai máy phát điện đồng bộ rotor dây quấn giống hệt nhau 20 kV/900 MVA. Các máy điện đồng bộ có tham số giống hệt nhau được liệt kê trong phần phụ lục. Các máy phát điện đều có bộ điều chỉnh tốc độ và bộ kích từ. Mỗi máy phát điện tạo ra công suất tác dụng ở khoảng 700 MW. Các tải được đại diện bởi các trở kháng hằng số và phân chia giữa hai vùng theo cách mà sẽ có một luồng công suất truyền tải là 400 MW từ vùng 1 đến vùng 2.

Một máy phát điện gió ngoài khơi loại DFIG với mức công suất danh định 100 MW được kết nối với bus12 của hệ thống nhiều máy phát thông qua một biến thế nâng áp 33/230 kV. GUPFC được cài đặt trên đường dây truyền tải giữa bus 11 và bus 12. Trong hình 2.1, GUPFC có ba bộ chuyển đổi công suất, trong đó hai bộ chuyển đổi công suất được kết nối nối tiếp với các đường dây tải song song từ bus 11 và bus 12 trong khi một bộ chuyển đổi công suất được kết nối song song với đường dây truyền tải tại bus 11. Phía DC của ba bộ chuyển đổi công suất được kết nối với nhau thông qua một liên kết DC chung. Mô hình toán học được thực

hiện của hệ thống nghiên cứu được mô tả như dưới đây.

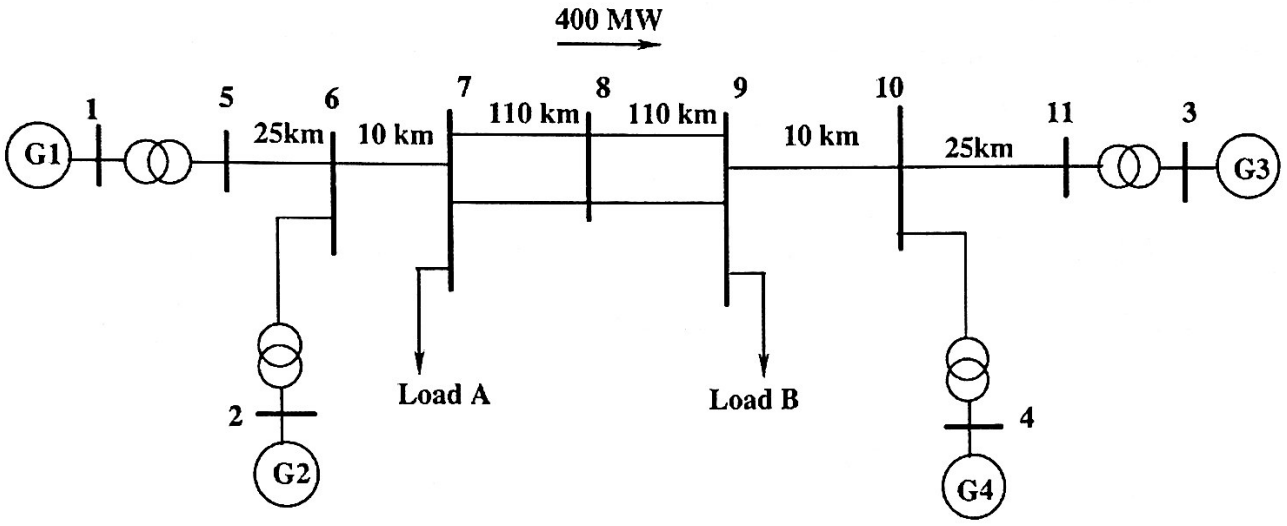


Hình 2.1 Cấu hình của hệ thống được dùng để nghiên cứu

2.2.Hệ thống bốn máy-hai vùng:

Hệ thống bốn máy phát-hai vùng đã được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu ổn định hệ thống điện được thể hiện trong hình 2.2. Các thông số đầy đủ của hệ thống này có thể được tham khảo ở [38]. Hệ thống điện này được khảo sát trong các tài liệu quốc tế (ví dụ như, các bài báo IEEE, IET, vv.) và đã trở thành một mô hình chuẩn cho việc phân tích dao động liên vùng, việc thiết kế và thử nghiệm của các bộ ổn định hoặc các bộ điều khiển giảm dao động và mô hình hóa dành cho các mục đích mô phỏng.

Hệ thống nhiều máy này bao gồm hai vùng tương tự nhau kết nối bằng một liên kết yếu. Mỗi vùng bao gồm hai đơn vị ghép nối, mỗi đơn vị có một giá trị danh định là 900 MVA và 20 kV. Mỗi máy phát điện được dẫn động bởi tua bin hơi nước và các bộ phận liên quan, bộ điều chỉnh tốc độ và hệ thống kích từ. Đơn vị cơ bản hệ thống là 100MVA và tần số của hệ thống là 60 Hz.



Hình 2.2 Sơ đồ đơn tuyến của hệ bốn máy-hai vùng được nghiên cứu.

2.2.1. Mô hình máy phát điện đồng bộ:

Nhiều mô hình toán học khác nhau đặc trưng cho các đặc tính vận hành của một máy phát điện đồng bộ SG trong nghiên cứu sự ổn định hệ thống điện đã được đề xuất. Mức độ đơn giản hóa của các mô hình này là dựa trên một số giả thuyết hợp lý của việc lựa chọn của phép biến đổi Park và các biến trạng thái được sử dụng, đó là những yếu tố chính dẫn đến sự khác biệt giữa các mô hình này. Bậc của mô hình SG hoặc số lượng phương trình vi phân của một SG có thể dao động từ bậc tám trong mô hình đầy đủ với bốn mạch điện rotor đến bậc hai trong mô hình cổ điển với góc mô-men (δ) và tốc độ quay (ω) là các biến trạng thái.

Trong hệ thống nhiều máy phát, mỗi SG được đại diện bởi một mô hình hai trục có sơ đồ khối được hiển thị trong hình 2.3. Các phương trình toán học cụ thể như sau:

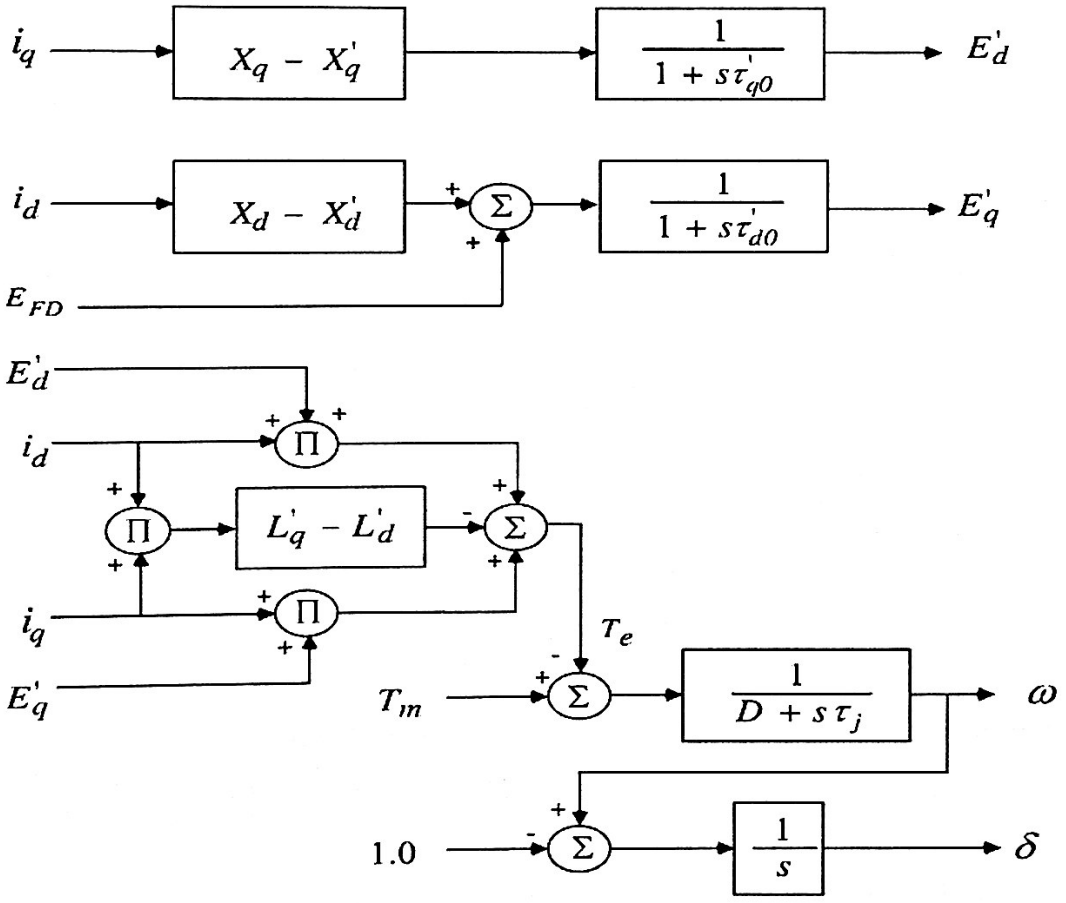
$$\tau'_{q0i}p(E'_{di})=-E'_{di}-(X_{qi}-X'_{qi})i_{qi} \quad (2.1)$$

$$\tau'_{d0i}p(E'_{qi})=-E'_{qi}+E_{FDi}+(X_{di}-X'_{di})i_{di} \quad (2.2)$$

$$\tau_{ji}p(\omega_i)=T_{mi}-[i_{di}E'_{di}+i_{qi}E'_{qi}-(L'_{qi}-L'_{di})i_{di}i_{qi}]-D_i\omega_i \quad (2.3)$$

$$p(\delta_i)=\omega_b(\omega_i-1) \quad (2.4)$$

Trong đó, T_{mi} là mô men cơ; E_{di}' và E_{qi}' là các điện áp quá độ trục d và q; E_{FDi} là điện áp kích từ, τ_{ji} and D_i là hằng số quán tính và hệ số giảm chấn (giảm dao động); δ_i and ω_i là góc rotor và tốc độ; ω_b là tốc độ cơ bản; τ'_{d0i} và τ'_{q0i} là hằng số thời gian của trục d và q; i_{di} và i_{qi} là dòng điện của trục d và q; X_{di} và X'_{di} là điện kháng đồng bộ và điện kháng quá độ của trục d; X_{qi} và X'_{qi} là điện kháng đồng bộ và điện kháng quá độ của trục q của máy phát điện đồng bộ SG thứ *i* [39].



Hình 2.3 Sơ đồ khối của các mô hình hai trục của SG.

2.2.2. Mô hình hệ thống kích từ:

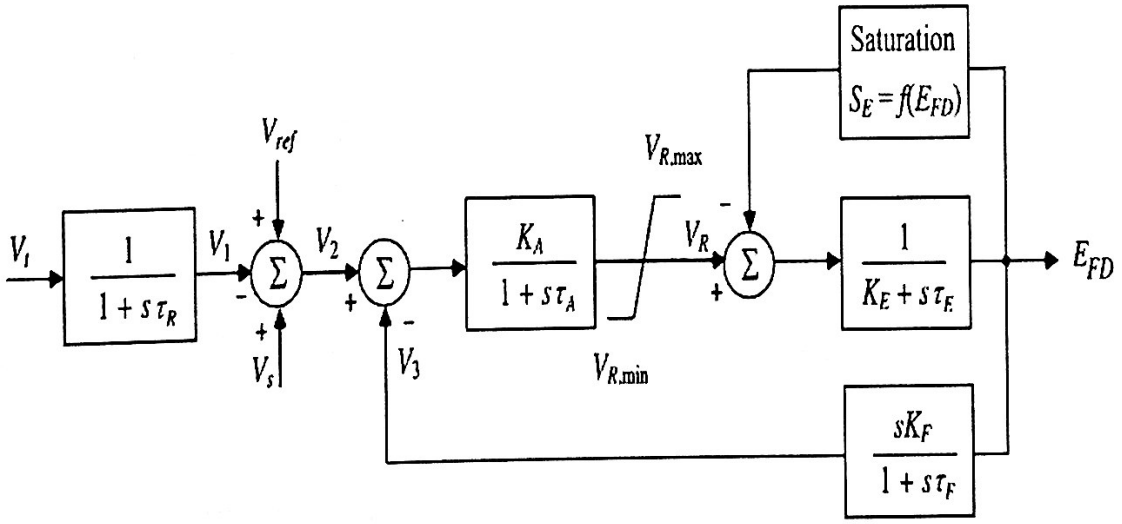
Mô hình hệ thống kích từ được sử dụng trong nghiên cứu này là hệ thống kích từ loại I theo IEEE có sơ đồ khối được thể hiện trong hình 2.4 [40].

Khối đầu tiên là một hằng số thời gian đơn giản τ_R đại diện cho thời gian trễ của các bộ lọc ngõ vào. Đối với phần lớn hệ thống, τ_R là rất nhỏ và có thể được coi là bằng không. Trong hệ thống này, τ_R được bỏ qua.

Điểm lấy tổng đầu tiên so sánh điện áp tham chiếu của bộ điều chỉnh V_{ref} với ngõ ra của bộ lọc ngõ vào V_1 để xác định sai số điện áp ngõ vào V_2 đến bộ khuếch đại điều chỉnh điện áp. Hầu hết các chương trình máy tính không cần một ngõ vào V_{ref}, mà đúng hơn là tự tính toán giá trị thích hợp bằng cách giả sử V_t tại t = 0 là giá trị thích hợp.

Điểm lấy tổng thứ hai kết hợp sai số điện áp ngõ vào V_2 với tín hiệu vòng giảm dao động chính kích từ V_3.

Hàm truyền của bộ điều chỉnh điện áp được thể hiện như một khuếch đại K_A và một hằng số thời gian τ_A. Theo sau khối này, các bộ giới hạn giá trị tối đa và tối thiểu tại ngõ ra của bộ điều chỉnh điện áp được áp dụng để tín hiệu với sai lệch lớn ở ngõ vào không thể tạo ra ở ngõ ra bộ điều chỉnh mà vượt quá giới hạn thực tế.



Hình 2.4 Sơ đồ khối của hệ thống kích từ IEEE loại I.

Điểm lấy tổng tiếp theo trừ đi một tín hiệu mà đại diện bởi hàm bão hòa, $S_E = f(E_{FD})$ của bộ kích từ, từ ngõ ra của bộ điều chỉnh điện áp V_R. Có nghĩa là các điện áp ngõ ra bộ kích từ (hoặc điện áp kích từ tương đương của máy phát E_{FD}) được nhân với một hàm bão hòa phi tuyến và được trừ đi bởi tín hiệu ngõ ra của bộ điều chỉnh điện áp. Các kết quả được dùng cho khối hàm truyền của bộ kích từ

$1/(K_E + s\tau_E)$.

Để thiết lập các điều kiện ban đầu, K_E thường được chọn bằng về biên độ với hàm bão hòa tại giá trị ban đầu E_{FD}. Tại giá trị này, từ trường song song sẽ bù chính xác cho giá trị bão hòa của bộ kích từ và không cần có ngõ ra bộ điều chỉnh để thiết lập giá trị ban đầu của E_{FD} . Đối với những hệ thống với một bộ kích từ độc lập như vậy, ngõ ra bộ điều chỉnh được yêu cầu cung cấp từ trường kích từ và thiết lập giá trị ban đầu của E_{FD}.

Vòng lặp chính giảm dao động được cung cấp bởi hàm truyền hồi tiếp $sK_F/(1+ s\tau_F)$ từ ngõ ra bộ kích từ E_{FD} đến điểm lấy tổng đầu tiên.

Nên được nhấn mạnh rằng có một sự tương tác giữa giá trị trần của bộ kích từ E_{FDmax}, giá trị trần của bộ điều chỉnh $V_{R,max}$, giá trị kích từ bão hòa S_E và K_E, giá trị bão hòa kích từ được thỏa mãn các điều kiện ổn định tĩnh:

$$V_R-(K_E+S_E)E_{FD}=0,\ \ E_{FDmin}<E_{FD}<E_{FDmax} \tag{2.5}$$

Phương trình vi phân của hệ thống kích từ mà được sử dụng trong hình 2.4 được trình bày như sau, với τ_R được bỏ qua.

$$(\tau_E)p(E_{FD})=V_R-f(E_{ED})-K_EE_{ED} \tag{2.6}$$

$$(\tau_A)p(V_R)=K_A(V_{ref}+V_s-V_t-V_3)-V_R \tag{2.7}$$

$$(\tau_F)p(V_3)=K_F(V_R-f(E_{ED})-K_EE_{FD})/\tau_E-V_3 \tag{2.8}$$

Trong đó:

$$V_t=\frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{v_{cd}^2+v_{cq}^2}$$

là điện áp đầu cực máy phát (pu).

Trong phương trình trên, tất cả đại lượng là ở pu, ngoại trừ thời gian là theo giây. Hàm bão hòa $S_E=f(E_{FD})$ có thể được coi xấp xỉ bằng hàm mũ, tức là,

$$S_E=f(E_{FD})=A_{EX}\exp(B_{EX}E_{FD}) \tag{2.9}$$

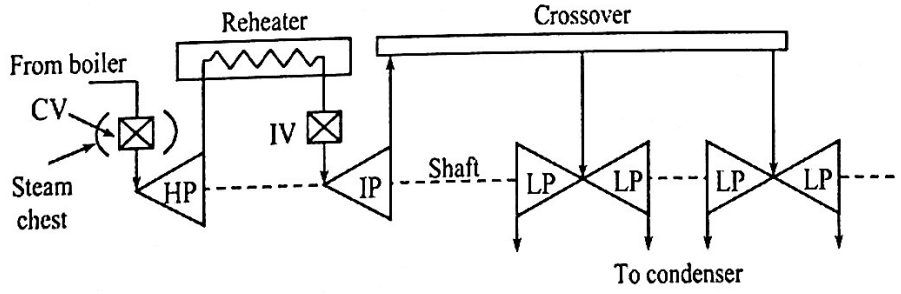
Trong đó các hệ số A_{EX} và B_{EX} được tính toán từ dữ liệu về sự bão hòa.

2.2.3. Các mô hình bộ điều chỉnh tốc độ và tua bin hơi nước:

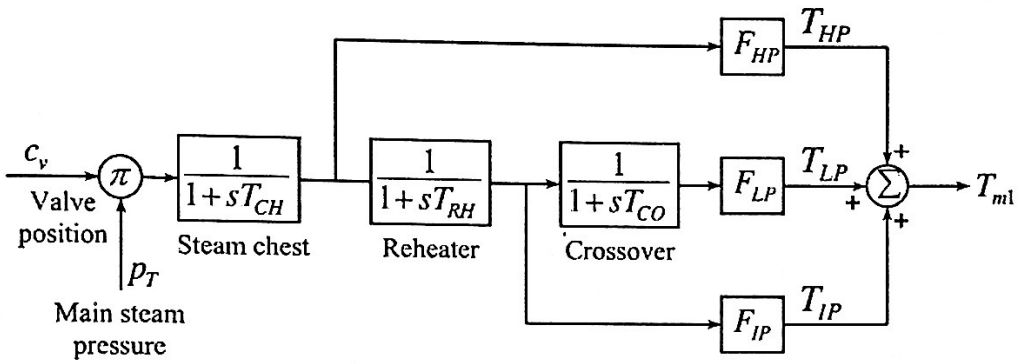
Tần số điện áp AC tại các cực của máy điện đồng bộ được xác định bởi tốc độ đầu trục và số cực từ của máy. Tốc độ ở trạng thái xác lập của máy điện đồng bộ được xác định bởi tốc độ của các động cơ chính. Các động cơ chính điển hình là các động cơ diesel, các động cơ xăng, các tua bin hơi nước, các tua bin thủy lực và các tua bin khí. Phần này trình bày các mô hình cơ bản cho tuabin hơi nước và các mô hình bộ điều chỉnh tốc độ.

2.2.4. Mô hình turbine hơi nước:

Hình 2.5(a) trình bày cấu hình của tua bin hơi nước. Nhà máy điện hơi nước bao gồm một nguồn cung cấp nhiên liệu cho một nồi hơi cụ thể là buồng hơi nước. Buồng hơi có hơi nước đã tăng áp mà sẽ đi vào một tua-bin cao áp (High-pressure) (HP) thông qua một van điều khiển hơi (control valve) (CV) và các đường ống ngõ vào. Hơi nước xả có áp suất cao đi qua một bộ đun gia nhiệt. Hơi nước được gia nhiệt chảy vào phần tua-bin áp suất trung gian (intermediate pressure) (IP) thông qua van chắn gia nhiệt (intercept valve) (IV) và các đường ống ngõ vào. Các đường ống chéo cung cấp một đường dẫn cho hơi nước thải có áp suất trung gian đi vào phần tuabin áp suất thấp (low pressure) (LP). Van chặn thường được sử dụng chỉ để nhanh chóng điều khiển công suất cơ của tua bin trong trường hợp quá tốc độ.



(a) Cấu hình tua bin.



(b) Sơ đồ khối

Hình 2.1 Mô hình tua bin hơi nước

Dựa trên hình 2.5(b), các phương trình động học của các mô hình tua bin hơi nước có thể được viết dưới dạng:

$$p(T_{HP})=-\frac{1}{T_{CH}}T_{HP}+\frac{F_{HP}}{T_{CH}}c_v \tag{2.10}$$

$$p(T_{IP})=-\frac{1}{T_{RH}}T_{IP}+\frac{F_{IP}}{F_{HP}T_{RH}}T_{HP} \tag{2.11}$$

$$p(T_{LP})=-\frac{1}{T_{co}}T_{LP}+\frac{F_{LP}}{F_{IP}T_{CO}}T_{IP} \tag{2.12}$$

$$T_{ml}=T_{HP}+T_{IP}+T_{LP} \tag{2.13}$$

Các phân số F_{HP} , F_{IP} , F_{LP} là các hằng số tỷ lệ, và quan hệ là:

$$F_{HP}+F_{IP}+F_{LP}=1 \tag{2.14}.$$

2.2.5. Mô hình bộ điều chỉnh tốc độ

Mô hình bộ điều chỉnh tốc độ được cho trong hình 2.6. Các phương trình động học của các mô hình bộ điều chỉnh tốc độ tương ứng với hình 2.6 có thể thu được như sau:

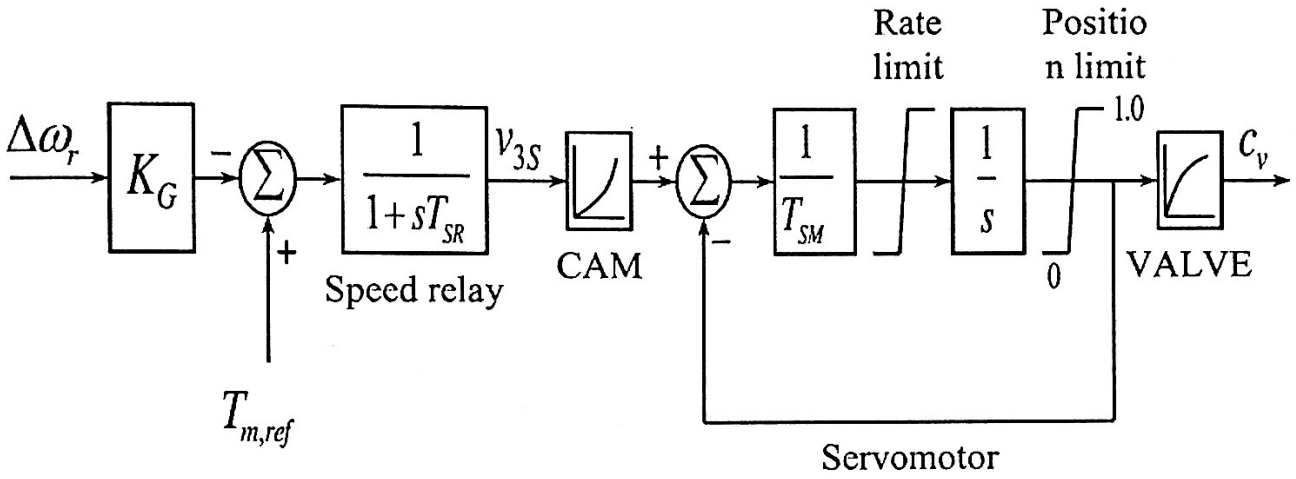
$$p(v_{3S})=\frac{1}{T_{SR}}(-v_{3S}-K_G\Delta\omega_{r1}+T_{m1,ref}) \tag{2.15}$$

$$p(c_v)=\frac{1}{T_{SM}}(-c_v+v_{3S}) \tag{2.16}$$

Trong đó giới hạn tốc độ trên và dưới được thiết lập như sau:

$P_{cv(open)}$=0.1pu/s và $P_{cv(close)}$=-1.0pu/s, và giới hạn vị trí là : cvmin = 0≤ cv ≤

cvmax =1.0 .

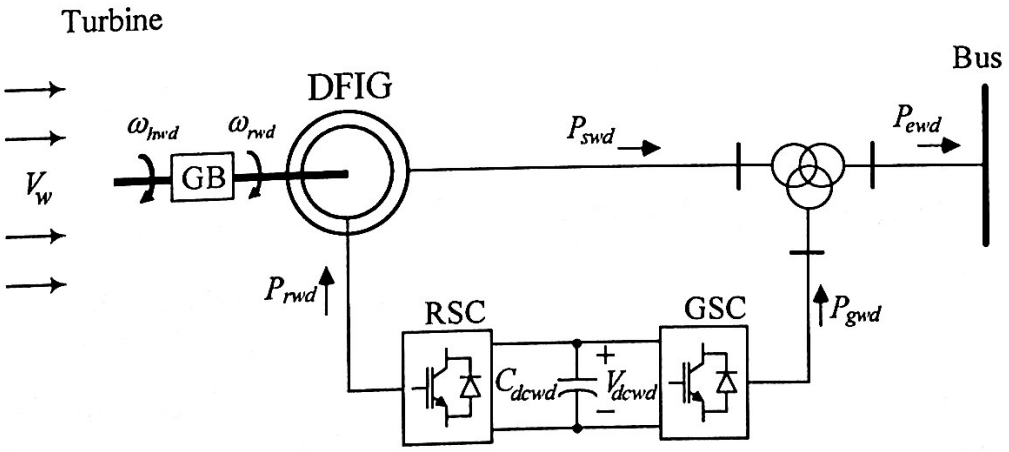


Hình 2.5 Mô hình bộ điều chỉnh tốc độ cho tua bin hơi nước.

2.3.Mô hình hóa máy phát điện gió DFIG

2.3.1 Cấu hình của máy phát điện gió DFIG

Cấu hình bộ DFIG truyền động bởi một tua bin gió có tốc độ thay đổi thông qua một hộp số được thể hiện ở hình 2.7. DFIG biến đổi công suất ngõ vào của tua bin P_{mw} thành công suất điện. Công suất stato được tạo ra P_{sw} là luôn dương. Công suất ở rotor P_{rw} có thể dương hoặc âm do sự có mặt của bộ nghịch lưu xung đối. Điều này cho phép máy điện vận hành tại cả tốc độ dưới đồng bộ và quá đồng bộ [41].



Hình 2.6 Sơ đồ đơn tuyến của DFIG gió được dẫn động bởi một VSWT thông qua GB.

Các cuộn dây stato của DFIG được kết nối trực tiếp phía hạ thế của máy biến thế hạ áp 0.69/33-kV khi các cuộn dây rotor của DFIG được kết nối tương tự ở phía

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
www.hcmute.edu.vn