

LỜI MỞ ĐẦU

Máy phát đồng trục hiện nay đã được nghiên cứu và ứng dụng nhiều trên tàu thủy. Qua khảo sát cho biết rằng rất nhiều chủ tàu và nhà máy đóng tàu trên thế giới đã hoàn toàn bị thuyết phục bởi những lợi ích trong việc sử dụng một máy phát đồng trục hơn là việc chỉ bố trí đơn lẻ một máy chính lai chân vịt. Mô hình trạm phát điện sử dụng máy chính để truyền động cho máy phát điện kết hợp với một số tổ máy phát điện diesel phục vụ cho mục đích sản xuất điện là một mô hình được đánh giá cao cả về hai tính năng kỹ thuật và kinh tế. Với một vùng hoạt động rộng lớn trên biển thì các máy phát đồng trục lắp đặt trong trạm phát được sử dụng là có hiệu quả rất lớn.

Trong đợt thực tập tốt nghiệp này, em được thầy giáo Nguyễn Trọng Thắng hướng dẫn thiết kế đề án tốt nghiệp với đề tài :”**Nghiên cứu hệ thống phát điện đồng trục trên tàu thủy sử dụng máy điện dị bộ nguồn kép**”. Đề tài bao gồm nội dung sau:

Chương 1: Máy phát đồng trục - Những yêu cầu vận hành và khai thác của máy phát đồng trục. Giải pháp kinh tế, phần này trình bày những nét cơ bản nhất của máy phát đồng trục.

Chương 2: Mô hình hệ thống máy phát đồng trục kinh điển và hệ thống máy phát đồng trục hiện đại.

Chương 3: Nghiên cứu máy phát đồng trục trên tàu thủy sử dụng loại máy dị bộ nguồn kép với các thiết bị hiện đại tham gia trong quá trình điều khiển, điều chỉnh tần số và điện áp lưới điện.

Để hoàn thành tốt đề án, em đã được sự giúp đỡ rất nhiều của thầy cô trong bộ môn điện dân dụng-công nghiệp và đặc biệt là thầy giáo hướng dẫn Nguyễn Trọng Thắng. Sau 12 tuần đề án đã hoàn thành nhưng còn nhiều thiếu sót, em rất mong được sự chỉ bảo của các thầy.

Em xin chân thành cảm ơn!

CHƯƠNG 1

MÁY PHÁT ĐỒNG TRỰC TRÊN TÀU THUỶ NHỮNG ĐẶC ĐIỂM KỸ THUẬT VÀ GIẢI PHÁP KINH TẾ

1.1 SỬ DỤNG MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ MANG LẠI HIỆU QUẢ KINH TẾ CAO

Mức độ điện khí hoá và tự động hoá trên tàu thuỷ ngày càng phát triển đi đôi với sự gia tăng về công suất của trạm phát điện. Trong quá trình khai thác, khi sử dụng máy phát đồng trực giá thành 1KWh thấp hơn khoảng 50% giá thành so với khi dùng máy phát có động cơ truyền động riêng, điều này được thể hiện ở một số lý do sau:

Thứ nhất là nó nâng cao hiệu suất sử dụng máy chính so với hiệu suất sử dụng máy phụ thông qua việc giảm mức tiêu hao nhiên liệu.

Thứ hai là máy chính thường được sử dụng loại dầu nặng giá thành rẻ hơn nhiều so với giá thành dầu sử dụng cho máy phụ.

Thứ ba là làm giảm mức tiêu hao nhiên liệu bôi trơn cho máy chính.

Thứ tư là trong thời gian hành trình trên biển máy phụ không phải công tác nên giảm đáng kể thời gian vận hành, khai thác làm giảm được giá thành sửa chữa và bảo dưỡng.

Để đánh giá được lợi ích khi ứng dụng máy phát đồng trực trước hết thấy rằng thời gian công tác của máy chính tức là thời gian hành trình trên biển so với thời gian đỗ bến là khá ngắn, ngay cả tàu chở container có khả năng quay vòng rất cao thì tỉ lệ thời gian hành trình với thời gian đỗ bến vẫn luôn thấp hơn. Khi có sự tham gia của máy chính làm nhiệm vụ máy phát trên hành trình dài thì thời gian khai thác các máy phát diesel- generator khác trong trạm sẽ ít đi, và như vậy nó sẽ kéo dài được tuổi thọ đáng kể của các máy phụ. Hơn nữa giá thành đầu tư ban đầu thấp, tiết kiệm được không gian bố trí dưới buồng máy.

Mặt khác khi sử dụng máy phát điện đồng trục, môi trường làm việc của thuyền viên ở dưới buồng máy cũng được cải thiện rất nhiều. Nguồn gây ra tiếng ồn có cường độ lớn và gia tăng nhiệt độ trên tàu thủy chủ yếu là động cơ diesel cao tốc(Thường sử dụng làm động cơ sơ cấp cho các máy phát điện), trong quá trình tàu chạy trên biển các máy phát đồng trục làm việc nên máy phụ được nghỉ vì vậy giảm được ô nhiễm và tiếng ồn.

1.2 ĐẶC ĐIỂM KỸ THUẬT CỦA MÁY PHÁT ĐỒNG TRỤC

Đối với các phụ tải tiêu thụ điện năng trên tàu thủy không cho phép sự thay đổi điện áp và tần số của nguồn cấp trong phạm vi rộng. Nếu xảy ra sự dao động của hai yếu tố trên thì các hệ thống đó hoạt động không tin cậy, không ổn định và không đảm bảo công suất. Điều này không có lợi cho thiết bị cũng như sự an toàn của thuyền viên trên tàu.

Điều kiện hoạt động của máy phát đồng trục khác nhiều so với điều kiện hoạt động của máy phát có truyền động riêng, ví dụ như trong các chế độ sau: Chế độ điều động tàu, chế độ tàu hành trình qua kênh, chế độ tàu hành trình trên biển trong điều kiện thời tiết sóng to, gió lớn... Quá trình khai thác máy phát đồng trục đòi hỏi hệ thống công tác ổn định trong giới hạn thay đổi tốc độ quay chân vịt từ $(60 \div 100)\%$ tốc độ định mức. Giới hạn này có liên quan đến sự ổn định điện áp và tần số của lưới điện. Với bất kỳ nguyên nhân nào dẫn đến sự thay đổi tốc độ quay của chân vịt thì vẫn phải đảm bảo điện áp và tần số ra với độ chính xác cho phép theo yêu cầu của Đăng kiểm. Do yêu cầu về độ tin cậy của các thiết bị điện tàu thủy, đặc biệt là thiết bị điều khiển, kiểm tra, thông tin liên lạc, thiết bị dẫn hướng sử dụng vệ tinh ... nên mục đích ổn định điện áp, tần số và công tác song song được với các tổ hợp máy phát khác trên tàu thủy người ta phải ứng dụng cả hai chức năng đó là:

- Có khả năng giữ ổn định điện áp.
- Có khả năng giữ ổn định tần số.

1.2.1. Chế độ tĩnh.

Khi cho máy phát đồng trục nhận tải từ 0 đến giá trị định mức (I_{dm}) một cách từ từ hoặc cắt tải từ giá trị định mức về 0 với $\cos\varphi_{dm}$ và với giả thiết tốc độ quay n_{dm} (n_{dm} : tốc độ định mức của máy phát) nằm trong giới hạn cho phép (sai số tốc độ 5%) thì sai số điện áp $\pm 2,5\%U_{dm}$ (U_{dm} : điện áp định mức của máy phát). Nếu hệ số $\cos\varphi$ thay đổi từ $0,6 \div 0,9$ thì dao động điện áp nằm trong khoảng $\pm 3,5\%U_{dm}$. Thời gian quá độ của trạng thái nhận tải tĩnh $t_{qd} = 5s$.

1.2.2. Chế độ động.

Khi cho máy phát đồng trục nhận (cắt) tải đột ngột từ 0 đến 50%, 100% và ngược lại, hệ số công suất giảm xuống $\cos\varphi < 0,4$ thì độ quá điều chỉnh $\pm 20\%U_{dm}$. Thời gian quá độ của trạng thái nhận tải tĩnh $t_{qd} = 5s$.

Bảng 1.1 trình bày tóm tắt quy phạm mà một số hãng đăng kiểm quy định trong đó có hãng kiểm Việt Nam.

Thông số	Sai lệch cho phép khỏi giá trị định mức		
	Tải lâu dài	Tải ngắn hạn	
	Giá trị (%)	Giá trị (%)	Thời gian (giây)
Điện áp	+ 6 ÷ -10	± 20	1,5
Tần số	± 5	± 10	5

Bảng 1.1 : Giới hạn độ sai lệch của điện áp, tần số và thời gian tồn tại các sai lệch đó của lưới điện tàu thủy theo đăng kiểm.

CHƯƠNG 2

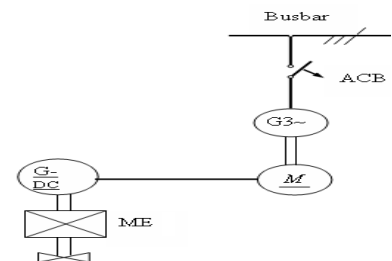
MÔ HÌNH HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐỒNG TRỤC KINH ĐIỆN VÀ HIỆN ĐẠI

2.1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lịch sử phát triển của trạm phát điện tàu thủy, nguồn năng lượng sử dụng cho động cơ sơ cấp (động cơ trực tiếp lái máy phát điện) rất đa dạng: từ động cơ hơi nước, các loại tuốc bin (hơi, khí) động cơ đốt trong và hiện đại hơn là dùng năng lượng nguyên tử. Những năm gần đây động cơ đốt trong mà đặc biệt là động cơ diesel được dùng rộng rãi nhất. Diesel dùng để làm thiết bị tạo lực đẩy tàu thủy có nhiều tính năng kỹ thuật thích hợp với đối tượng phục vụ như hiệu suất có ích cao, kích thước gọn nhẹ, tính cơ động cao, không tốn nhiều năng lượng trong khởi động và dừng, ít nguy hiểm, dễ vận hành, đặc biệt là khả năng dễ tự động hoá, tự động kiểm tra, điều khiển từ xa... Để tận dụng năng lượng dư thừa của diesel lái chân vịt (Main engine: ME - máy chính) trong chế độ hành trình của tàu thủy, tiết kiệm được giá thành và hạn chế tối đa không gian buồng máy người ta đã ứng dụng một máy phát thông qua tổ hợp hộp số, bánh răng. Trong phần này sẽ trình bày một số cấu trúc máy phát đồng trục (shaft generator (SG)) đã và đang được ứng dụng trong thực tế.

2.1.1. Các trạm phát với hệ máy phát đồng trục thế hệ đầu tiên.

Hình 2.1 có máy phát điện một chiều cung cấp năng lượng để cấp cho động cơ (M) để lái máy phát đồng bộ (G3~) qua ACB cấp điện năng lên lưới. Đối với tàu thủy khi có sử dụng hệ thống này có nhược điểm là

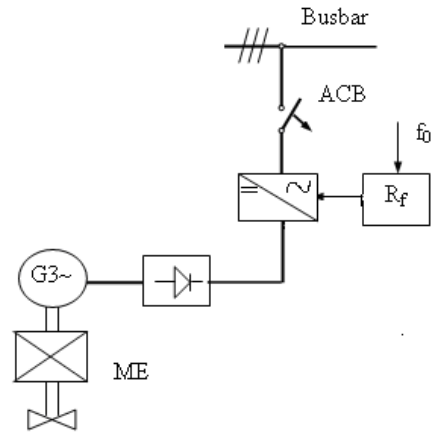


Hình 2.1 : Máy phát đồng trục là hệ 3 máy điện G-DC/MC- DC/G₃

cùng một lúc sử dụng nhiều máy điện, giá thành sẽ cao.

Hình 2.2 Sử dụng máy phát đồng trục là loại đồng bộ ba pha. Máy phát này cung cấp năng lượng cho bộ chỉnh lưu ba pha diod công suất để tạo nên dòng điện một chiều. Dòng điện một chiều này được bộ nghịch lưu công suất biến

đổi thành dòng điện xoay chiều với điện áp và tần số có thể điều chỉnh được, toàn bộ phần năng lượng xoay chiều này được cấp lên lưới điện thông qua ACB. Để điều khiển bộ nghịch lưu người ta sử dụng bộ điều khiển R_f được tính toán và chú trọng cho vấn đề tần số. Hệ thống này cho phép làm việc trong dải tốc độ rộng.



Hình 2.2 : Máy phát đồng trục là máy phát đồng bộ

Vì vậy trong những thập niên tám mươi của thế kỷ 20 các máy phát với mô hình này được sử dụng khá rộng rãi vì bản thân nó so với các khác cùng thời có nhiều mặt ưu điểm hơn.

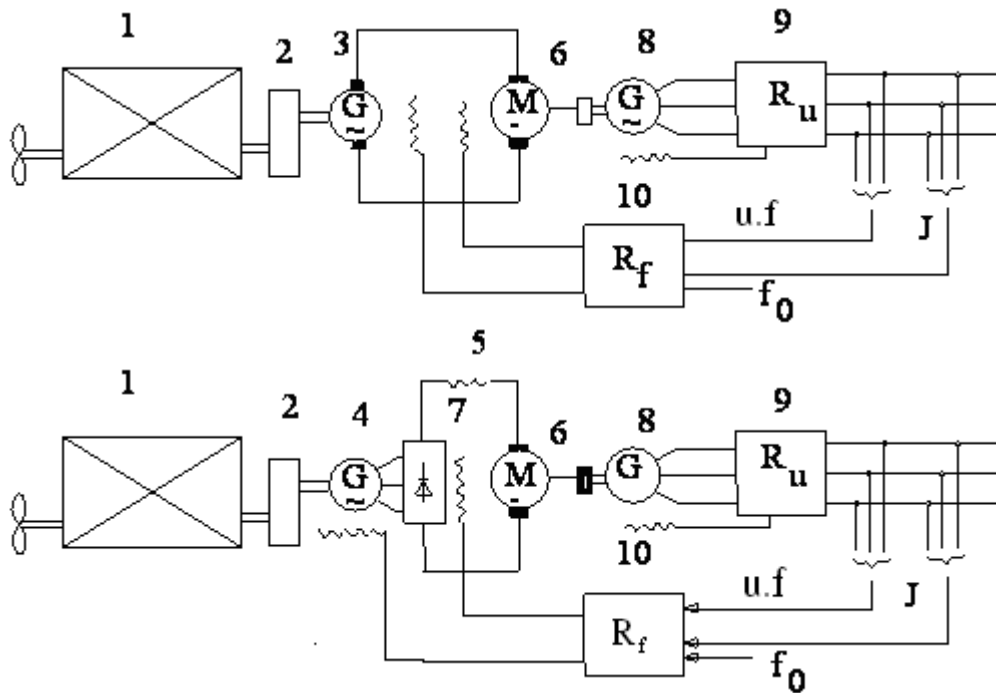
2.1.2. Các hệ thống máy phát đồng trục thể hệ thứ hai.

2.1.2.1. Ổn định tần số cho máy phát thông qua ổn định tốc độ động cơ một chiều.

Đây là bộ ổn định tần số động cơ- máy phát như hình 2.3 . Năng lượng cung cấp cho bộ biến đổi là năng lượng dòng một chiều được tạo ra bằng các phương pháp sau:

- Máy phát đồng trục là máy phát một chiều.
- Máy phát đồng trục là máy phát xoay chiều có tần số và số pha khác với tần số và số pha công nghiệp thông qua chỉnh lưu dòng ra dòng một chiều.

- Máy phát đồng trục xoay chiều 3 pha có tần số công nghiệp thông qua chỉnh lưu ra dòng một chiều.



Hình 2.3: Máy phát đồng trục với bộ ổn định tần số máy điện

a/ Máy phát đồng trục là máy một chiều.

b/ Máy phát đồng trục là đồng bộ.

1. Động cơ diezen; 2. Hộp số; 3. Máy phát một chiều; 4. Máy phát đồng bộ; 5. Cuộn lọc; 6. Động cơ điện một chiều; 7. Chỉnh lưu diot; 8. Máy phát đồng bộ cấp điện cho mạng; 9. Điều chỉnh điện áp; 10. Điều chỉnh tần số

Hình 2.3a : Máy phát đồng trục (3) là máy phát một chiều được lai bởi máy chính(1) thông qua hộp số (2). Năng lượng dòng một chiều của máy phát đồng trục(3) cung cấp cho động cơ một chiều (6) để truyền động cho máy phát xoay chiều có tần số, điện áp bằng tần số điện áp của mạng điện tàu. Việc điều chỉnh điện áp và tần số của máy phát (8) thông qua bộ điều chỉnh điện áp và tần số (9). Việc điều chỉnh dòng kích từ của máy phát điện một chiều (3) và động cơ một chiều (6) được lấy từ bộ điều chỉnh tần số (10). Bộ điều chỉnh (10) được điều chỉnh một cách tự động mỗi khi có sự thay đổi về điện áp và tần số của máy phát (8).

Hình 2.3 b : Máy phát đồng trục (4) là máy phát đồng bộ ba pha được lai bởi máy chính(1) thông qua hộp số (2). Máy phát này cung cấp năng lượng cho bộ chỉnh lưu ba pha diode công suất để tạo nên dòng điện một chiều và được san phẳng bởi cuộn lọc (5) cấp điện cho động cơ điện một chiều (6) để truyền động cho máy phát đồng bộ (8) thông qua các khớp nối. Việc điều chỉnh điện áp và tần số của máy phát (8) thông qua bộ điều chỉnh điện áp và tần số (9). Việc điều chỉnh dòng kích từ của máy phát điện một chiều (3) và động cơ một chiều (6) được lấy từ bộ điều chỉnh tần số (10). Bộ điều chỉnh (10) được điều chỉnh một cách tự động mỗi khi có sự thay đổi về điện áp và tần số của máy phát (8).

Hệ thống máy phát đồng trục giới thiệu ở hình 2.3 có khả năng công tác độc lập, đồng thời có khả năng công tác song song và có những ưu điểm cơ bản sau:

- Ổn định điện áp và tần số rất dễ dàng.
- Không gây nhiễu cho hệ thống năng lượng và điện áp thực tế là hình sin.

Còn nhược điểm cơ bản là:

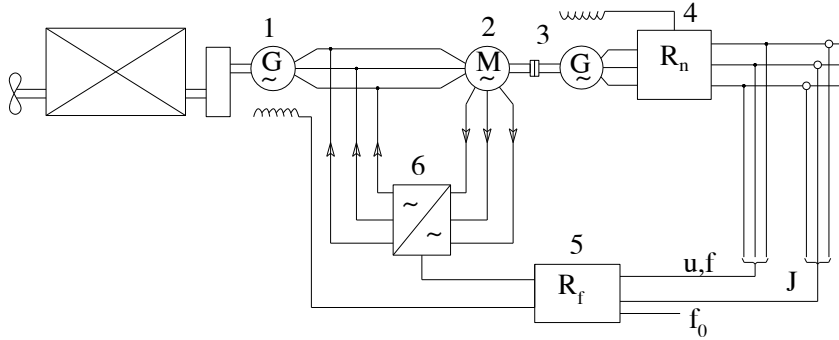
- Công suất của máy phát điện một chiều bị hạn chế do cổ góp nên không nâng cao được công suất của máy phát đồng trục.

- Hệ thống có hiệu suất thấp chỉ đạt 85% do sử dụng quá nhiều máy.

Trên hình 2.3 thì hệ thống hình 2.3b có lợi hơn so với hệ thống hình 2.3a vì đã loại trừ được một máy điện một chiều. Giúp cho hệ thống máy phát đồng trục đơn giản hơn, vận hành dễ dàng, yêu cầu về buồng máy có diện tích nhỏ, chi phí vận hành và sửa chữa ít, tiết kiệm về kinh tế.

2.1.2.2. Ổn định tần số cho máy phát thông qua ổn định tốc độ động cơ xoay chiều.

Trên hình 2.4 máy phát đồng trục với ổn định tần số máy điện xoay chiều



Hình 2.4: Máy phát đồng trực với ổn định tần số máy điện xoay chiều

1. Máy phát đồng trực; 2. Động cơ dị bộ dây quấn; 3. Máy phát đồng bộ cấp điện cho mạng; 4. Bộ điều chỉnh điện áp; 5. Bộ điều chỉnh tần số; 6. Bộ biến đổi tần số tĩnh.

Trên hình 2.4 máy phát đồng trực (1) được truyền động thông qua máy chính lai chân vịt và hộp số. Máy phát đồng trực là máy phát điện đồng bộ ba pha cung cấp điện áp trực tiếp cho động cơ dị bộ ba pha dây quấn (2). Động cơ (2) lại truyền động cho máy phát điện đồng bộ ba pha (3). Để điều chỉnh điện áp ra của máy phát số (3) người ta sử dụng bộ điều chỉnh điện áp (4) trước khi cấp điện lên trên lưới điện. Khi tần số của máy phát số chưa đạt đến tần số định mức thì bộ điều chỉnh tần số (5) tác động đến bộ biến đổi tần số tĩnh (6) và hệ thống kích từ của máy phát số(1). Giúp cho động cơ (2) làm việc với tốc độ ổn định khi điện áp và tần số của máy phát (1) ổn định. Hệ thống này không sử dụng các máy điện một chiều vì vậy làm cho hệ thống đơn giản đi, hiệu suất và độ tin cậy nâng cao so với các hệ trước và giảm giá thành của hệ thống năng lượng máy phát đồng trực.

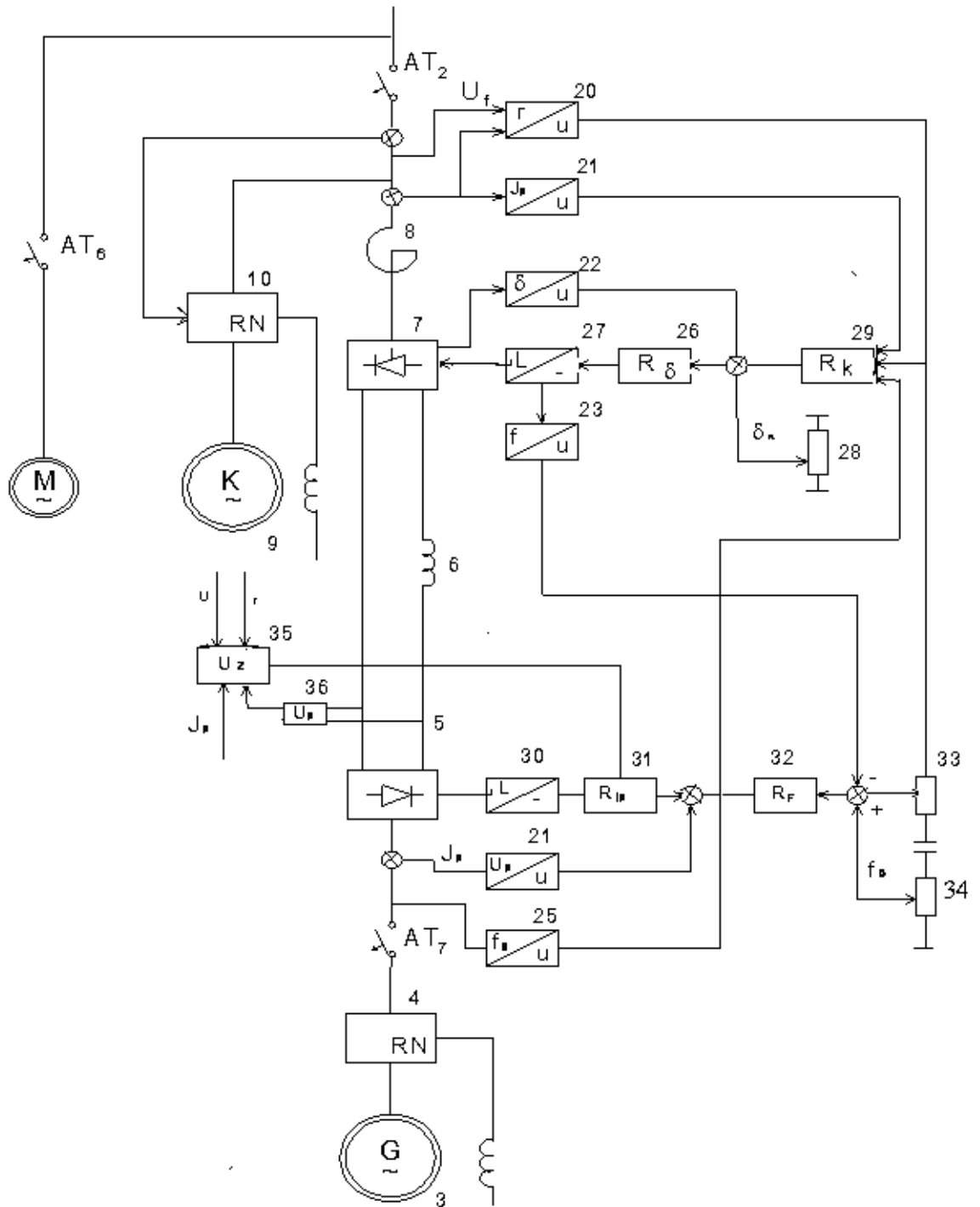
2.1.2.3. Máy phát đồng trực với bộ ổn định tần số tĩnh .

a. Máy phát đồng trực với bộ ổn định tần số tĩnh.

Trên hình 2.5 sơ đồ khối hệ thống điều chỉnh điện áp và tần số máy phát điện đồng trực. Bộ ổn định tần số tĩnh là phương pháp ổn định tần số cho máy phát đồng trực mới được ứng dụng gần đây nhờ sự phát triển của kỹ

thuật bán dẫn điện áp cao và trung bình. Bộ biến đổi bao gồm các linh kiện tĩnh là thyristor và hệ thống điều khiển.

Trên hình 2.5 máy phát đồng trục (3) được trang bị bộ điều chỉnh điện áp (4) có khả năng giữ ổn định điện áp với tần số từ 42Hz, còn khi tần số nhỏ hơn 42Hz thì hệ thống sẽ điều chỉnh điện áp nhỏ tuyến tính với tần số. Với tần số lớn hơn 42Hz, bộ nghịch lưu (7) công tác với góc mở cố định đặt trước từ khối (28) đặt trong bộ điều chỉnh. Sự điều chỉnh tần số được thực hiện bằng sự thay đổi dòng của bộ nghịch lưu (7) thông qua việc điều chỉnh góc mở. Bộ điều chỉnh tần số do tần số điện áp role từ bộ biến đổi nghịch lưu (7) nhờ khối biến đổi (23) so sánh với tần số chuẩn cho trước từ khối 34 và đưa tín hiệu đến bộ điều chỉnh tần số (32) để điều chỉnh dòng của cầu chỉnh lưu thyristor (5).



Hình 2.5: Sơ đồ khối hệ thống điều chỉnh điện áp và tần số máy phát điện đồng trục

Việc ổn định điện áp trên thanh cái trong thời gian máy phát đồng trục công tác được đảm bảo máy bù 9 công tác với bộ điều chỉnh điện áp (10). Để

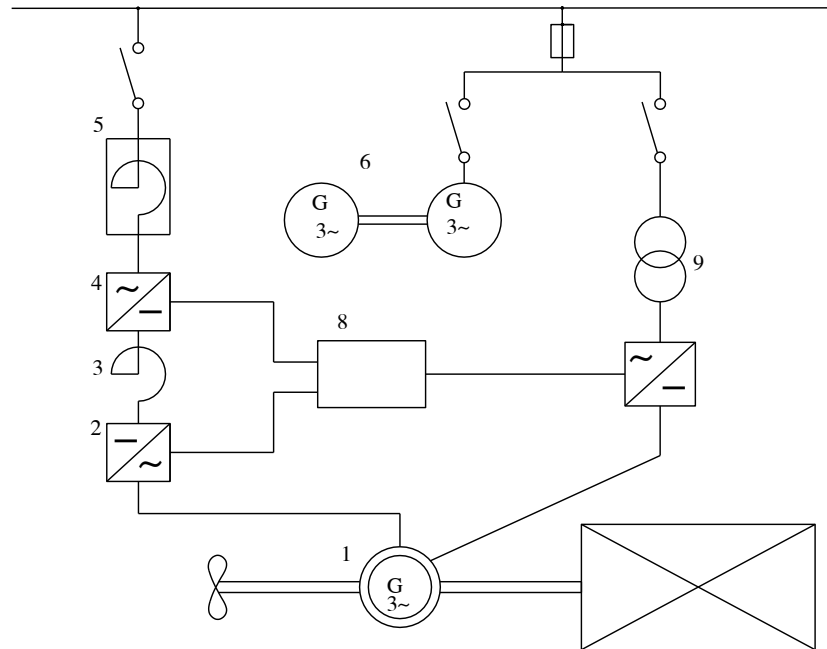
đảm bảo công tác song song tốt giữa máy phát đồng trục và các máy phát khác trong bộ điều chỉnh tần số có trang bị khối điều chỉnh đặc tính công suất tác dụng bao gồm bộ biến đổi công suất tác dụng khối (20) và khối đặt trước (33), khối này cho phép điều chỉnh được độ nghiêng của đặc tính $f = f(P)$ của máy phát đồng trục như độ nghiêng của đặc tính máy phát khác được truyền động riêng. Hoạt động của hệ thống như sau:

Trong trường hợp đóng thêm tải lên thanh cái, sẽ gây nên giảm tần số của mạng điện. Điều đó dẫn đến tăng cường điều khiển khối (32) theo chiều tăng dòng công suất tác dụng của khối chỉnh lưu (5), làm tăng công suất tác dụng cấp cho hệ thống thanh cái và dẫn đến tăng tần số đến trị số chuẩn đặt trước từ khối (34). Trong trường hợp cắt bớt tải thì quá trình hoạt động của hệ thống xảy ra ngược lại. Khi tần số máy phát đồng trục nhỏ hơn 42Hz, phần tử điều khiển đặc tính (29) bắt đầu hoạt động đưa tín hiệu điều khiển góc mở dự trữ của bộ biến đổi nghịch lưu (7) theo hướng tăng góc dự trữ để giảm công suất tác dụng cấp ra mạng. Trong chế độ ngắn mạch trạm phát nguồn của dòng ngắn mạch là máy bù đồng bộ (9) có khả năng cấp đủ dòng cho các thiết bị bảo vệ hoạt động. Trong thời gian ngắn mạch bộ biến đổi nghịch lưu không cấp năng lượng cho mạng. Hạn chế năng lượng đi đến mạch được gián tiếp thực hiện qua việc đưa tín hiệu khoá toàn bộ Thyristor trong bộ chỉnh lưu (5). Sau khi đã loại trừ ngắn mạch hệ thống tự động trở lại công tác bình thường. Toàn bộ việc bảo vệ hệ thống cho máy phát đồng trục trong thời gian ngắn mạch được điều khiển bằng hệ thống bảo vệ bằng điện từ khối (35).

b. Máy phát đồng trục với bộ ổn định tần số tĩnh khi máy phát đồng trục được lắp đặt đối diện với chân vịt ngay trên máy chính .

Trên hình 2.6 biểu diễn máy phát đồng trục với bộ ổn định tần số tĩnh có sơ đồ khối của hệ thống được giới thiệu như sau:

1. Máy phát đồng trục; 2. Chỉnh lưu thiristor; 3. Cuộn cảm mạch trung gian;
4. Bộ biến đổi nghịch lưu; 5. Cuộn cảm lưới điện; 6. Máy bù công suất phản kháng; 8. Block điều khiển nghịch lưu và chỉnh lưu; 9. Biến áp



Hình 2.6: Máy phát đồng trục với bộ ổn định tần số tĩnh.

Dòng xoay chiều từ máy phát đồng trục (1) được chỉnh lưu ra dòng một chiều bằng bộ chỉnh lưu thiristor (2). Sau đó dòng một chiều lại được biến đổi ra dòng xoay chiều 3 pha có tần số ổn định nhờ bộ biến đổi nghịch lưu (4). Nối giữa bộ chỉnh lưu thiristor (2) và bộ biến đổi nghịch lưu (4) là cuộn cảm kháng mạch trung gian (3). Năng lượng dòng xoay chiều 3 pha có tần số ổn định được qua cuộn cảm lưới điện (5) đến ACB trước khi đến lưới điện.

Với hệ thống ổn định tần số trên không thể cung cấp cho mạng công suất phản kháng. Mà hệ thống năng lượng thì cần công suất phản kháng để cấp cho các phụ tải. Vì vậy để cấp công suất phản kháng cho mạng thực tế đã giải quyết bằng 2 phương pháp.

- Ứng dụng các linh kiện tĩnh như tụ điện. Phương pháp này không được ứng dụng cho điện tàu thủy.

- Ứng dụng máy phát bù đồng bộ có kích từ thừa. Phương pháp này được ứng dụng ở sơ đồ trên. Máy bù đồng bộ(6) được khởi động bằng động cơ di bộ lấy điện trực tiếp từ mạng.

Các chức năng chính của máy bù đồng bộ là:

- Sửa chữa lại điện áp ra của bộ biến đổi nghịch lưu (4) giống hình sin hơn.
- Cung cấp công suất phản kháng cho bộ biến đổi nghịch lưu và cho lưới điện.
- Làm tăng giá trị dòng ngắn mạch để các thiết bị bảo vệ hoạt động chắc chắn tin cậy.

Trong trường hợp ngắn mạch còn có những bảo vệ sau:

- + Cầu chỉnh lưu là các thiristor trường hợp ngắn mạch phía xoay chiều của máy phát đồng trục thì các thiristor sẽ bị khóa lại.
- + Máy phát đồng trục là máy đồng bộ không có cuộn ổn định nên dòng ngắn mạch có giá trị nhỏ.

Ưu điểm của hệ thống sử dụng bộ ổn định tần số tĩnh như sau:

- Có khả năng ổn định tần số mặc dù tốc độ quay của chân vịt thay đổi trong giới hạn từ 100÷70% và có thể nới rộng đến 40% tốc độ định mức.
- Trong hệ thống có ít máy điện nên giá thành hạ và công suất bảo dưỡng ít.
- Hòa đồng bộ dễ dàng và có thể công tác song song với các máy phát khác.
- Hiệu suất cao đạt tới 91%
- Không chiếm nhiều diện tích trong buồng máy.

Những nhược điểm cơ bản:

- Dạng điện áp ra không hoàn toàn sin nên chưa nhiều thành phần bậc cao do đó gây nên gia tăng tổn hao trong các phụ tải và gây nhiễu loạn trong điều khiển.
- Vốn đầu tư tương đối cao
- Riêng bộ ổn định tần số có hiệu suất thấp, chỉ đạt tối thiểu 81%

Mặc dù có những nhược điểm trên nhưng hệ thống được sử dụng rất rộng rãi vì nó mang tính hiện đại và giá thành rẻ hơn so với các hệ thống ổn định tần số bằng máy điện.

c. Máy phát đồng trục với bộ ổn định tần số tĩnh khi máy phát đồng trục được truyền động qua hộp số cùng phía với chân vịt .

Trên hình 2.7 giới thiệu các thiết bị trong hệ thống bao gồm:

Động cơ diesel quay chân vịt số (1) là động cơ truyền động cho máy phát đồng trục số (3) thông qua hộp số tăng tốc (2). Máy phát đồng trục là máy phát không chổi than được trang bị hệ thống điều chỉnh điện áp số(4), hệ thống này có khả năng giữ ổn định điện áp trong phạm vi thay đổi tốc độ quay từ $(80 \div 110) \% n_{dm}$. (n_{dm} là tốc độ quay định mức của máy rôto máy phát). Máy phát (3) thông qua aptômat AT7 cấp điện áp có tần số thay đổi cho cầu chỉnh lưu dùng thyristor (5). Điện áp một chiều (DC) được san qua cuộn kháng (6) và đưa đến bộ nghịch lưu (7). Điện áp xoay chiều 3 pha thông qua cuộn kháng (8) và AT2 cấp lên thanh cái.

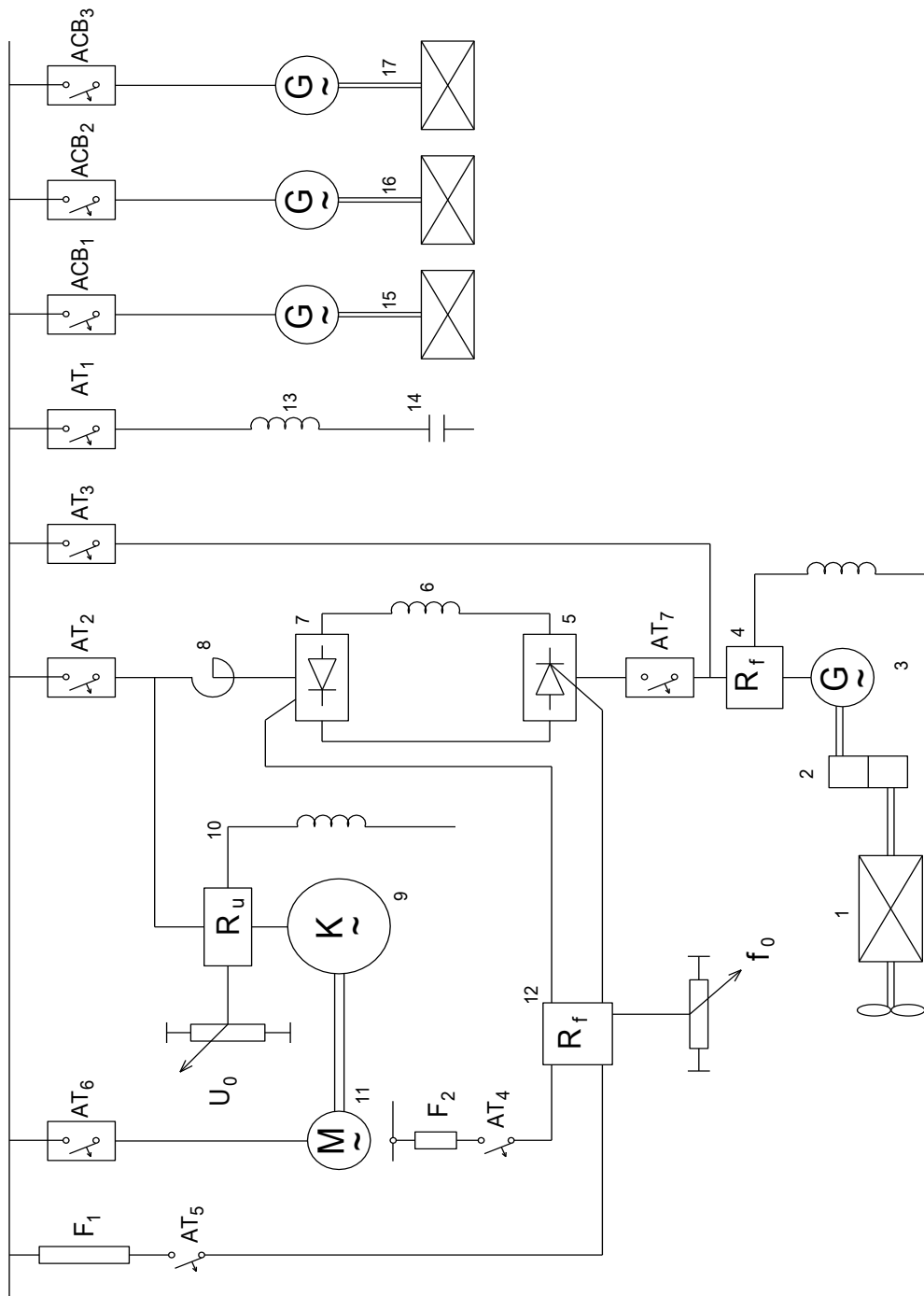
Bộ biến đổi nghịch lưu chỉ cấp cho mạng công suất tác dụng, công suất phản kháng được cấp bởi máy bù đồng bộ 9 (máy bù đồng bộ là máy không chổi than). Máy bù đồng bộ được trang bị hệ thống điều chỉnh điện áp (12), nó được khởi động bằng động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc 11 và động cơ này được lấy điện từ thanh cái thông qua aptômat AT6.

Để giảm bớt các thành phần dao động bậc (5) hệ thống sử dụng cuộn cảm (13) và tụ (14) thông qua aptômat AT1. Việc giữ ổn định điện áp trên thanh cái được đảm bảo nhờ bộ điều chỉnh điện áp (10) của máy bù đồng bộ, còn việc ổn định tần số được đảm bảo nhờ bộ điều chỉnh tần số (12). Hệ thống điều chỉnh tần số điều khiển cầu chỉnh lưu thyristor (5) và bộ biến đổi nghịch lưu thyristor (7), nó được cấp nguồn từ thanh cái qua aptômat AT5 điện áp 3 x 400V - 50Hz và nguồn ắc quy với điện áp 24V thông qua aptômat AT4. Trong mạch động lực của máy phát (3) có thể được đấu cáp trước AT7 đến

aptômat AT3 cấp điện áp trực tiếp lên thanh cái không thông qua các bộ biến đổi khi tần số của máy phát nằm trong giới hạn từ $(47,5 \div 52,5)$ Hz có thể làm việc song song với 3 phát phát đồng bộ được truyền động riêng nhằm mục đích để nâng cao hiệu suất sử dụng của trạm phát. Khi cấp trực tiếp nguồn thông qua AT3 cho mạng thì hiệu suất đạt 92,5%, còn thông qua các bộ biến đổi thì hiệu suất chỉ đạt 84%.

Điều chỉnh tần số máy phát bao gồm hai hệ thống điều chỉnh:

- Điều chỉnh góc mở của bộ biến đổi nghịch lưu gồm tập hợp các khối 22, 26, 27, 28.
- Điều chỉnh dòng của chỉnh lưu là thành phần điều chỉnh tần số gồm tập hợp các khối 24, 30, 31.



Hình 2.7: Giới thiệu nguyên lý hoạt động hệ thống điều chỉnh tần số máy phát đồng trục

2.1.3. Các hệ thống máy phát đồng trục thể hệ thứ ba.

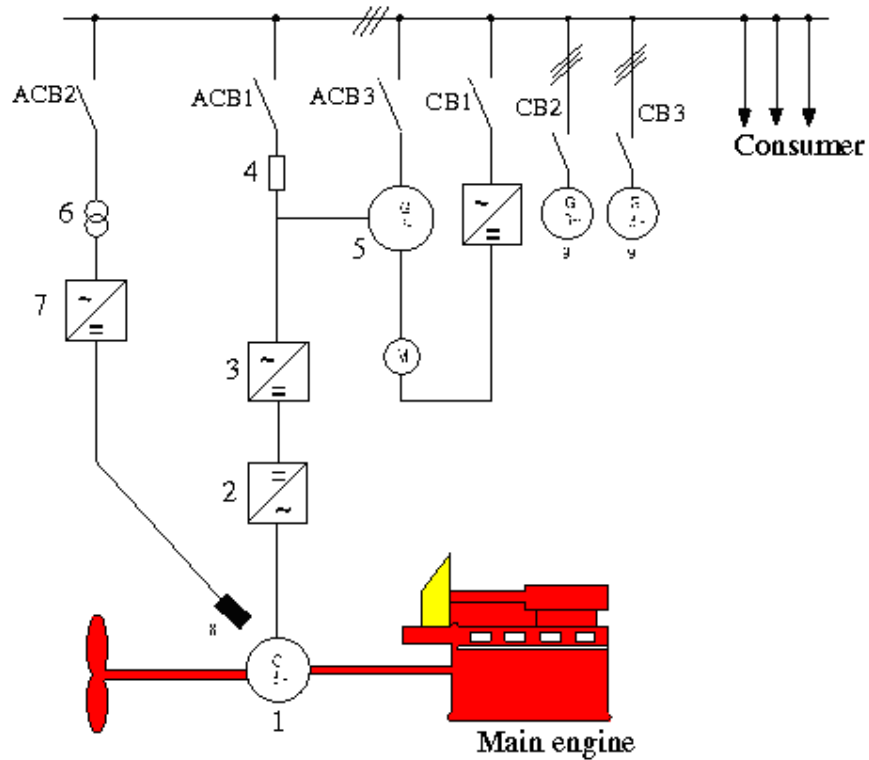
2.1.3.1. Hệ thống máy phát đồng trục với máy phát điện đồng bộ .

Hình 2.8. Sơ đồ trạm phát điện đồng trục với máy bù đồng bộ được lai bởi động cơ điện xoay chiều thể hiện như sau:

Thông qua bộ biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều cho cuộn kích từ của máy phát (8) để kích từ cho máy phát điện đồng trục.

Máy phát đồng trục có thể công tác song song với các máy phát điện diesel hoặc có thể công tác độc lập.

Với hệ thống ổn định tần số trên không thể cung cấp cho mạng công suất phản tác dụng. Mà hệ thống năng lượng thì cần công suất phản tác dụng để cấp cho các phụ tải. Vì vậy để cung cấp công suất phản tác dụng cho mạng thực tế đã giải quyết bằng phương pháp là sử dụng máy phát bù đồng bộ. Phương pháp này được ứng dụng ở sơ đồ trên, máy bù đồng bộ (5) được khởi động bằng động cơ di bộ lấy điện trực tiếp từ mạng. Máy bù đồng bộ phát ra công suất phản kháng cho lưới điện để nâng cao hệ số $\cos \phi$ tăng điện áp đến trị số cần thiết. Lúc này máy bù đồng bộ đóng vai trò như một bộ tụ điện. Khi tải xuống thấp, điện áp của lưới tăng cao, máy bù đồng bộ sẽ làm việc ở chế độ thiếu kích từ, tiêu thụ công suất phản kháng cho lưới điện, tăng điện áp rơi trên lưới điện hoặc giảm điện áp trên lưới điện. Với sơ đồ trên máy bù đồng bộ (5) có thể nối với máy phát đồng trục phía sau ACB3 hoặc nó có thể đấu trực tiếp lên lưới thông qua một CB1.



Hình 2.9: Sơ đồ trạm phát điện đồng trục với máy bù đồng bộ được lai bởi động cơ điện một chiều

1: Máy phát đồng trục; 2: Bộ chuyển đổi biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều; 3: Bộ nghịch lưu chuyển đổi điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều; 4: Cuộn kháng; 5: Máy bù công suất phản kháng; 6: Biến áp kích từ; 7: Bộ chuyển đổi biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều cho cuộn kích từ của máy; 8: Cuộn kích từ ;9 : Máy phát điện được lai bởi động cơ diesel lai chân vịt.

Trên hình 2.9 biểu diễn mô hình máy phát điện đồng trục. Máy chính lai chân vịt cố định đồng thời lai máy điện đồng bộ ba pha có cuộn kích từ độc lập. Năng lượng điện xoay chiều của máy phát đồng trục được chỉnh lưu qua bộ chỉnh lưu công suất công suất tạo thành dòng điện một chiều. Năng lượng điện một chiều được lọc nhiễu nhờ bộ lọc để san phẳng sau đó được nghịch lưu thành dòng điện xoay chiều nhờ bộ nghịch lưu. Năng lượng điện xoay chiều qua cuộn kháng để lọc dòng và qua ACB1 để đưa năng lượng lên

lưới. Vì máy phát đồng trục khi tạo ra năng lượng qua bộ biến tần không tạo ra công suất phản kháng cho lưới điện. Do đó ở mô hình trên người ta đã sử dụng máy bù công suất phản kháng. Máy bù ở đây chính là động cơ đồng bộ chạy không tải có kích từ phù hợp. Máy bù được lai bởi động cơ một chiều có nguồn điện được lấy từ phía lưới điện thông qua cầu chỉnh lưu để chuyển đổi dòng xoay chiều từ phía lưới điện cấp cho động cơ điện một chiều lai máy bù. Cũng giống với sơ đồ trên hệ thống máy phát đồng trục này cũng sử dụng hệ thống kích từ độc lập. Năng lượng điện xoay chiều được lấy từ trên lưới điện qua ACB2 thông qua máy biến áp để chuyển đổi thành nguồn điện xoay chiều phù hợp với cuộn kích từ. Năng lượng điện xoay chiều được lấy từ phía cuộn thứ cấp của biến áp được chuyển đổi thành năng lượng điện một chiều cấp cho cuộn kích từ để kích từ cho máy phát đồng trục.

Thực tế hiện nay, bộ biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều và bộ nghịch lưu chuyển đổi điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều được sử dụng bằng các van bán dẫn công suất lớn như Diode, Thyrytor, IGBT. Trong đó IGBT là loại van công suất kết hợp công nghệ MOSFET và BIPOLOR TRANSISTOR. IGBT là loại được ứng dụng ở dải công suất lớn và tần số cao, nó có khả năng chịu được dòng lớn và điện áp ngược.

Mặt khác ở hệ thống máy phát đồng trục hiện nay có một điểm đổi mới đó là hệ thống kích từ độc lập. Nguồn năng lượng cấp cho cuộn kích từ của máy phát độc lập với nguồn năng lượng điện phát ra của máy phát đồng trục. Đây là phương pháp kích từ mà hệ thống kích từ có nguồn điện kích từ không phụ thuộc vào máy phát đồng trục. Hệ thống này luôn luôn chủ động trong vấn đề kích từ cho máy phát đồng trục mà không thụ động như các hệ thống máy phát đồng trục kinh điển có phương pháp kích từ là tự kích.

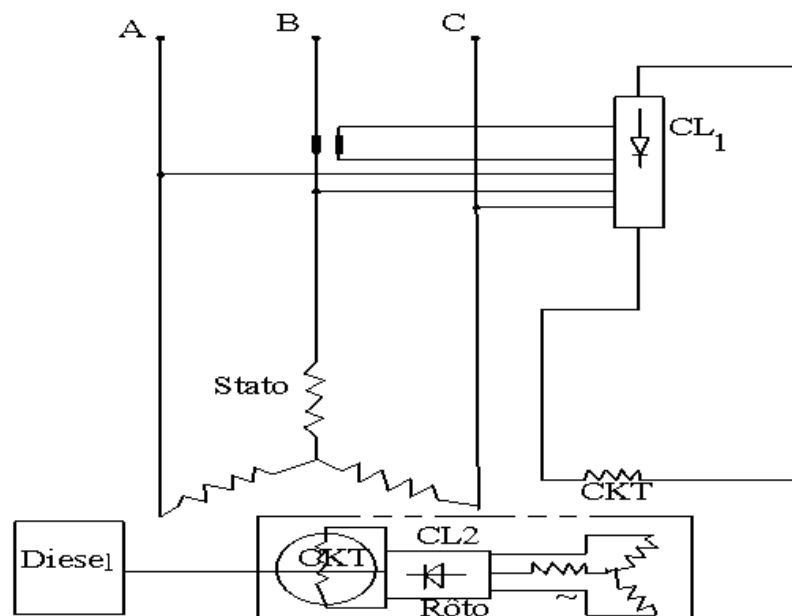
Máy phát đồng trục có thể công tác song song với các máy phát điện diesel hoặc có thể công tác độc lập.

Xu hướng của công nghệ hiện nay khi chế tạo các bộ tự động điều chỉnh điện áp, các bộ biến tần để tự động điều chỉnh điện áp và tần số của máy phát là tạo các bộ khiển bằng kỹ thuật số, độ tin cậy cao, tính năng kỹ thuật tốt, tiện lợi trong vận hành và bảo dưỡng dễ dàng. Hệ thống điều khiển là hệ điều khiển kỹ thuật số sử dụng vi điều khiển với các chương trình điều khiển thời gian thực, đảm bảo đủ các chức năng công nghệ của hệ điều khiển hiện có, đồng thời bổ xung thêm các chức năng, thay đổi tham số điều khiển bằng phần mềm, dễ dàng ghép nối với hệ điều khiển máy tính trung tâm, hiển thị tham số và trạng thái làm việc của hệ thống trên màn hình máy tính, quản lý và lưu giữ thông số hệ thống lâu dài và tin cậy.

2.1.3.2. Máy phát đồng trục sử dụng máy phát không chổi than hiện nay.

a. Cấu trúc của máy phát đồng trục sử dụng máy phát không chổi than hiện nay.

Gần đây máy phát điện đồng bộ không chổi than được sử dụng rộng rãi, loại máy phát này, máy phát chính và máy phát kích từ được đặt chung trong một vỏ máy có trục và rô to chung.



Hình 2.11: Sơ đồ nguyên lý của máy phát điện đồng bộ tự kích

không chổi than

Phần ứng của máy phát kích từ là cuộn dây ba pha được đặt ở rô to cung cấp dòng điện cho cuộn kích từ máy phát chính qua bộ chỉnh lưu cầu ba pha, các diode lắp ngay trên rô to.

Ưu nhược điểm.

+ Ưu điểm, là do không có vòng trượt và chổi nên làm việc tin cậy hơn, không có tia lửa điện ở chổi than và vòng trượt nên được dùng rộng rãi và đặc biệt quan trọng đối với các tàu dầu, bảo quản, bảo dưỡng và khai thác vận hành dễ dàng hơn.

+ Nhược điểm, khó cho việc sửa chữa nếu chỉnh lưu trong rô to bị hỏng.

b. Các hệ thống tự động điều chỉnh điện áp hiện nay .

Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp được thiết kế theo các nguyên tắc điều khiển cơ bản. Đến nay đã có những nguyên lý hiện đại nhưng với tự động điều chỉnh điện áp thì nguyên lý kinh điển vẫn còn giữ nguyên giá trị và hệ thống đáp ứng những yêu cầu về chất lượng cao, trong điều chỉnh các nhà thiết kế đã nghiên cứu phát triển hệ thống ngày càng trở nên hoàn hảo hơn. Dấu hiệu chính đặc trưng cho cho một nguyên tắc điều khiển là thông tin cần thiết để tạo nên tác động điều khiển và cấu trúc đường truyền tín hiệu trong hệ thống, nhận biết các dấu hiệu này là nhận biết ra hệ thống với những đặc điểm riêng trong nguyên lý xây dựng.

Nguyên lý điều khiển theo sai lệch.

Khi xây dựng hệ thống theo nguyên lý sai lệch, tác động điều khiển được thiết lập dựa trên độ sai lệch giữa đại lượng được điều chỉnh với giá trị đặt:

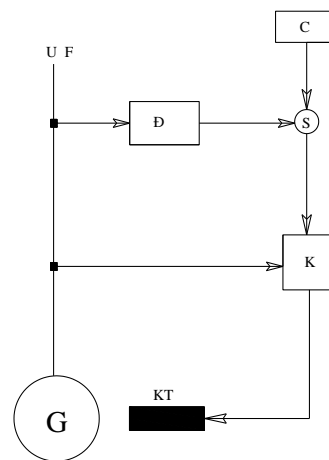
$$\varepsilon(t) = U_{DAT} - U_{DO} \quad (2.1)$$

trên cơ sở đó hệ thống sẽ tác động theo xu hướng triệt độ sai lệch $\varepsilon(t)$ nét đặc trưng để nhận thấy nhất của nguyên lý là hệ thống bao giờ cũng sử dụng mạch

phản hồi với các thiết bị đo và biến đổi (nếu cần), tín hiệu phản hồi được đưa về so sánh với tín hiệu để tạo nên tín hiệu điều khiển: Ưu điểm của nguyên lý sai lệch là có thể điều khiển được những đối tượng, không ổn định, khử bỏ tất cả các loại nhiễu, điều này hoàn toàn dễ hiểu vì thông tin dùng để tạo tín hiệu điều khiển chỉ dựa hậu quả nên sai lệch mà không kể đến nguyên nhân gây sai lệch. Với nguyên lý này, cấu trúc hệ thống đơn giản, không phải dùng nhiều thiết bị quan sát, đo đạc. Tuy vậy với nguyên lý này cũng khó có thể tạo nên một hệ thống vừa có độ chính xác cao, ổn định tốt và tác động nhanh.

Hệ thống sẽ luôn tồn tại sai số vì độ sai lệch là cơ sở để tạo nên tín hiệu điều khiển.

Hình 2.12 trình bày hệ thống tự điều chỉnh điện áp xây dựng theo nguyên lý độ lệch, trong đó: G: máy đồng bộ, Đ: bộ đo biến đổi (nếu cần), C: Bộ tạo tín hiệu chuẩn, S: khâu so sánh, K: khâu khuếch đại, KT: cuộn dây kích từ.

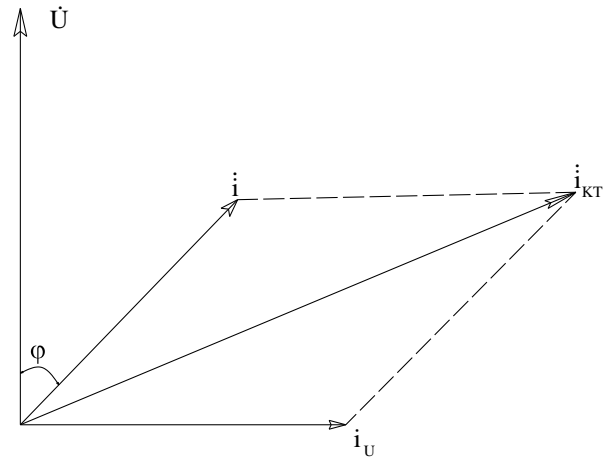
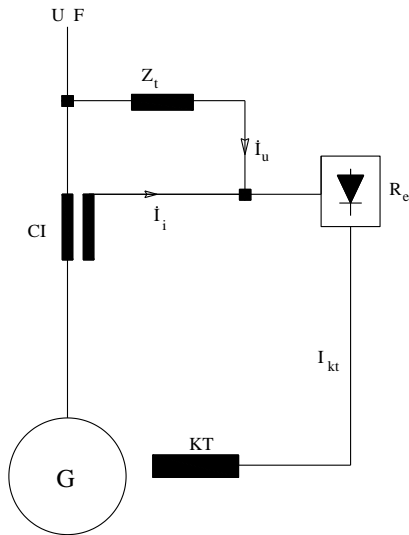


Hình 2.12: Hệ thống tự điều chỉnh điện áp xây dựng theo nguyên lý độ lệch

Nguyên lý điều khiển theo nhiễu.

Nguyên lý điều khiển theo bù trừ nhiễu là nguyên lý được xây dựng trong đó tác động điều khiển được thành lập theo kết quả đo nhiễu tác động vào đối tượng. Các hệ thống khi được xây dựng theo nguyên lý này làm việc với mạch hở, không có mối liên hệ ngược (phản hồi) và cấu trúc hệ thống thường được thiết kế có thiết bị bù tạo tín hiệu tác động ngược với dấu của nhiễu tác động nên đối tượng. Ưu điểm của nguyên lý này là hệ thống tác động nhanh vì tác động gây nên sai lệch được đo trực tiếp, nhược điểm của

nguyên lý này là không có khả năng, được đo trực tiếp, nhược điểm của nguyên lý này là không có khả năng khử được tất cả các loại nhiễu vì làm như vậy phần tử đo rất nhiều, tạo ra hệ thống quá phức tạp.



Hình 2.13: Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp xây dựng theo nguyên lý bù trừ nhiễu **Hình 2.14:** Đồ thị vector của hệ thống điều chỉnh theo nguyên lý bù nhiễu

Hình 2.13 trình bày hệ thống tự động điều chỉnh điện áp xây dựng theo nguyên lý bù trừ nhiễu trong đó;

- G: - Máy đồng bộ
- Z_t : - Cuộn kháng
- CT: - Biến dòng, R_e - Bộ chỉnh lưu
- KT: Cuộn dây kích từ

Về nguyên tắc, bộ tự điều chỉnh điện áp xây dựng theo nguyên lý bù nhiễu làm việc với thuật điều khiển:

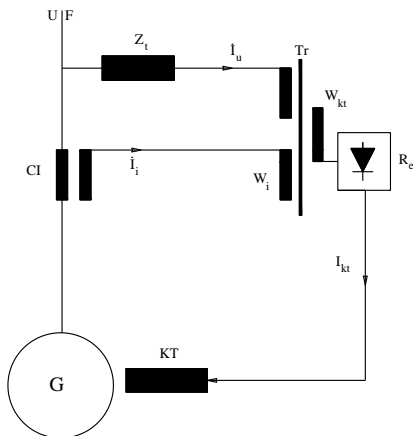
$$I_{KT} = I_U + I_i \quad (2.2)$$

Phương trình 2.2 viết ở phía xoay chiều trong đó I_1 chính là dòng tải còn dòng I_u là dòng điện do điện áp phát máy rơi trên cuộn kháng Z_t là thuần cảm nên dòng điện I_u bao giờ cũng chậm sau điện áp U một góc 90° điện đồ thị hệ thống vector hệ thống như hình 2.14. Trước đây cũng với nguyên lý

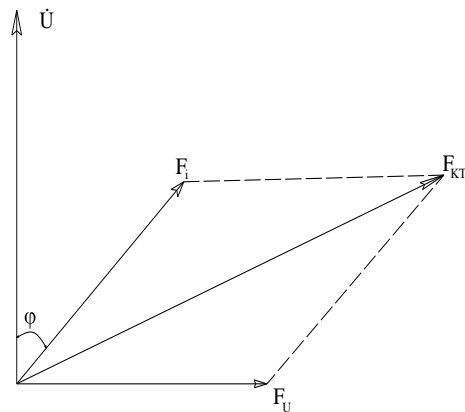
này một số hãng thực hiện thuật toán thông qua biến áp phức hợp, phương trình vector sức từ động viết như sau.

$$F_{KT} = F_u + F_1 \quad (2.3)$$

Trong đó F là vector sức từ động của các cuộn dây biến áp phức hợp. Nguyên lý của hệ thống trình bày trên hình 2.15. Trong đó: Tr là biến áp phức hợp của cuộn dây W_u mang tín hiệu điện áp dưới dạng dòng thông qua cuộn kháng Z_t , cuộn dây W_t lấy tín hiệu dòng tải từ biến dòng CT cuộn dây tổng hợp W_{KT} là cuộn dây thứ cấp. Đồ thị vector cũng trên hình 2.16 lúc đó các vector dòng điện được thay thế bởi các vector STD F vì cộng về STD nên hằng số thời gian lớn hơn so với phương án cộng về điện, các quá trình quá độ dài hơn và cấu tạo phức tạp lại vừa tốn kém. Chính vì các nhược điểm đó, các phương án này dần được thay thế bằng phương án cộng trực tiếp về điện như trên hình 2.13 đã trình bày.



Hình 2.15: Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp dùng biến áp phức hợp



Hình 2.16: Đồ thị vector của hệ thống thực hiện bằng biến áp phức hợp

Nguyên lý điều khiển kết hợp.

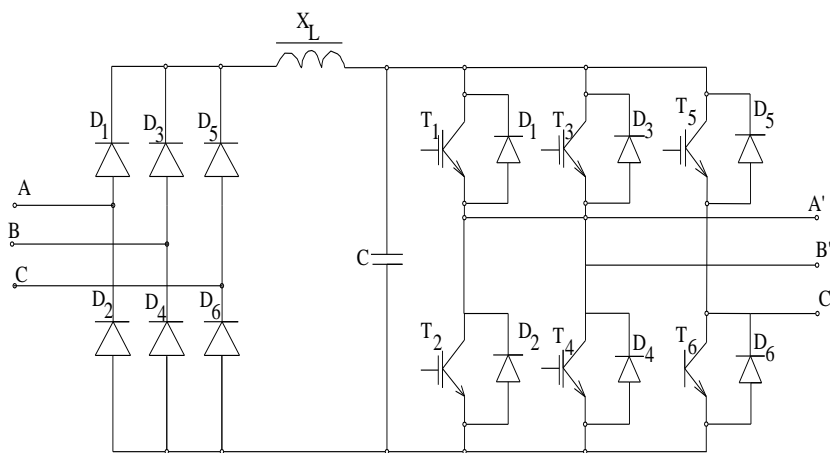
Đây là các hệ thống được xây dựng dựa trên kết quả liên hợp giữa hai phương pháp điều chỉnh theo độ lệch và bù trừ nhiễu. Thực hiện liên hợp để tạo nên một hệ thống có tất cả các ưu điểm của hai hệ thống và khắc phục

được những khuyết điểm, của cả hai tức là tránh được những vùng tối trong điều khiển. Đặc điểm của nguyên lý kết hợp là bên cạnh các vòng kín nên tín hiệu phản hồi âm, còn có các mạch bù trừ tác động theo nhiều thường là tín hiệu ngược bù dấu với nhiều để tạo nên các hướng điều chỉnh ngược lại hướng tác động của nhiều hay các mạch phụ bù trừ sai số tác động từ tín hiệu gây nên.

c. Biến tần gián tiếp làm việc trong trạm phát điện tàu thủy.

Bộ biến tần dòng 3 pha Diode - IGBT :

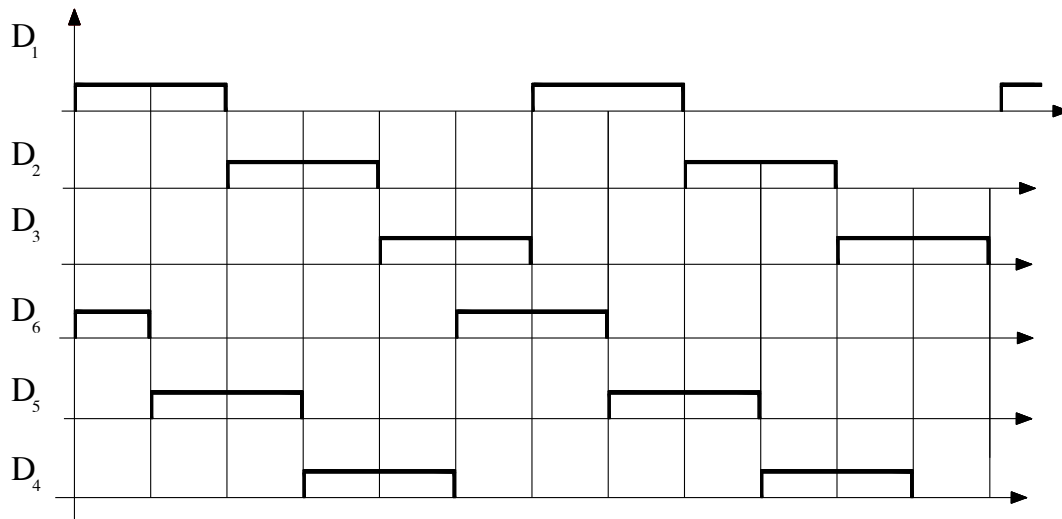
Trên hình 2.18 biểu diễn bộ biến tần gián tiếp 3 pha điều chỉnh độ rộng xung PWM dùng diode - IGBT. Sơ đồ gồm 6 diode $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ và các transistor IGBT: $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ nối theo sơ đồ cầu.



Hình 2.18: Sơ đồ nguyên lý bộ biến tần gián tiếp diode – IGBT

Trong cầu chỉnh lưu diode ba pha diode D_1 mắc vào pha A, D_2 mắc vào pha B, D_3 mắc vào pha C còn các diode D_4, D_5, D_6 mắc vào phía âm của các pha A, pha B, pha C. Trong sơ đồ mỗi thời điểm (Nếu bỏ qua trùng dẫn) luôn có hai diode ở hai pha khác nhau cùng làm việc. Mỗi diode dẫn 120° nhưng 60° nó dẫn chung với diode ở pha này còn 60° lại dẫn chung với diode ở pha khác. Trên hình 2.19 biểu diễn khoảng dẫn của các van. Qua sơ đồ này ta thấy D_1 dẫn chung với D_5 trong 60° , sau đó dẫn chung với D_6 trong khoảng 60° . Việc chuyển dẫn từ diode pha này sang pha khác dựa trên cơ sở sau:

Tại mỗi thời điểm điện thế trên các anốt của 2 diod bằng nhau thì diode có điện thế tăng sẽ dẫn còn diode có điện thế giảm thì ngừng dẫn. Trong sơ đồ cầu trong thời điểm 1 diode đang dẫn nó sẽ dẫn chung với diode nào mắc ở pha có điện thế âm hơn. Trên cơ sở đó điện áp chỉnh lưu biểu diễn bằng biểu thức sau:



Hình 2.19: Biểu diễn các khoảng dẫn của các van thuộc các pha khác nhau

$$U_d = U_A D_1 D_6 + U_A D_1 D_5 + U_B D_2 D_4 + U_B D_2 D_5 + U_C D_3 D_4 + U_C D_3 D_6 - U_A D_4 D_2 - U_A D_4 D_3 - U_B D_1 D_5 - U_B D_5 D_3 - U_C D_6 D_1 - U_C D_6 D_2 \quad (2.4)$$

$$\text{Hoặc } U_d = U_A D_1 (D_6 + D_5) + U_B D_2 (D_4 + D_6) + U_C D_3 (D_4 + D_5) - U_A D_4 (D_2 + D_3) - U_B D_5 (D_1 + D_3) - U_C D_6 (D_1 + D_2). \quad (2.5)$$

Mặc khác ta thấy điện áp đặt lên tải là điện áp dây trên đó có 2 diode mắc nối tiếp với nhau, chúng cùng làm việc tại 1 thời điểm vậy có thể viết:

$$U_d = U_{AB} D_1 D_5 + U_{BC} D_2 D_6 + U_{CA} D_3 D_4 + U_{BA} D_2 D_4 + U_{CB} D_3 D_5 + U_{AC} D_1 D_6 \quad (2.6)$$

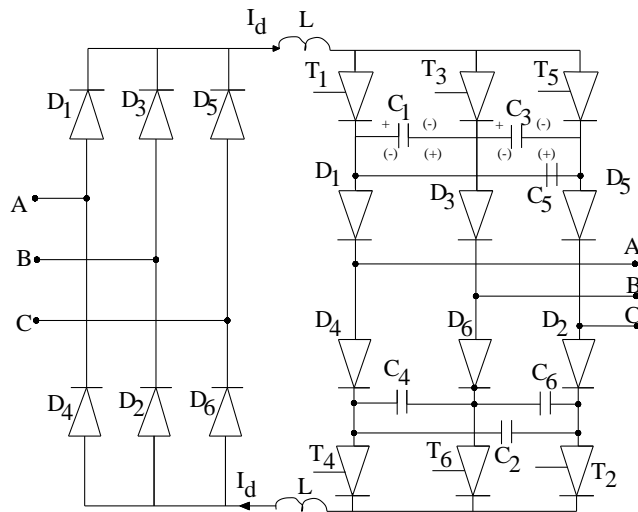
Trong cầu nghịch lưu mỗi IGBT được nối thêm một diode. Do các transisto không có khả năng chịu được điện áp âm nên ta dùng diode mắc song song với các transisto để bảo vệ transisto khỏi điện áp ngược. Trong sơ đồ các transisto T_1, T_3, T_5 mắc chung cực colectơ ở phía dương và các transisto T_2, T_4, T_6 mắc chung cực emitor về phía âm của nguồn điện một chiều U_d . Vì bộ

biến tần gián tiếp PWM dùng transisto IGBT nên điện áp ra trên tải lặp lại điện áp điều khiển trên cực của transisto, có nghĩa là điện áp ra trên tải của bộ biến tần cũng có dạng xung hình chữ nhật với những độ rộng khác nhau giống như điện áp điều khiển.

Bộ biến tần dòng 3 pha Diode - Thyristor :

Trên hình 2.20 biểu diễn sơ đồ bộ biến tần nguồn dòng 3 pha. Hệ thống gồm cầu chỉnh lưu diode và cầu nghịch lưu thyristor.

Trong cầu chỉnh lưu diod ba pha diode D_1 mắc vào pha A, D_2 mắc vào pha B, D_3 mắc vào pha C còn các diode D_4, D_5, D_6 mắc vào phía âm của các pha A, pha B, pha C. Trong sơ đồ mỗi thời điểm (Nếu bỏ qua trùng dẫn) luôn có hai diode ở hai pha khác nhau cùng làm việc. Mỗi diode dẫn 120° nhưng 60° nó dẫn chung với diode ở pha này còn 60° lại dẫn chung với diode ở pha khác. Trong cầu nghịch lưu mỗi thyristo được nối thêm một diode. Trong mỗi nửa cầu có 3 tụ điện dùng để chuyển mạch các thyristo.

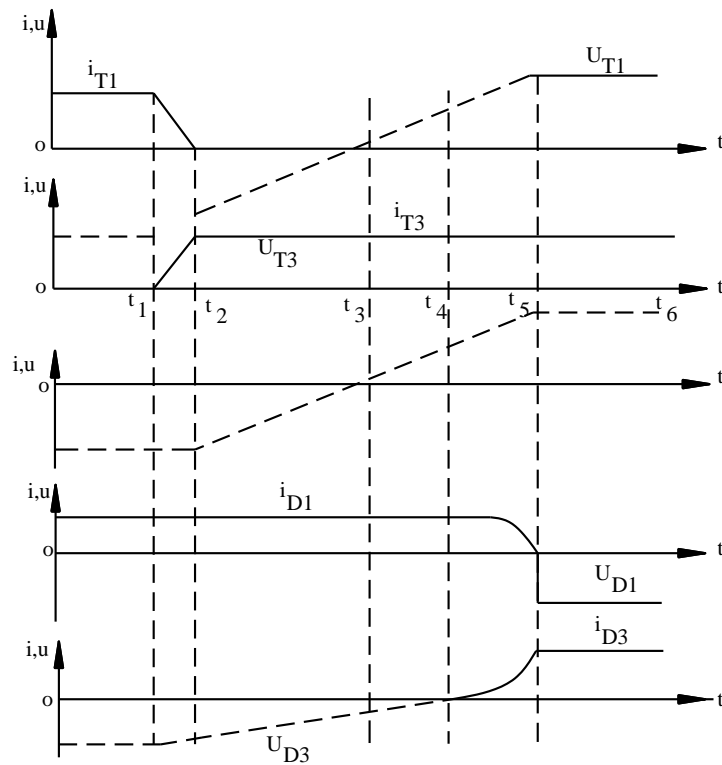


Hình 2.20: Bộ biến tần nguồn điện áp.

Hoạt động của hệ thống như sau: Giả thiết rằng cho tới khi mở T_3, T_1 và D_1 ở nhóm anốt và T_2, D_2 ở nhóm katốt đang dẫn. Dòng tải I_d chạy qua pha A và pha C; các tụ điện chuyển mạch C_1, C_2, C_3 có cực tính như hình vẽ, trong đó điện áp C_1, C_3 lớn hơn biên độ sđđ cảm ứng trong pha của tải. Mạch chuyển mạch dòng điện trên bản vẽ ký hiệu là đường đậm. Tại thời điểm t_1

(hình 2.20) mở t_3 , trong thời gian rất ngắn t_2-t_3 dòng điện được chuyển từ t_1 sang mạch của t_3 vì C_1 và C_3 đặt áp ngược lên t_1 .

Tại thời điểm t_2 dòng I_d (trong quá trình chuyển mạch có thể coi không đổi) từ mạch 1 chiều chạy qua t_3 tụ C_1 diode D_1 tới pha A của tải. trong thời gian này diode D_3 không dẫn dòng điện vì nó bị phân cực ngược bởi điện áp các tụ điện và điện áp dây U_{AB} . Với cấu trúc này của mạch, dòng điện I_d , các tụ C_1, C_3 sẽ được chuyển nạp hay nạp điện bằng dòng I_d . tại thời điểm t_3 tụ C_1 phóng điện, điều đó có nghĩa là đã kết thúc quá trình ngắt của t_1 . Diode D_3 và D_5 còn chưa dẫn dòng, điện áp trên tụ điện tiếp tục biến đổi tuyến tính ($I_d = \text{const}$). Tại thời điểm t_4 , phân cực diode D_3 đổi, nó bắt đầu dẫn điện, mạch chuyển mạch bây giờ chứa tụ điện tương đương ($1,5C$) diode D_1, D_3 và pha tải A, B. Mạch này nối tiếp C, L, R ($1,5C, 2L, 2R$) là một mạch dao động. Bắt đầu giai đoạn chuyển mạch thứ 2 trong đó dòng chuyển mạch i_k bị cưỡng bức bởi mạch dao động chạy qua diode D_1 theo hướng ngược lại với hướng dòng i_d .



Hình 2.21: Giải đồ đặc tính thời gian điện áp và dòng điện khi chuyển mạch

CHƯƠNG 3

MÁY PHÁT ĐỒNG TRỤC TRÊN TÀU THỦY SỬ DỤNG MÁY ĐIỆN DỊ BỘ NGUỒN KÉP

3.1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Từ phân tích các loại máy máy phát đồng trục ở chương hai từ kinh điển đến các thế hệ máy phát hiện đại hiện nay thấy rằng mỗi một hệ thống đều có những ưu nhược điểm riêng. Càng về sau, các hệ thống càng có được nhiều mặt tích cực và khả năng ứng dụng cao hơn đó là điều hoàn toàn logic. Tuy vậy khi nghiên cứu lại máy phát dị bộ của GS.TSKH Nguyễn Phùng Quang trước đây. Nhất là khi công nghệ điều khiển vi xử lý và điện tử công suất ngày nay đã đáp ứng đầy đủ các yêu cầu trong điều khiển máy phát điện đồng trục thì phương pháp sử dụng máy phát đồng trục (máy điện dị bộ nguồn kép) càng có cơ sở để chúng ta có khả năng ứng dụng trong trạm phát tàu thủy với chức năng máy phát đồng trục.

Ưu điểm của phương pháp :

- Không sử dụng máy bù đồng bộ so với phương pháp sử dụng máy phát đồng trục đồng bộ.
- Chất lượng điện áp và tần số phát ra là tốt không có xung nhiễu, sóng hài tần số cao so với phương pháp sử dụng nghịch lưu.
- Việc thực hiện phân chia tải tác dụng, tải phản kháng, ổn định điện áp, ổn định tần số chỉ thực hiện trong phần điều khiển.
- Kết cấu đơn giản, giá thành rẻ.....

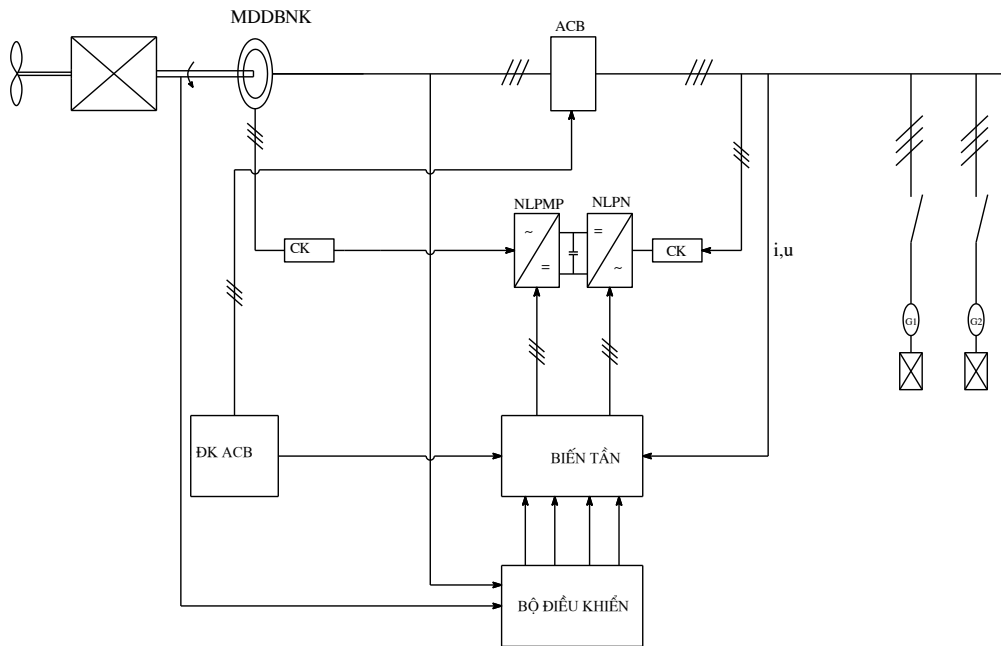
Tuy nhiên để cho máy phát điện đồng trục dị bộ nguồn kép hoạt động thì ban đầu phải có điện áp một chiều trung gian và sau khi máy phát phát điện đồng trục dị bộ nguồn kép đã hoạt động thì nguồn điện áp một chiều này có

thể lấy trực tiếp từ sau nguồn điện áp ba pha của máy phát để cung cấp trở lại. Vấn đề này được thực hiện bằng hai phương án :

- Lấy nguồn điện một chiều từ ắc quy
- Lấy nguồn điện một chiều sau chỉnh lưu từ lưới điện

Trong đó phương án thứ hai là hoàn toàn thích hợp với yêu cầu của tàu thủy. Điều đó được diễn giải như sau: Trong thực tế máy phát đồng trục không hoạt động ở chế độ điều động và hạn chế công tác song song với máy phát diesel độc lập trong quá trình điều động ở luồng lạch. Quá trình hoạt động của máy phát đồng trục như sau: Ban đầu khi tàu ở chế độ điều động thì toàn bộ năng lượng của tàu được cấp bởi máy phát diesel độc lập cho các phụ tải. Khi tàu đã chuyển sang chế độ hành trình lúc đó tốc độ máy chính tương đối ổn định thì máy phát đồng trục mới bắt đầu được đưa vào hoạt động để cấp điện lên lưới (Nên lúc này ở lưới điện đã có nguồn trước khi máy phát đồng trục được đóng lên lưới). Sau đó mới tiến hành hòa thêm máy phát đồng trục vào lưới và chuyển tải từ máy phát diesel sang máy phát đồng trục. Khi đó toàn bộ tải được chuyển sang máy phát đồng trục thì máy phát diesel độc lập được ngắt ra khỏi lưới. Từ thực tiễn hoạt động của các con tàu Vinashin Orient, tàu Diên hồng, tàu 700teu ... ta thấy rằng chỉ khi tàu đang hành trình trên biển trong điều kiện thời tiết thuận lợi thì người ta mới đưa máy phát điện đồng trục vào hoạt động song song với máy phát diesel độc lập để phát điện trên lưới điện. Khi máy đồng trục đã được đưa vào công tác song song thì trong thời gian rất ngắn bắt buộc máy phát diesel độc lập phải được ngắt ra khỏi lưới điện. Nếu không sau 30 giây aptomat sẽ tự động ngắt để ngắt máy phát diesel độc lập ra khỏi lưới điện .

Từ sự phân tích ở trên tác giả đưa ra cấu trúc của máy phát đồng trục dị bộ nguồn kép. Với giới hạn của đề tài là điều chỉnh điện áp và tần số của máy phát đồng trục dị bộ nguồn kép khi tốc độ của máy chính là ổn định và trên lưới điện đã có nguồn điện.



Hình 3.1 : Biểu diễn cấu trúc của máy phát đồng trục dị bộ nguồn kép

Trên hình 3.1 mô tả sơ đồ cấu trúc một hệ thống máy phát điện đồng trục sử dụng máy điện dị bộ nguồn kép (MPĐTSDMDBNK). Hệ thống trên bao gồm một máy điện dị bộ nguồn kép có cuộn dây stator được nối trực tiếp với điện ba pha. Cuộn dây phía rotor được nối với hệ thống biến tần (dùng van bán dẫn) có khả năng điều khiển dòng năng lượng đi theo hai chiều. Với loại máy phát này có thể ứng dụng trong phạm vi rộng từ vài chục KW đến vài MW. Với lý do rất đơn giản: để điều khiển và điều chỉnh công suất qua máy phát, ta chỉ sử dụng biến tần có công suất cỡ bằng 1/3 công suất máy phát tác động trực tiếp qua hệ thống vào vành góp rôto. Máy phát đồng trục sử dụng máy dị bộ nguồn kép có khả năng hoạt động với hệ số trượt trong một phạm vi khá rộng, cho phép tận dụng tốt hơn nguồn năng lượng được lai bởi máy chính. Mặt khác nhờ khả năng được cấp năng lượng từ phía rôto cho nên MPĐTSDMDBNK hoạt động hoàn toàn độc lập với tốc độ quay của động cơ lai là máy chính. Nó có thể hoạt động ở một dải rộng đó là làm việc ở hai chế độ trên hoặc dưới đồng bộ (Chế độ đồng bộ quy định tốc độ định mức của máy phát đồng trục để máy phát ra điện áp hoặc tần số định mức). Ở hai chế

độ đó máy đều cung cấp năng lượng lên lưới ở phía stato. Ở phía rôto, máy lấy năng lượng từ lưới ở chế độ dưới đồng bộ và hoàn năng lượng trở lại lưới ở chế độ trên đồng bộ.

Hệ thống biến tần bao gồm hai cụm: Cụm nghịch lưu phía lưới (NLPL) và cụm nghịch lưu phía máy phát (NLPMP) và ngược lại. Hai cụm được nối với nhau thông qua mạch điện một chiều trung gian.

Cụm điều khiển nghịch lưu phía máy phát có nhiệm vụ là điều khiển công suất tác dụng (thông qua momen quay của máy phát) và công suất phản kháng lên lưới một cách độc lập với nhau, thông qua điều khiển các thành phần dòng điện rotor, với việc áp dụng kỹ thuật điều khiển vector. Đồng thời đảm nhận việc hoà đồng bộ với lưới cũng như điều chỉnh tách máy phát ra khỏi lưới khi cần thiết.

Cụm điều khiển nghịch lưu phía lưới dùng để duy trì trị số điện áp một chiều trung gian không đổi theo giá trị đặt của nó, phù hợp với bộ biến đổi nghịch lưu phía máy phát và điều khiển hướng, trị số công suất phản kháng lên lưới. Cụm điều khiển nghịch lưu phía lưới trên thực tế không chỉ có nhiệm vụ chỉnh lưu theo nghĩa thông thường lấy năng lượng từ lưới về, cụm còn có khả năng thực hiện nhiệm vụ hoàn trả năng lượng từ mạch một chiều trung gian trở lại lưới. Vì vậy, về cấu trúc mạch điện tử công suất, cụm điều khiển nghịch lưu phía lưới hoàn toàn giống như cụm điều khiển nghịch lưu phía máy phát. Cụm điều khiển nghịch lưu phía lưới có nhiệm vụ điều chỉnh ổn định điện áp mạch một chiều trung gian sao cho không phụ thuộc vào độ lớn cũng như chiều của dòng năng lượng chảy qua rotor, đồng thời điều chỉnh $\cos\varphi$ phía lưới và qua đó có thể giữ vai trò bù công suất phản kháng. Aptomat dùng đóng mở đưa điện lên trên lưới điện được điều khiển từ bộ điều khiển tác động đến bộ biến tần. Các van bán dẫn của thiết bị điều khiển nghịch lưu phía máy phát và điều khiển nghịch lưu phía lưới được điều khiển đóng mở theo nguyên lý điều chế vector không gian.

Với mục đích của luận văn là sử dụng máy dị bộ nguồn kép thông qua việc áp dụng giải pháp điều khiển thích hợp cho bộ điều khiển nghịch lưu phía máy phát và phía lưới cho máy phát đồng trục tàu thủy.

Với hệ thống sử dụng aptomat, khi sự cố dòng quá độ rotor vượt quá mức cho phép của bộ biến đổi, bộ chuyển mạch điện tử công suất thyristor phía stator sẽ ngắt máy phát ra khỏi lưới, tuy nhiên vẫn duy trì điều khiển phía rotor để điều khiển tái hoà đồng bộ máy phát vào lưới khi biên độ dòng quá độ giảm dưới mức an toàn của bộ biến đổi và việc phát công suất tác dụng, phản kháng lên lưới được khôi phục trở lại.

Ngoài ra việc thực hiện bảo vệ máy phát đồng trục và điều khiển aptomat còn được thực hiện theo yêu cầu của Đăng kiểm cho tàu thủy.

3.2. MÔ HÌNH MÁY PHÁT ĐỒNG TRỤC SỬ DỤNG MÁY PHÁT ĐIỆN DỊ BỘ NGUỒN KÉP

3.2.1. Mô hình toán học phía máy phát đồng trục dị bộ nguồn kép và phía lưới điện.

3.2.1.1. Biểu diễn vector không gian của đại lượng 3 pha.

Theo lý thuyết điều khiển vector, trên mặt phẳng cơ học (mặt cắt ngang) của máy điện, vector không gian dòng điện stator của máy dị bộ nguồn kép được định nghĩa như sau :

$$\underline{i}_s(t) = \frac{2}{3} \left[\underline{i}_u(t) + i_{sv}(t)e^{j120^\circ} + i_{sw}(t)e^{j240^\circ} \right] \equiv \underline{i}_s | e^{j\omega_s t} \quad (3.1)$$

Trong đó i_{su} , i_{sv} , i_{sw} là các dòng điện hình sin, cùng biên độ, cùng tần số, lệch nhau 120° điện chạy trong ba pha dây quấn stator u, v, w.

Như vậy $\underline{i}_s(t)$ là vectơ dòng điện stator của máy dị bộ nguồn kép quay với tốc độ góc $\omega_s = 2\pi f_s$ so với stator, với f_s là tần số mạch stator.

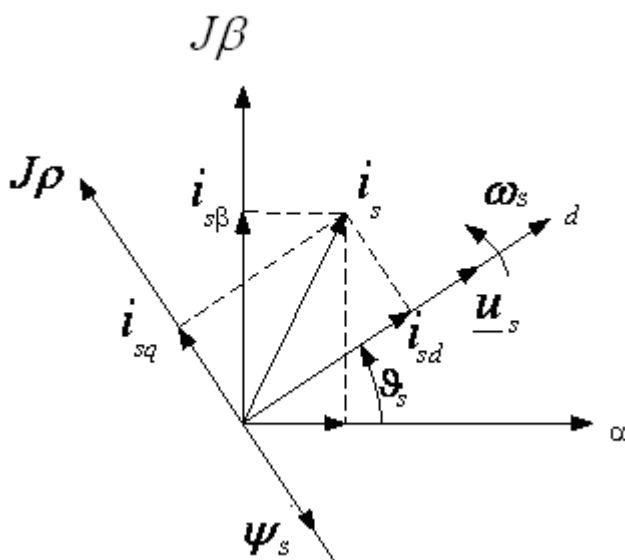
Đối với các đại lượng khác của mạch stator, như điện áp stator, từ thông stator ta đều có thể xây dựng các vector không gian tương ứng tương tự như đối với dòng điện stator kể trên.

Với máy dị bộ nguồn kép, trên rotor cũng có cuộn dây ba pha r, s, t trong đó ba dòng điện i_{rr} , i_{rs} , i_{rt} tần số góc ω_r , vector không gian dòng điện rotor cũng được định nghĩa như sau :

$$\underline{i}_r(t) = \frac{2}{3} \left[\underline{i}_r(t) + i_{rs}(t)e^{j120^\circ} + i_{rt}(t)e^{j240^\circ} \right] = |\underline{i}_r| e^{j\omega_r t} \quad (3.2)$$

Vector $\underline{i}_r(t)$ là vector không gian dòng điện rotor quay với vận tốc góc ω_r so với rotor, vì rotor quay với vận tốc góc ω so với stato, nên $\underline{i}_r(t)$ cũng quay với tốc độ $\omega_s = \omega + \omega_r$ so với stator.

Đối với các loại đại lượng khác của mạch rotor, như điện áp rotor, từ thông rotor ra đều có thể xây dựng các vector không gian tương tự như đối với dòng điện rotor kể trên.



Hình 3.2: Biểu diễn vector dòng, điện áp, từ thông stator trên hệ tọa độ $\alpha\beta$ và dq .

Bây giờ trên mặt phẳng cơ học (mặt phẳng cắt ngang của máy điện), ta xây dựng một hệ tọa độ cố định $\alpha\beta$ có trục α trùng với trục cuộn dây pha u, và một hệ tọa độ quay d, q có trục thực d trùng với vector điện áp lưới \underline{u}_s (\underline{u}_N) nghĩa là hệ tọa độ d, q này quay với tốc độ $\omega_s = 2\pi f_s$, so với stator (hình

3.3). Các thành phần của vector dòng stator trên trục tọa độ $\alpha\beta$ là $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ và trên trục tọa độ d, q là i_{sd}, i_{sq} ta có mối liên hệ giữa các thành phần của dòng điện stator trên các hệ trục tọa độ và các dòng điện pha stator như sau :

$$\begin{cases} i_s = i_{su} \\ i_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}(i_{su} + 2i_{sv}) \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\begin{cases} i_{s\alpha} = i_{su} \\ i_{sv} = 0,5(-i_{s\alpha} + \sqrt{3}i_{s\beta}) \\ i_{sw} = -0,5(i_{s\alpha} + \sqrt{3}i_{s\beta}) \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\begin{cases} i_{sd} = i_{s\alpha} \cos\theta_s + i_{s\beta} \sin\theta_s \\ i_{sq} = -i_{s\alpha} \sin\theta_s + i_{s\beta} \cos\theta_s \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\begin{cases} i_{s\alpha} = i_{sd} \cos\theta_s - i_{sq} \sin\theta_s \\ i_{s\beta} = i_{sd} \sin\theta_s + i_{sq} \cos\theta_s \end{cases} \quad (3.6)$$

Các công thức biến đổi cho vector dòng stator ở trên cũng đúng với các vector khác vector điện stator, dòng rotor, từ thông stator, từ thông rotor.

3.2.1.2. Mô hình trạng thái liên tục phía máy phát .

Mô hình trạng thái liên tục phía máy phát, thực chất là mô hình trạng thái liên tục đối tượng máy dị bộ nguồn kép. Cơ sở để xây dựng mô hình trạng thái liên tục của máy dị bộ nguồn kép là các phương trình điện áp stator, rotor trên hệ thống cuộn dây stator, rotor.

$$\text{Phương trình điện áp stator :} \quad \underline{u}_s^s = R_s \underline{i}_s^s + \frac{d\Psi_s^s}{dt} \quad (3.7)$$

$$\text{Phương trình điện áp rotor :} \quad \underline{u}_r^r = R_r \underline{i}_r^r + \frac{d\Psi_r^r}{dt} \quad (3.8)$$

Do máy có cấu trúc cân xứng về mặt cơ học, ta có thể bỏ qua các chỉ số phụ như trong (3.7),(3.8), nếu ta biểu diễn các vectơ từ thông trên cùng một hệ tọa độ

Phương trình thông số stator và rotor :

$$\begin{cases} \underline{\psi}_s = \underline{i}_s L_s + \underline{i}_r L_m \\ \underline{\psi}_r = \underline{i}_r L_m + \underline{i}_s L_r \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\text{Phương trình momen : } m_G = -\frac{3}{2} z_p (\underline{\psi}_s \times \underline{i}_s) = -\frac{3}{2} z_p (\underline{\psi}_r \times \underline{i}_r) \quad (3.10)$$

Sau khi chuyển (3.5), (3.6), (3.7) sang biểu diễn trên hệ toạ độ dq là hệ toạ độ quay với vận tốc góc ω_s so với hệ toạ độ cố định ta thu được hệ phương trình sau :

$$\begin{cases} \underline{u}_s^f = R_s \underline{i}_s^f + \frac{d\Psi_s^f}{dt} + j\omega_s \underline{\psi}_s^f \\ \underline{u}_r^f = R_r \underline{i}_r^f + \frac{d\Psi_r^f}{dt} + j\omega_r \underline{\psi}_r^f \\ \underline{\psi}_s^f = \underline{i}_s^f L_s + \underline{i}_r^f L_m \\ \underline{\psi}_r^f = \underline{i}_r^f L_m + \underline{i}_s^f L_r \end{cases} \quad (3.11 \text{ a, b, c, d})$$

Với $\omega_s = \omega + \omega_r$

Chỉ số phía trên bên phải “ f ” để chỉ hệ toạ độ quay dq . Vì ta điều khiển máy dị bộ nguồn kép trên cơ sở phương pháp tựa theo điện áp lưới (tức là hệ toạ độ quay dq) nên từ nay về sau, để cho thuận tiện, nếu không gây nhầm lẫn, ta quy ước các đại lượng trên hệ toạ độ dq sẽ không cần viết chỉ số “ f ” ở phía trên bên phải nữa.

Do stator của máy dị bộ nguồn kép được nối mạch với lưới nên tần số mạch stator chính là tần số lưới, điện áp rơi trên điện trở R_s có thể bỏ qua được so với tổng điện áp rơi trên điện cảm stator L_m và điện cảm $L_{\sigma s}$.

Phương trình (3.7) có thể viết lại gần đúng như sau:

$$\underline{u}_s^s \approx \frac{d\underline{\psi}_s^s}{dt} \text{ hoặc } \underline{u}_s^s \approx j\omega_s \underline{\psi}_s^s. \quad (3.12)$$

Phương trình (3.12) cho thấy từ thông stator luôn chậm pha so với điện áp stator một góc chừng 90° , hoặc diễn đạt cách khác: vector từ thông stator luôn đứng vuông góc với vector điện áp stator, rất thuận lợi cho việc mô hình hoá.

Mặt khác, thiết bị điều khiển được đặt ở phía rotor và ta có cơ hội để sử dụng dòng rotor làm biến điều khiển trạng thái của đối tượng máy dị bộ nguồn kép. Vì vậy ta sẽ tìm cách thông qua 2 phương trình từ thông (3.11c,d)

khử dòng stator \underline{i}_s và từ thông rotor $\underline{\psi}_r$, giữ lại dòng rotor \underline{i}_r và từ thông stator $\underline{\psi}_s$, rồi thay vào 2 phương trình (3.9a,b) và biến đổi ta có :

$$\begin{cases} \frac{d\underline{i}_r}{dt} = -\frac{1}{\sigma} \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) \underline{i}_r - j\omega_r \underline{i}_r + \frac{1-\sigma}{T_s} \left(\frac{1}{T_s} + j\omega \right) \underline{\psi}_s - \frac{1}{\sigma L_r} \underline{u}_r - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \underline{u}_s \\ \frac{d\underline{\psi}_s}{dt} = \frac{1}{T_s} \underline{i}_r - \left(\frac{1}{T_s} + j\omega_s \right) \underline{\psi}_s + \frac{1}{L_m} \underline{u}_s \end{cases} \quad (3.13)$$

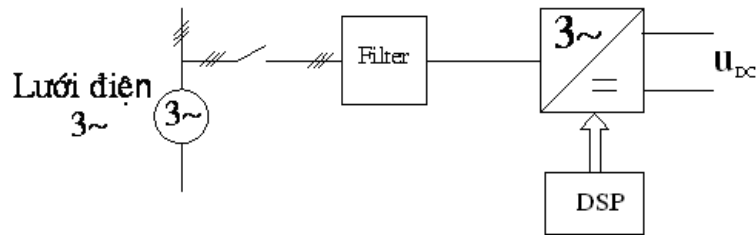
Viết (3.13) dưới dạng thành phần ta sẽ thu được mô hình điện toàn phần của máy dị bộ nguồn kép như

$$\begin{cases} \frac{di_{rd}}{dt} = \left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s} \right) i_{rd} + \omega_r i_{rq} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\frac{1}{T_s} \psi'_{sq} \right) + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rd} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sd} \\ \frac{di_{rq}}{dt} = -\omega_r i_{rd} - \left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s} \right) i_{rq} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\omega \psi'_{sd} + \frac{1}{T_s} \psi'_{sq} \right) + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rq} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sq} \\ \frac{d\psi'_{sd}}{dt} = \frac{1}{T_s} i_{rd} - \frac{1}{T_s} \psi'_{sd} + \omega_s \psi'_{sq} + \frac{1}{L_m} u_{sd} \\ \frac{d\psi'_{sq}}{dt} = \frac{1}{T_s} i_{rq} - \omega_s \psi'_{sq} - \frac{1}{T_s} \psi'_{sq} + \frac{1}{L_m} u_{sq} \end{cases} \quad (3.14)$$

3.2.1.3. Mô hình toán học phía lưới điện.

a. Mô hình trạng thái liên tục phía lưới điện.

Hình 3.3 mô tả sơ đồ nguyên lý phía lưới điện sau khi đã tách ra từ mô hình tổng thể toàn hệ thống.



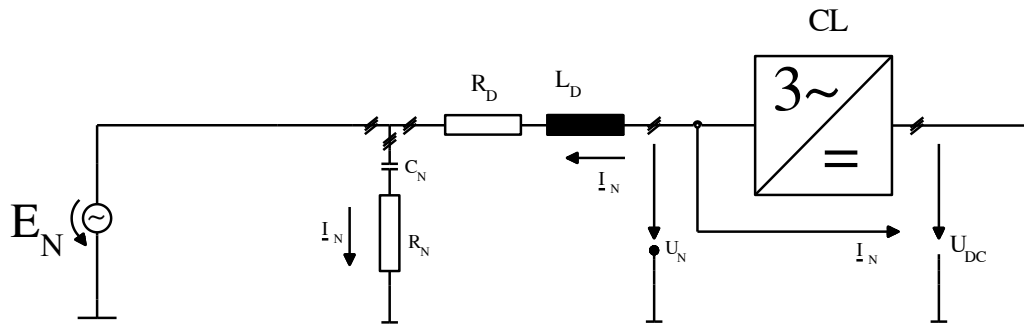
Hình 3.3: Sơ đồ nguyên lý phía lưới

Mạch điện phía lưới bao gồm 1 bộ biến đổi, khâu lọc RC lọc xung điện áp bị băm, cuộn cảm lọc dòng. Khi máy phát hoạt động ở chế độ trên đồng bộ, bộ biến đổi đóng vai trò khâu nghịch lưu, chuyển năng lượng từ mạch một

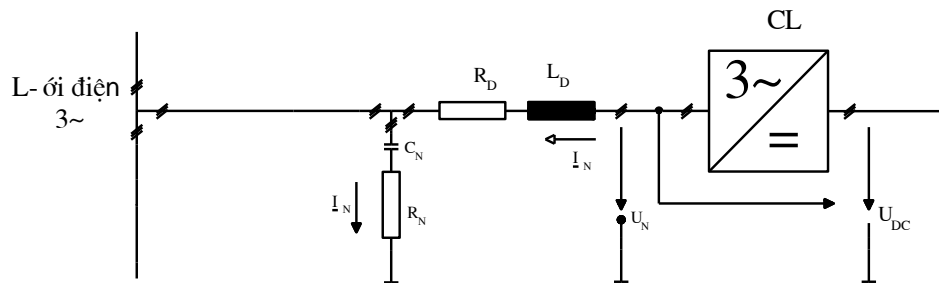
chiều trung gian lên lưới. Khi máy phát hoạt động ở chế độ dưới đồng bộ, bộ biến đổi đóng vai trò khâu chỉnh lưu, chuyển năng lượng từ lưới sang mạch một chiều trung gian.

Để phân tích tìm ra các biến điều khiển phía lưới, trước hết ta bước vào xây dựng và phân tích mô hình toán học của hệ thống phía lưới điện trên hệ tọa độ tựa hướng vec tơ điện áp lưới.

Hình 3.4 mô tả sơ đồ tổng quát mạch điện phía lưới. Cuộn cảm lọc dòng có cảm kháng L_D , điện trở cuộn dây là R_D , khâu lọc RC bao gồm điện trở R_F và tụ điện có điện dung C_F .



Hình 3.4: Sơ đồ tổng quát mạch điện phía lưới



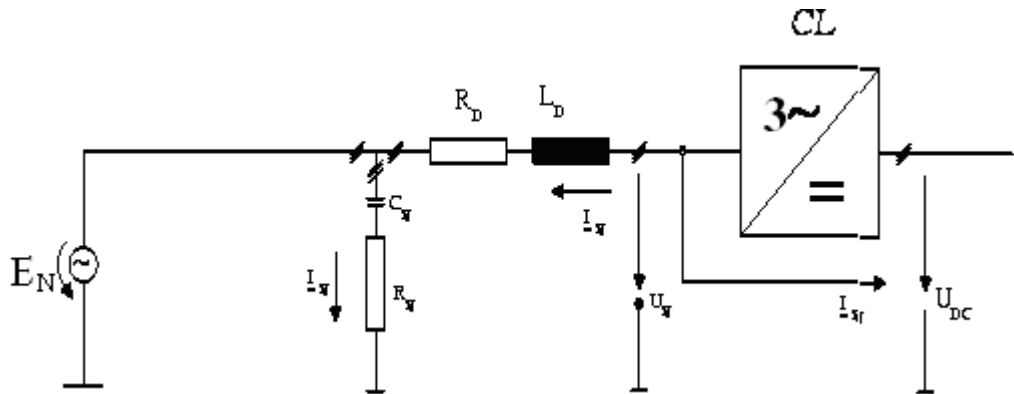
Hình 3.5: Sơ đồ thay thế trong đó điện áp lưới được thay bởi nguồn e_N cùng với điện cảm của lưới L_N

Phương trình định luật Kirchoff viết cho mạch ở đầu ra của khâu chỉnh lưu phía lưới nhận được từ hình 3.7.

$$\underline{u}_N = R_D \dot{i}_N + L_D \frac{di_N}{dt} + \underline{e}_N \quad (3.15)$$

Chuyển phương trình (3.15) sang hệ tọa độ tựa hướng vec tơ điện áp lưới ta được

$$\underline{u}_N = R_D \underline{i}_N + L_D \frac{d\underline{i}_N}{dt} + j\omega_N L_D \underline{i}_N + \underline{e}_N \quad (3.16)$$



Hình 3.6: Sơ đồ tối giản mạch điện phía lưới

Viết (3.16) dưới dạng thành phần trên hai trục tọa độ dq tựa hướng vec tơ điện áp lưới ta có hệ phương trình trạng thái mô tả hệ thống phía lưới.

$$\begin{cases} \frac{di_{Nd}}{dt} = -\frac{1}{T_D} i_{Nd} + \omega_N i_{Nq} + \frac{1}{L_D} (u_{Nd} - e_{Nd}) \\ \frac{di_{Nq}}{dt} = -\omega_N i_{Nd} - \frac{1}{T_D} i_{Nq} + \frac{1}{L_D} (u_{Nq} - e_{Nd}) \end{cases} \quad (3.17)$$

Hệ phương trình (3.17) có thể viết dưới dạng mô hình trạng thái như sau:

$$\frac{d\underline{x}}{dt} = \underline{A}\underline{x} + \underline{B}\underline{u} \quad (3.18)$$

Trong đó:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_D} & \omega_N \\ \omega_N & -\frac{1}{T_D} \end{bmatrix} \text{ là ma trận hệ thống } \underline{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_D} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_D} \end{bmatrix} \text{ là ma trận đầu vào.}$$

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} i_{Nd} \\ i_{Nq} \end{bmatrix} \text{ là vector trạng thái; } \underline{u} = \begin{bmatrix} u_{Nd} - e_{Nd} \\ u_{Nq} - e_{Nq} \end{bmatrix} \text{ là vector đầu vào.} \quad (3.19)$$

Qua mô hình trạng thái hệ thống phía lưới, ta thấy, đại lượng điều khiển là điện áp ra của khâu chỉnh lưu và vector trạng thái là hai thành phần dòng điện i_{Nd}, i_{Nq} . Vì vậy khâu điều khiển chỉnh vòng trong sẽ là khâu điều chỉnh dòng.

Trong mô hình này, \underline{e}_N là đại lượng nhiễu đầu vào gây ra bởi điện áp lưới. Tuy nhiên ta có thể nhận thấy rằng, đại lượng nhiễu này là nhiễu cố định. Vì vậy nó có thể được triệt tiêu ảnh hưởng nhờ khâu bù nhiễu tích hợp trong khâu điều chỉnh dòng.

b. Mô hình trạng thái gián đoạn phía lưới điện.

Từ mô hình trạng thái liên tục thu được ở mục trên ta có nhận xét.

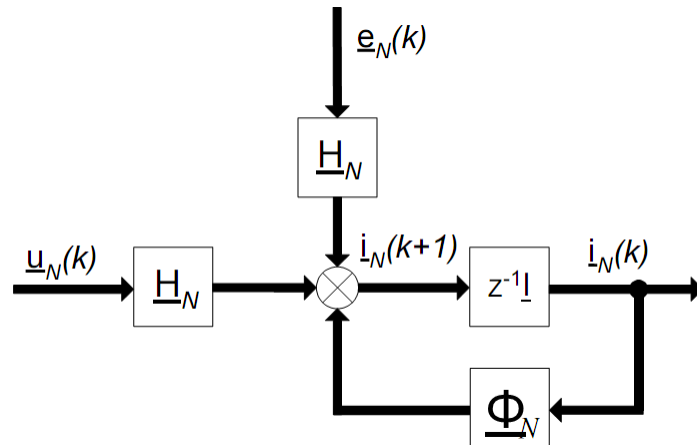
\underline{B} là ma trận hằng, tần số góc của lưới ω_N hầu như là cố định nên ma trận \underline{A} sẽ thỏa mãn giả thiết là hằng trong một chu kỳ trích mẫu T. Khi đó ta có thể tìm được nghiệm của (3.23)

$$\underline{i}_N((k+1)T) = e^{\underline{A}T} \underline{i}_N(kT) + \int_{kT}^{(k+1)T} e^{\underline{A}(T-\tau)} \underline{B} \underline{u}(kT) d\tau \quad (3.20a)$$

Ta có:

$$\underline{i}_N((k+1)T) = e^{\underline{A}T} \underline{i}_N(kT) + \int_{kT}^{(k+1)T} e^{\underline{A}(T-\tau)} d\tau \underline{B} \underline{u}(kT) \quad (3.20b)$$

$$\text{Đặt: } \underline{\phi}_N(k) = e^{\underline{A}T}; \underline{H}_N(k) = \underline{B} \int_{kT}^{(k+1)T} e^{\underline{A}(T-\tau)} d\tau = \underline{B} \int_{kT}^{(k+1)T} e^{\underline{A}\tau} d\tau \quad (3.21a,b)$$



Hình 3.7 a: Mô hình gián đoạn phía lưới

Sau khi khai triển (3.21a,b) thành chuỗi và cắt đuôi sau phần tử tuyến tính ta thu được mô hình dòng gián đoạn phía lưới như sau:

$$\underline{i}_N(k+1) = \underline{\phi}_N \underline{i}_N(k) + \underline{H}_N \underline{u}_N(k) - \underline{H}_N \underline{e}_N(k) \quad (3.22)$$

Với:

$$\underline{\phi}_N = \begin{bmatrix} 1 - \frac{T}{T_D} & -\omega_N T \\ -\omega_N T & 1 - \frac{T}{T_D} \end{bmatrix} \quad (3.23) \quad \underline{H}_N = \begin{bmatrix} \frac{T}{L_D} & 0 \\ 0 & \frac{T}{L_D} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Theo [22,23] khi chu kỳ trích mẫu của khâu điều chỉnh đủ nhỏ (dưới $400 \mu s$) việc cắt đuôi sau phần tử tuyến tính đối với $\underline{\phi}_N$ và \underline{H}_N là đủ chính xác. Khâu điều chỉnh dòng phía lưới sẽ được thiết kế dựa trên mô hình trạng thái gián đoạn (3.24). Mô hình (3.24) cũng được thể hiện một cách trực quan trên hình 3.7

3.2.2. Phương pháp điều khiển máy điện dị bộ nguồn kép làm máy phát đồng trục.

3.2.2.1. Vấn đề điều khiển.

Với máy dị bộ nguồn kép, độ lớn của mômen điện m_G do máy phát sinh ra đặc trưng cho độ lớn của công suất tác dụng P (phát ra ở chế độ máy phát và lấy từ lưới vào ở chế độ động cơ). Việc điều chỉnh công suất tác dụng phải tiến hành độc lập với công suất phản kháng Q đã đặt trước cho thiết bị. Để giải quyết, ta phải tìm các đại lượng có thể điều chỉnh trực tiếp ảnh hưởng tới m_G và công suất phản kháng Q để tìm để tìm cách áp đặt giá trị mong muốn. Các công thức (3.9) và (3.10) cho phép ta tính mômen điện của máy dị bộ nguồn kép. Vì máy chịu sự tác động điều chỉnh từ phía rotor lên một công thức tính có chứa dòng rotor sẽ là hữu ích. Từ (3.9) và (3.10) ta rút ra công thức sau cho mômen.

$$m_G = -\frac{3}{2} z_p \frac{L_m}{L_s} \psi_{sq} i_{rd} = -\frac{3}{2} z_p \left(-\sigma \overline{\psi}'_{sq} \right) i_{rd} \quad (3.25)$$

Trong phương trình (3.25), ψ'_{sq} là một đại lượng chỉ phụ thuộc vào điện áp lưới như đã được chỉ ra trong phương trình (3.14). Chính vì vậy, i_{rd} giữ vai

trò là đại lượng quyết định tạo ra mômen và từ phía rotor ta có thể dùng i_{rd} để điều chỉnh mômen máy dị bộ nguồn kép một cách rất thuận lợi.

Theo [16,17,18] ta có công suất biểu kiến của máy phát.

$$S = P + jQ = 3 \underline{u}_s \underline{i}_s = 3(u_{sd}i_{sd} + u_{sq}i_{sq}) + j3(u_{sq}i_{sd} - u_{sd}i_{sq}) \quad (3.26)$$

Trên hệ tọa độ tựa theo điện áp lưới, $u_{sq} = 0$, do đó (3.26) trở thành:

$$S = P + jQ = 3u_{sd}i_{sd}; \quad (3.27) \quad Q = -3u_{sd}i_{sq} \quad (3.28)$$

Ta đã biết rằng $\underline{\psi}_s$ gần như không đổi và chỉ phụ thuộc điện áp lưới.

Trên tinh thần nhận xét đó, ta viết lại hệ phương trình (3.9) như sau, trong đó các phương trình trong hệ được viết dưới dạng thành phần trên hệ tọa độ tựa hướng vec tơ điện áp lưới:

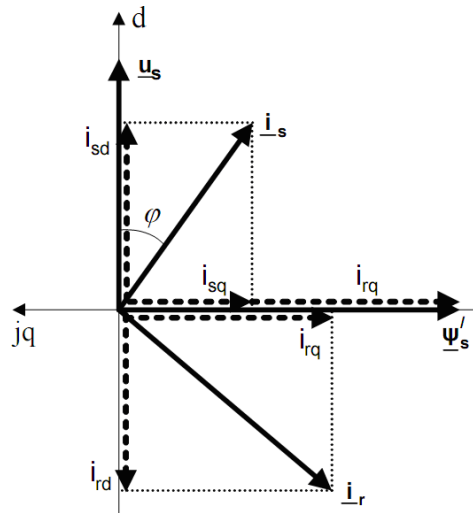
$$\begin{cases} \psi'_{sd} = \frac{L_s}{L_m} i_{sd} + i_{rd} \approx 0 \\ \psi'_{sq} = \frac{L_s}{L_m} i_{sq} + i_{rq} \approx |\underline{\psi}'_s| \end{cases} \quad (3.29a,b).$$

$$\text{Từ (3.29) ta rút ra : } \begin{cases} i_{sd} = -\frac{L_m}{L_s} i_{rd} \\ i_{sq} = \frac{L_m}{L_s} (\psi'_{sq} - i_{rq}) \end{cases} \quad (3.30a,b)$$

Thay (3.30) vào (3.25) và (3.26) ta có:

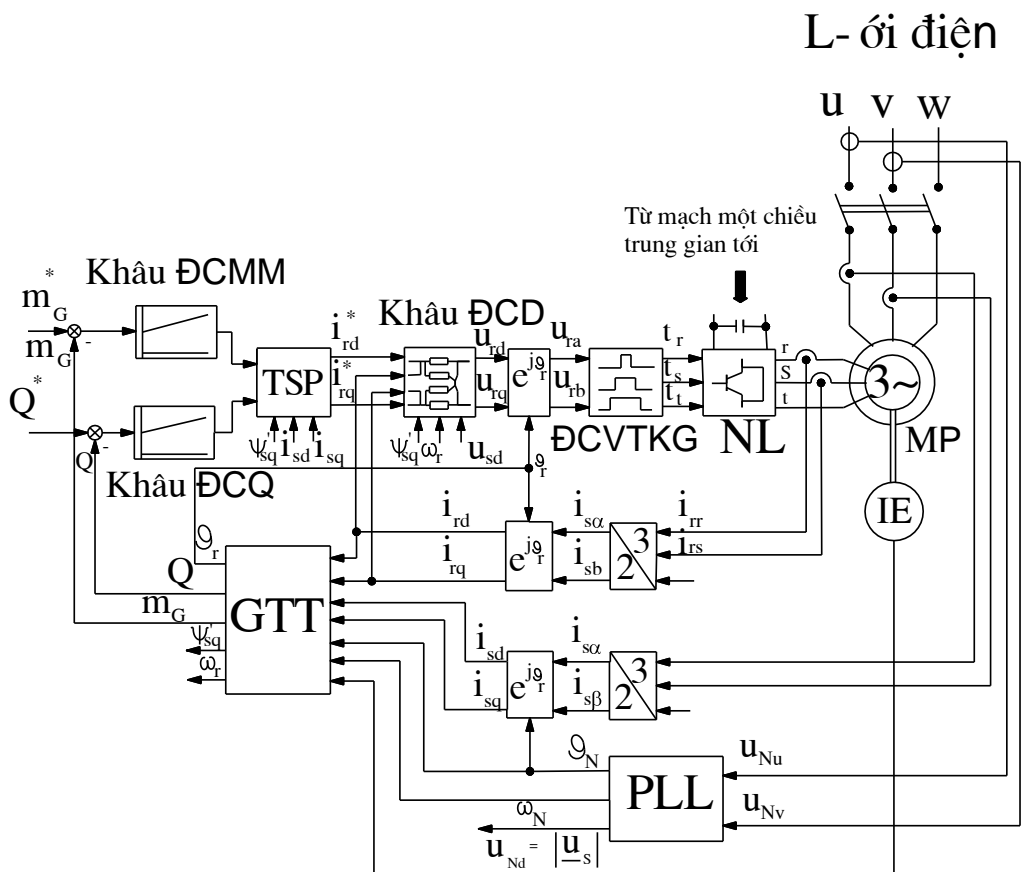
$$P = -3 \frac{L_m}{L_s} u_{sd} i_{rd} \quad (3.31); \quad Q = -3 \frac{L_m}{L_s} u_{sd} (\psi'_{sq} - i_{rq}) \quad (3.32)$$

Từ (3.29) ta rút ra nhận xét: dòng i_{rq} chính là đại lượng tạo công suất phản kháng Q. Như vậy, nếu thành công trong việc áp đặt nhanh và chính xác dòng i_{rq} , đầu ra của khâu điều chỉnh công suất phản kháng Q có thể được sử dụng để cung cấp giá trị chủ đạo cho dòng i_{rq} .



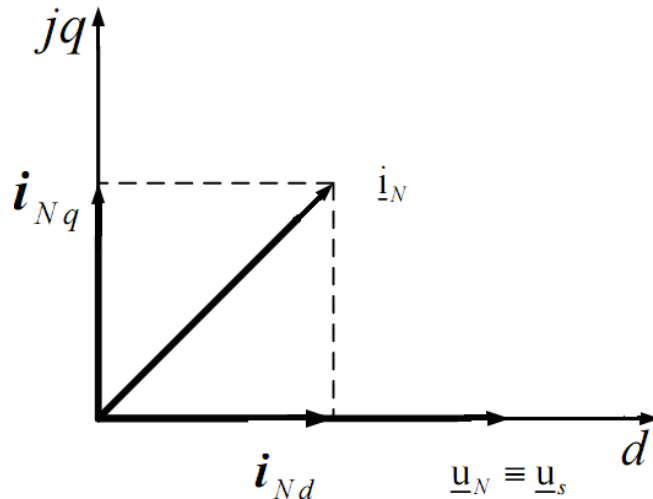
Hình 3.7b: Đồ thị vector dòng, áp, từ thông của máy dị bộ nguồn kép.

Từ các phân tích ở trên, ta có thể xây dựng sơ đồ cấu trúc điều khiển phía máy phát như hình 3.8



Hình 3.8: Cấu trúc hệ thống điều của máy phát đồng trục sử dụng máy điện dị bộ nguồn kép

Như chúng ta đã biết, nhiệm vụ của hệ thống điều khiển phía lưới là lấy năng lượng từ lưới để cung cấp cho mạch một chiều ở chế độ dưới đồng bộ hoặc hoàn năng lượng từ mạch một chiều lên lưới ở chế độ trên đồng bộ. Trong cả hai quá trình đó, điện áp một chiều trung gian u_{DC} phải được giữ ổn định không đổi.



Hình 3.9: Biểu diễn vectơ không gian dòng điện phía lưới trên hệ tọa độ dq

$$\text{Quan sát dòng } \underline{i}_N = i_{Nd} + ji_{Nq} \quad (3.33)$$

Công suất biểu kiến của bộ biến đổi phía lưới.

$$S_N = P_N + jQ_N = 3\underline{u}_N \underline{i}_N = 3(u_{Nd}i_{Nd} + u_{Nq}i_{Nq}) + j3(u_{Nq}i_{Nd} - u_{Nd}i_{Nq}) \quad (3.34)$$

Trên hệ tọa độ tựa theo điện áp lưới, $u_{Nq} = 0$, do đó (3.28) trở thành.

$$S_N = P_N + jQ_N = 3u_{Nd}i_{Nd} - j3u_{Nd}i_{Nq} \quad (3.35)$$

$$\text{Từ (3.27) ta có: } P_N = 3u_{Nd}i_{Nd} \quad (3.36a) \quad Q_N = -3u_{Nd}i_{Nq} \quad (3.36b)$$

Ta xét trường hợp tụ trung gian không nối với tải, bỏ qua tổn hao trong bộ biến đổi, ta có:

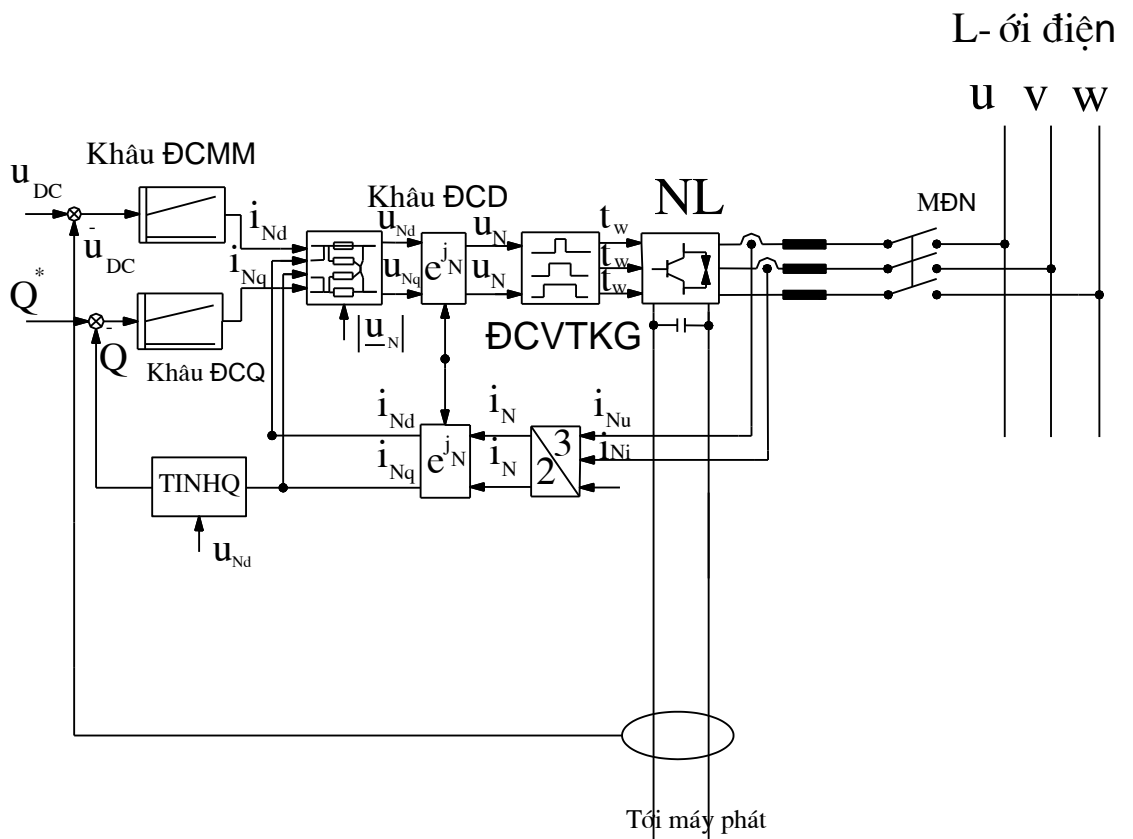
$$P_N = 3u_{Nd}i_{Nd} = U_{DC}i_{DC} \quad (3.37)$$

$$\text{Trong đó: } i_{DC} = C \frac{dU_{DC}}{dt} \quad (3.38)$$

Từ (3.37) và (3.38) ta thấy, i_{Nd} có tác dụng sản sinh công suất tác dụng và bằng việc điều chỉnh thành phần i_{Nd} ta sẽ thay đổi được giá trị điện áp một chiều trung gian U_{DC}

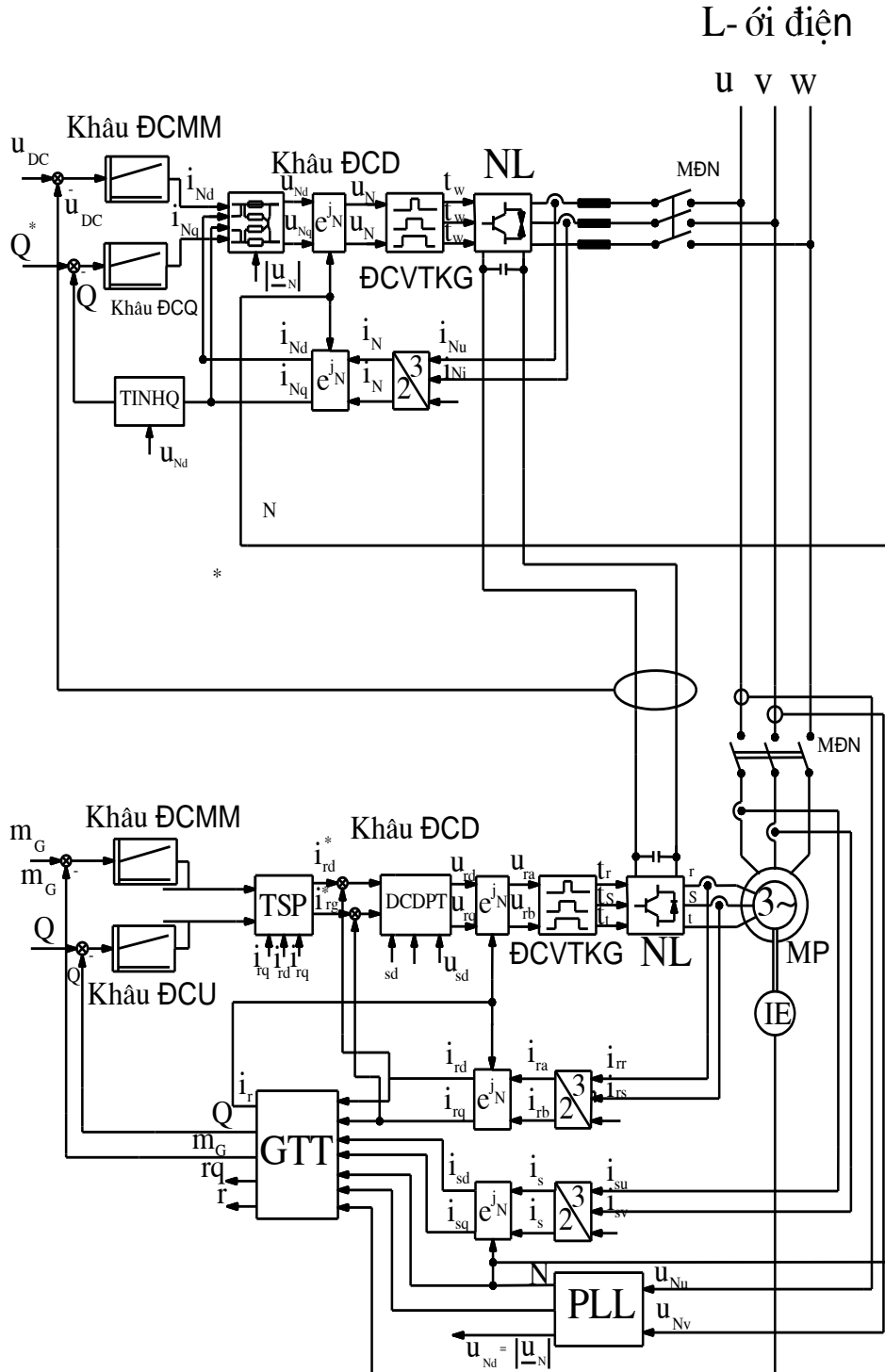
Từ (3.36) ta cũng rút ra nhận xét, thành phần i_{Nq} có tác dụng sản sinh công suất phản kháng.

Từ các phân tích ở trên, ta có thể xây dựng cấu trúc điều khiển phía lưới điện như hình 3.10



Hình 3.10: Cấu trúc hệ thống điều khiển phía lưới của máy phát đồng trục sử dụng máy điện dị bộ nguồn kép

Theo sự phân tích ở trên, ta có thể xây dựng được toàn bộ cấu trúc điều khiển của máy phát đồng trục sử dụng máy dị bộ nguồn kép như hình 3.11



Hình 3.11: Sơ đồ cấu trúc điều khiển phía máy phát và phía lưới hệ thống máy phát đồng trục sử dụng máy dị bộ nguồn kép

3.3.2.2. Áp dụng phương pháp tách kênh trực tiếp trong thiết kế điều khiển phía máy phát đồng trục sử dụng máy dị bộ nguồn kép.

Do tính phi tuyến của hệ phi tuyến nên việc xây dựng bộ điều khiển cho hệ phi tuyến rất khó khăn và liên quan đến nhiều vấn đề khác nhau khó có thể giải quyết được. Chính vì vậy với phương pháp tuyến tính hoá nhằm đưa hệ phi tuyến thành hệ tuyến tính (thỏa mãn nguyên lý xếp chồng). Dựa vào phương pháp khảo sát, phân tích và tổng hợp đối với hệ tuyến tính ta có thể xây dựng được các bộ điều chỉnh tuyến tính phù hợp với yêu cầu chất lượng hệ thống. Với ý tưởng chính là thực hiện việc chuyển toạ độ cho mô hình trạng thái của đối tượng phi tuyến thông qua khả năng thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái hoặc phản hồi tín hiệu ra của đối tượng phi tuyến sao cho hệ kín trở thành tuyến tính trong toàn bộ không gian trạng thái mới. Ta phải biến đổi sao cho hệ thống có cấu trúc tách kênh, mỗi đầu ra chỉ phụ thuộc duy nhất vào một đầu vào chính vì thế phương pháp tuyến tính hóa chính xác áp dụng cho máy điện còn được gọi là “*tách kênh trực tiếp*”.

Từ mô hình dòng của máy dị bộ nguồn kép kết hợp với hai phương trình từ thông stator trên hệ trục dq ta có hệ phương trình như sau:

$$\begin{aligned} \frac{di_{rd}}{dt} &= -\left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s}\right)i_{rd} + \omega_r i_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\frac{1}{T_s} \psi'_{sd} - \omega \psi'_{sq}\right) + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rd} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sd} \\ \frac{di_{rq}}{dt} &= -\omega_r i_{rd} - \left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s}\right)i_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\frac{1}{T_s} \psi'_{sd} - \omega \psi'_{sq}\right) + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rq} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sq} \\ \frac{d\psi'_{sd}}{dt} &= \frac{i_{rd}}{T_s} - \frac{\psi'_{sd}}{T_s} + \omega_s \psi'_{sd} + \frac{u_{sd}}{L_m} \\ \frac{d\psi'_{sq}}{dt} &= \frac{i_{rq}}{T_s} - \omega_s \psi'_{sd} - \frac{\psi'_{sq}}{T_s} + \frac{u_{sq}}{L_m} \end{aligned} \quad (3.39)$$

Ta có thể viết lại:

$$\begin{aligned}\frac{di_{rd}}{dt} &= -ai_{rd} + \omega_r i_{rd} + e\psi'_{sd} - b\omega\psi'_{sd} + cu_{rd} - du_{sd} \\ \frac{di_q}{dt} &= -\omega_r i_{rd} - ai_{rd} + b\omega\psi'_{sd} + e\psi'_{sd} + cu_{rq} - du_{sq} \\ \frac{s\nu_r}{dt} &= \omega_r\end{aligned}\tag{3.40}$$

Trong đó

$$\begin{aligned}a &= \frac{1}{\delta T_r} + \frac{1-\delta}{\delta T_s} \\ b &= \frac{1-\delta}{\delta}; \quad c = \frac{1}{\delta T_r}; \quad d = \frac{1-\delta}{\delta L_s}; \quad a = \frac{1-\delta}{\delta T_s}\end{aligned}$$

Ta đặt $x = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [i_{rd} \ i_{rq} \ \vartheta_r]^T$

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e\psi'_{sd} - b\omega\psi'_{sd} + cu_{rd} \\ b\omega\psi'_{sd} + e\psi'_{sd} + cu_{rq} \\ \omega_r \end{bmatrix}\tag{3.41a}$$

$$y = [y_1 \ y_2 \ y_3]^T = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T\tag{3.42b}$$

Hệ phương trình trên viết dưới dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -ax_1 \\ -ax_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_2 + \begin{bmatrix} x_2 \\ -x_1 \\ 1 \end{bmatrix} u_3\tag{3.43}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Ta viết lại thành dạng tổng quát như sau:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x) + H(x)u \\ y &= g(x)\end{aligned}\tag{3.44}$$

Bây giờ ta sẽ tiến hành khảo sát và kiểm tra các điều kiện để áp dụng phương pháp tách kênh trực tiếp cho mô hình dòng của máy dị bộ nguồn kép

trên đây. Trước tiên ta có các biểu thức tính toán để kiểm tra bước thứ nhất như sau bằng cách thực hiện các đạo hàm Lie:

$$\begin{aligned}
 L_{h_1}g_1(x) &= \frac{\partial g_1}{\partial x} h_1(x) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T = 1 \neq 0 \\
 L_{h_2}g_1(x) &= \frac{\partial g_1(x)}{\partial x} h_2(x) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T = 0 \\
 L_{h_3}g_1(x) &= \frac{\partial g_1(x)}{\partial x} h_3(x) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_1 \\ 1 \end{bmatrix}^T = -x_2 \neq 0
 \end{aligned} \tag{3.45}$$

Suy ra: $r_1 = 1$ (3.46)

Tương tự ta có:

$$\begin{aligned}
 L_{h_1}g_2(x) &= \frac{\partial g_2}{\partial x} h_1(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T = 1 \\
 L_{h_2}g_2(x) &= \frac{\partial g_2(x)}{\partial x} h_2(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T = 1 \neq 0 \\
 L_{h_3}g_2(x) &= \frac{\partial g_2(x)}{\partial x} h_3(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_1 \\ 1 \end{bmatrix}^T = -x_1 \neq 0
 \end{aligned} \tag{3.47}$$

Suy ra: $r_2 = 1$ (3.48)

Tương tự ta có:

$$\begin{aligned}
 L_{h_1}g_3(x) &= \frac{\partial g_3}{\partial x} h_1(x) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T = 0 \\
 L_{h_2}g_3(x) &= \frac{\partial g_3}{\partial x} h_2(x) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T = 1 \neq 0 \\
 L_{h_3}g_3(x) &= \frac{\partial g_3}{\partial x} h_3(x) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_1 \\ 1 \end{bmatrix}^T = 1 \neq 0
 \end{aligned} \tag{3.49}$$

Suy ra: $r_3 = 1$ (3.50)

Vậy ta có:

$$\begin{aligned}
 L(x) &= \begin{bmatrix} L_{h_1}L_f^{r_1-1}g_1(x) & \dots & L_{h_m}L_f^{r_1-1}g_1(x) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{h_1}L_f^{r_m-1}g_m(x) & \dots & L_{h_m}L_f^{r_m-1}g_m(x) \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} L_{h_1}h_1(x) & L_{h_2}g_1(x) & L_{h_3}g_1(x) \\ L_{h_1}h_2(x) & L_{h_2}g_2(x) & L_{h_3}g_2(x) \\ L_{h_1}h_3(x) & L_{h_2}g_3(x) & L_{h_3}g_3(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_2 \\ 0 & 1 & -x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{3.51}$$

Suy ra: $\det(L(x)) = 1 \neq 0, \forall x$ (3.52)

Đồng thời ta lại có biểu thức:

$$r_1 + r_2 + r_3 = 3 = n \quad (3.53)$$

Như vậy mô hình toán của máy dị bộ nguồn kép mà ta đã chọn đã thỏa mãn các điều kiện tách kênh trực tiếp. Do đó công việc tiếp theo là ta đi tìm bộ điều khiển phản hồi trạng thái. Trong hệ trục tọa độ mới ta có biểu thức của biến trạng thái mới:

$$z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1^1(x) \\ m_1^2(x) \\ m_1^3(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(x) \\ g_2(x) \\ g_3(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

Suy ra:

$$\dot{x}_1 = \frac{dz_1}{dt} = -ax_1 + u_1 \quad x_2 u_3 = w_1 \quad (3.55)$$

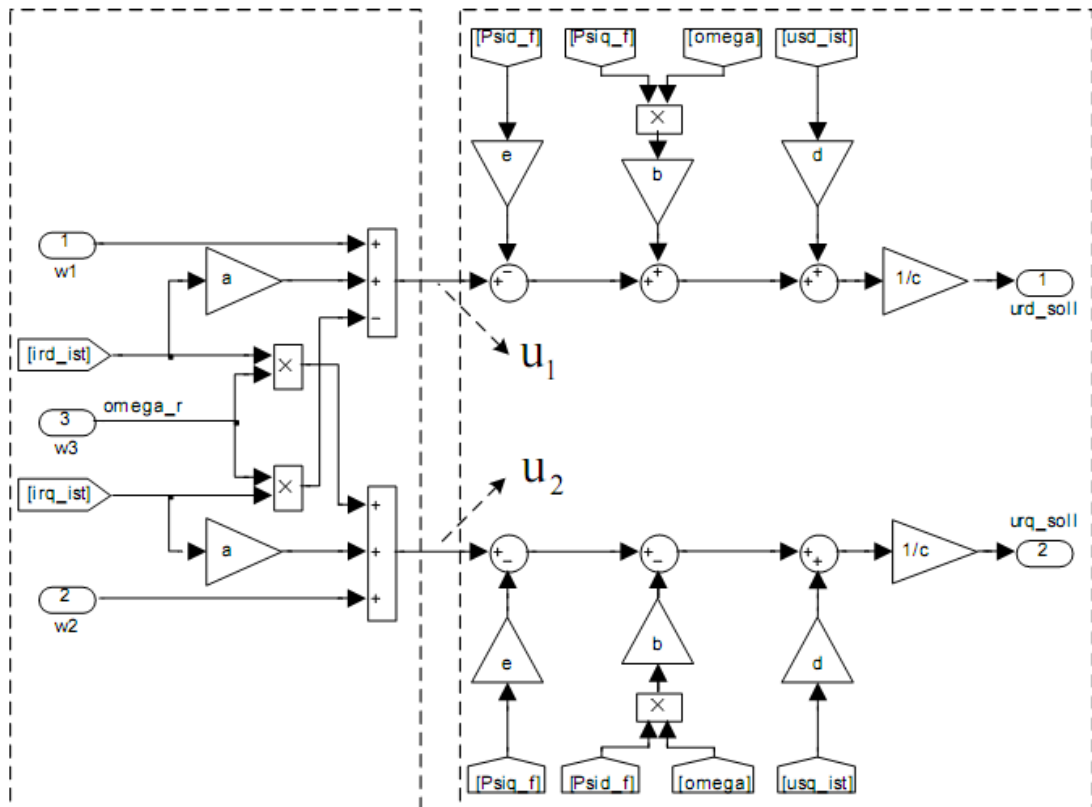
$$\dot{x}_2 = \frac{dz_2}{dt} = -ax_2 + u_2 \quad x_1 u_3 = w_3 \quad (3.56a)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{dz_3}{dt} = \quad \quad \quad u_3 = w_3 \quad (3.56b)$$

Vậy ta có mối liên hệ giữa tín hiệu vào mới và tín hiệu vào cũ trong bộ điều khiển phản hồi trạng thái như sau:

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -ax_1 \\ -ax_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_2 \\ 0 & 1 & -x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

Từ các mô hình trên ta có hình vẽ sau



Hình 3.12: Cấu trúc bộ điều khiển phản hồi trạng thái

Ta viết lại:

$$w = p(x) + L(x)u \quad (3.58)$$

$$\text{Suy ra: } u = -L^{-1}(x)p(x) + L^{-1}(x)w \quad (3.59)$$

$$L(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_2 \\ 0 & 1 & -x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow L^{-1}(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_2 \\ 0 & 1 & x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

$$u = \begin{bmatrix} ax_1 \\ ax_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_2 \\ 0 & 1 & x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} w \Rightarrow \begin{cases} u_1 = ax_1 + w_1 - x_2 w_3 \\ u_2 = ax_2 + w_2 + x_1 w_3 \\ u_3 = w_3 \end{cases} \quad (3.61)$$

$$\dot{z} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} z + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} w \Leftrightarrow \dot{y} = w \quad (3.62)$$

$$y=z$$

$$Y(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{s} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{s} \end{bmatrix} W(s) \quad (3.63)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -ax_1 \\ -ax_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_2 \\ 0 & 1 & -x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (3.64)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -ax_1 + u_3x_2 + u_1 \\ -u_3x_1 + ax_2 + u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (3.65)$$

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -ax_1 + u_3x_2 + u_1 \\ -u_3x_1 - ax_2 + u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (3.66)$$

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_2 \\ 0 & 1 & x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ax_1 \\ ax_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.67)$$

Ta có phương trình liên hệ giữa tín hiệu ra và tín hiệu vào mới như sau:

$$\dot{y} = w \quad (3.68)$$

Nhận xét

- Tách kênh vào/ra

Quan sát (3.56) chúng ta thấy hệ thống đã có cấu trúc tách kênh, mỗi đầu ra chỉ phụ thuộc duy nhất vào một đầu vào. Với đặc điểm này thì chúng ta có thể thiết kế các bộ điều khiển tách biệt cho các trục d và q.

- Thực hiện đơn giản

Từ (3.60) chúng ta thấy luật điều khiển phản hồi trạng thái chỉ yêu cầu biến đổi đại số. Không tồn tại phép tích phân hoặc vi phân.

- Mô hình hàm truyền đơn giản

Hệ thống chỉ là những khâu tích phân. Vì vậy, chỉ cần bộ điều khiển kiểu tỷ lệ P cũng có thể được sử dụng trong vòng điều khiển dòng của i_{rd} và i_{rq} .

- Vấn đề trễ phản hồi trạng thái

Từ phương trình (3.56) ta thấy hàm truyền của hệ thống chỉ là khâu tích phân, vì vậy có thể rời rạc hoá mô hình này một cách dễ dàng. Sử dụng phương pháp Forward Euler, $G(s) = 1/s$ được xấp xỉ như sau:

$$G(s) = \frac{T}{z-1}$$

Trong đó T là thời gian trích mẫu của hệ thống điều khiển số. Thực tế, các thành phần dòng điện rotor là các biến đầu ra của mô hình mới, chúng ta có:

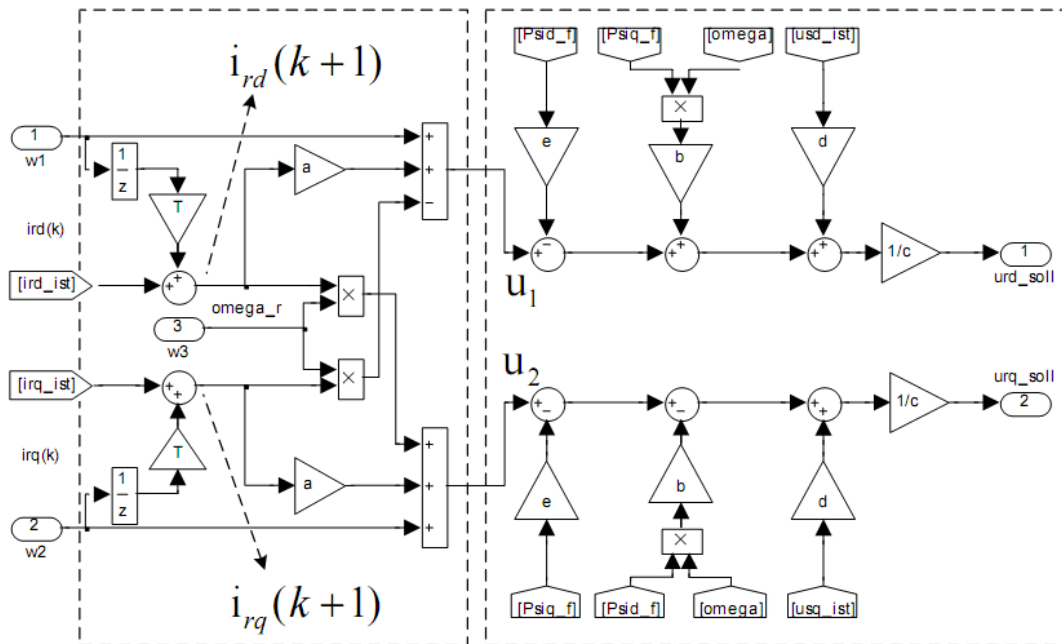
$$i_r = \frac{T}{z-1} w$$

Có thể viết lại dưới dạng gián đoạn như sau:

$$\begin{aligned} i_{rd}(k+1) &= i_{rd}(k) + Tw_1(k) \\ i_{rq}(k+1) &= i_{rq}(k) + Tw_2(k) \end{aligned} \tag{3.69}$$

Ở chu kỳ thứ k, các thành phần $i_r(k)$ tương ứng với các giá trị đo thật của dòng rotor lại là giá trị từ chu kỳ trước. Do đó, bằng việc sử dụng (3.93) thì giá trị dòng điện rotor đã được dự báo trong vòng lặp phản hồi trạng thái có thể khắc phục được sự trễ phản hồi trạng thái. Sơ đồ chuyển trục tọa độ theo phương trình (3.34) cho mô hình dòng trong Matlab/Simulink được

chỉ ra trên hình 3.13. Nhiệm vụ tiếp theo là ta tiến hành thiết kế các bộ điều chỉnh dòng rotor trên cơ sở mô hình mới của máy phát.



Hình 3.13 Sơ đồ chuyển trục tọa độ cho mô hình dòng trong Matlab/Simulink
- **Hàm mục tiêu của hệ có điều chỉnh dòng**

Thông qua hàm mục tiêu, ta đặt ra tính năng cần đạt được của đối tượng sau khi có tác động điều chỉnh. Trong trường hợp điều chỉnh dòng rotor của máy dị bộ nguồn kép, hàm mục tiêu phải bao gồm các tính chất được diễn đạt bằng lời như sau:

- Tính động cần đạt được. Tính động đó được thể hiện qua tốc độ đáp ứng sau khi có tác động điều chỉnh.

- Khả năng cách ly tác động qua lại giữa hai thành phần dòng kích từ và dòng tạo mômen quay. Trên hệ tọa độ dq, hai đại lượng i_{rd} và i_{rq} có tác động qua lại lẫn nhau tăng tỷ lệ với tần số mạch stator ω_r . Khả năng cách ly đó phải được đảm bảo ở quá trình quá độ lẫn chế độ xác lập của hệ, đặc biệt khi điện áp DC đi vào giới hạn.

Đặc tính động học lý tưởng thể hiện qua khả năng đáp ứng tức thời của hệ, nghĩa là: giá trị thực cần phải theo kịp giá trị đặt (giá trị chủ đạo) chỉ sau một chu kỳ trích mẫu. Nếu xét kỹ, ta cần phải cộng thêm một chu kỳ trích

mẫu trễ do bản thân hardware (vi điều khiển + thiết bị biến đổi) gây ra. Vậy đòi hỏi có thể diễn đạt lại: giá trị thực cần phải theo kịp giá trị đặt sau hai chu kỳ trích mẫu. Khi xây dựng hệ thống với chu kỳ trích mẫu rất bé, ví dụ: $T = 100\mu\text{s}$, thời gian xác lập cần đạt $2 \times 100\mu\text{s}$ có thể là quá nhỏ, để có thể tạo đủ năng lượng đẩy dòng đạt được bước nhảy lớn. Khi ấy, nếu thời gian xác lập được chọn là $3 \times 100\mu\text{s}$ hoặc $4 \times 100\mu\text{s}$ (diễn đạt thành lời: sau ba hoặc bốn nhịp tính) sẽ có lợi hơn cho ổn định của hệ. Đặc tính động học truyền động sẽ không vì thế mà kém đi, bởi vì khoảng thời gian xác lập 300 - 400 μs (dưới 1ms) vẫn là giá trị thời gian rất tốt. Ta gọi hệ có đặc điểm động học đó là hệ có tốc độ đáp ứng hữu hạn FRT. Vậy một khâu điều chỉnh tạo cho hệ đặc điểm động học: dẫn dắt giá trị thực đạt tới giá trị đặt sau đúng n chu kỳ tính toán và không hệ gây nên quá điều chỉnh gọi là khâu điều chỉnh thiết kế theo phương thức FRT.

-Thiết kế bộ điều khiển FRT cho khâu điều chỉnh dòng rotor

Theo [22,23] ta có hàm truyền đạt trên miền ảnh z của bộ điều chỉnh FRT có dạng sau đây:

$$\begin{aligned}
 2T &\rightarrow \underline{i}(z) = z^{-2} \underline{i}^*(z) \\
 \text{FRT của:} \quad 3T &\rightarrow \underline{i}(z) = \frac{1}{2} \left(z^{-2} + z^{-3} \right) \underline{i}^*(z) \quad (3.70) \\
 4T &\rightarrow \underline{i}(z) = \frac{1}{3} \left(z^{-2} + z^{-3} + z^{-4} \right) \underline{i}^*(z)
 \end{aligned}$$

Vòng điều chỉnh dòng rotor với bộ điều khiển FRT có phương trình:

$$\underline{i}^*(z) - \underline{i}_r(z) \underline{R}(z) z^{-1} G(z) = \underline{i}_r(z) \quad (3.71)$$

Trong đó:

$R(z)$ là bộ điều khiển FRT, việc thêm z^{-1} sau bộ điều khiển là do trễ bản thân của hardware, $G(z)$ là hàm truyền dạng tích phân của mô hình dòng. Kết hợp với sử dụng hàm truyền giữa giá trị đặt $\underline{i}_r^*(z)$ và giá trị thực $\underline{i}_r(z)$ ở trên chúng ta có bộ điều chỉnh dòng rotor FRT cho cả trục d và trục q như sau:

$$2T \rightarrow R_{2T}(z) = \frac{1-z^{-1}}{T} \frac{1}{1-z^{-2}}$$

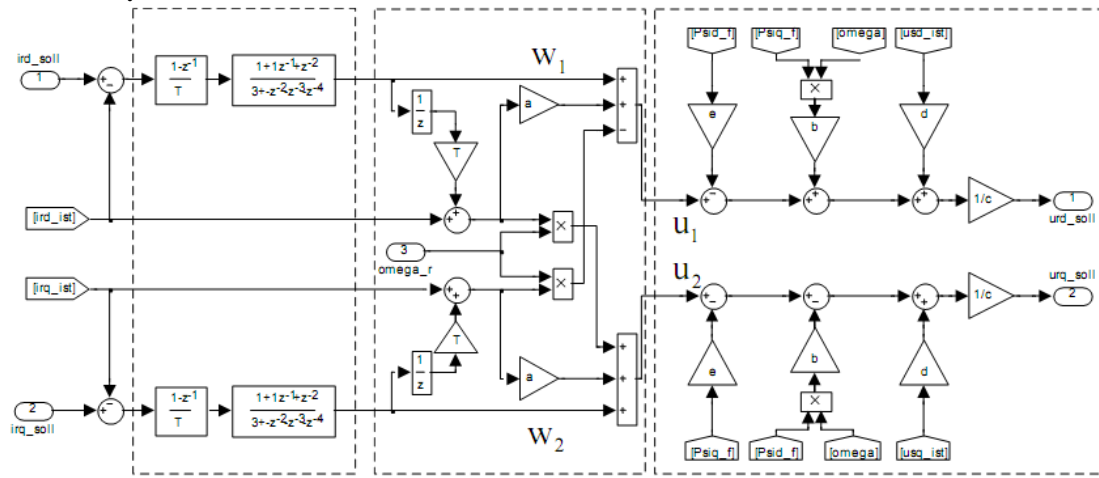
Với phản ứng:

$$3T \rightarrow R_{3T}(z) = \frac{1-z^{-1}}{T} \frac{1+z^{-1}}{2-z^{-2}-z^{-3}}$$

$$4T \rightarrow R_{4T}(z) = \frac{1-z^{-1}}{T} \frac{1+z^{-1}+z^{-2}}{3-z^{-2}-z^{-3}-z^{-4}}$$

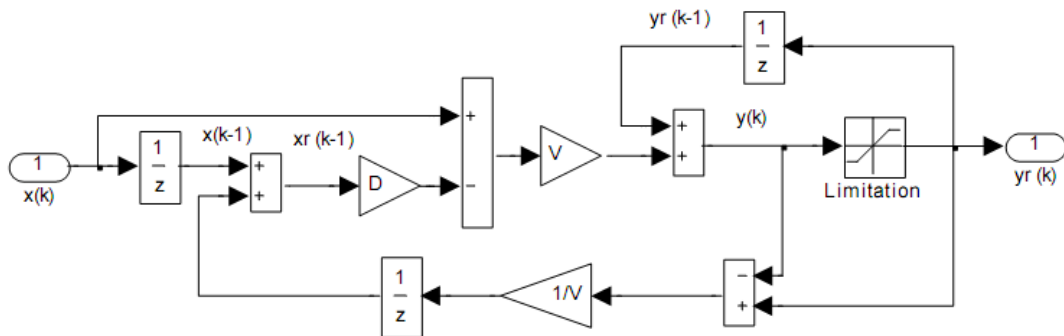
Tổng quát lại với $n \geq 2$ ta có: $R_{nT}(z) = \frac{1-z^{-1}}{T} \frac{\sum_{i=0}^{n-2} z^{-i}}{(n-1) - \sum_{j=2}^n z^{-j}}$ (3.73)

Ta có bộ điều khiển FRT 4T hình 3.18



Hình 3.14 Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển FRT 4T trong Matlab/Simulink

3.3. CÁC BỘ ĐIỀU CHỈNH CHO CÁC MẠCH VÒNG ĐIỀU CHỈNH MOOMEN VÀ CÔNG SUẤT VÔ CÔNG PHÍA MÁY PHÁT



Hình 3.15: Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển PI có anti-windup

Theo [23, 32,33], các bộ điều chỉnh với đặc tính PI dùng để điều chỉnh m_G và điều chỉnh công suất vô công đều là bộ điều khiển PI số, có kể đến hiện tượng đại lượng đầu ra đi vào vùng hoà có công thức tổng quát sau:

$$R(z) = V \frac{1 - Dz^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (3.74)$$

Gọi x_w là sai lệch điều chỉnh và y là đầu ra của bộ điều chỉnh PI. Khâu PI sẽ viết được dưới dạng phương trình sai phân sau:

$$y(k) = y(k-1) + V(x_w(k) - Dx_w(k-1)) \quad (3.75)$$

Hay:

$$y(k-1) = y(k-2) + V(x_w(k-1) - Dx_w(k-2)) \quad (3.76)$$

Ta biết rằng, đại lượng đầu ra y của bộ điều chỉnh luôn có giới hạn. Để ngăn ngừa dao động hệ thống khi ra khỏi giới hạn, ra sử dụng phương pháp hiệu chỉnh ngược trở lại đối với sai số điều chỉnh

Giả sử chu kỳ tính thứ $(k-1)$, đại lượng ra y đi bảo bão hoà, tức là thay vì $y(k-1)$, bộ điều khiển PI chỉ cung cấp được $y_r(k-1)$. Khi đó (3.76) được viết lại.

$$y_r(k-1) = y(k-2) + V(x_{wr}(k-1) - Dx_w(k-2)) \quad (3.77)$$

với x_{wr} là sai lệch đã qua hiệu chỉnh

Lấy (3.77) trừ đi (3.76), ta sẽ nhận được sai lệch điều chỉnh đã được hiệu chỉnh:

$$x_w(k-1) = x_w(k-1) + V^{-1}(y_r(k-1) - y(k-1)) \quad (3.78)$$

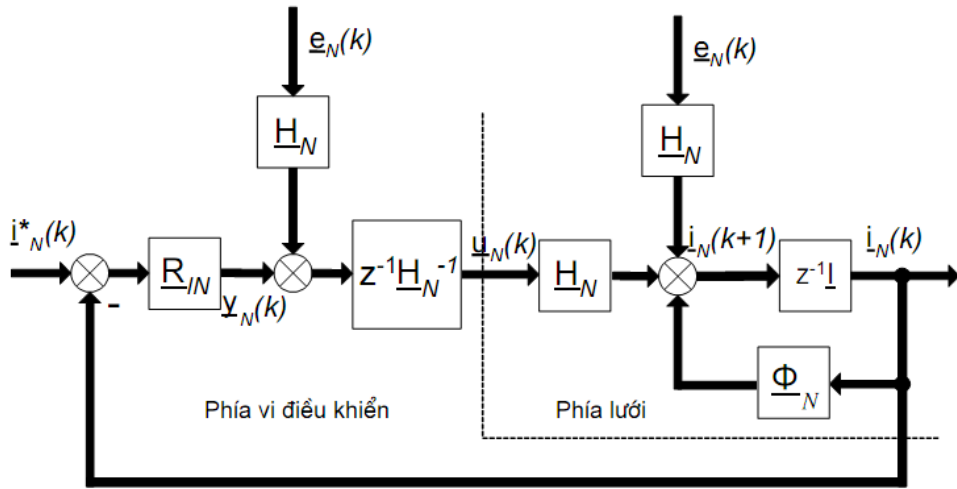
Trong đó, $x_w(k-1)$ được xác định theo (3.78)

3.4. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU CHỈNH DÒNG VÀ CÁC BỘ ĐIỀU CHỈNH VÒNG NGOÀI PHÍA DƯỚI

Trên cơ sở mô hình gián đoạn phía lưới, các biến điều khiển phía lưới đã phân tích ở mục trước, phần này sẽ tổng hợp bộ điều chỉnh dòng cho phía lưới theo phương pháp tuyến tính deadbeat thông thường phía lưới được chỉ ra ở hình 3.16 và việc tính $\underline{u}_N(k)$ được chia làm hai bước.

Bước 1: Tính $\underline{y}_N(k)$

$$\underline{y}_N(k) = \underline{x}_N(k) - \underline{\Phi}_N \underline{x}_N(k-1) + \underline{y}_N(k-2) \quad (3.79)$$



Hình 3.16 : Sơ đồ cấu trúc bộ điều chỉnh dòng phía lưới

Viết dưới dạng các thành phần trên hệ tọa độ tựa theo điện áp lưới, ta có:

$$\begin{cases} y_{Nd}(k) = x_{Nd}(k) - \left(1 - \frac{T}{T_D}\right) x_{Nd}(k-1) - \omega_N T x_{Nq}(k-1) + y_{Nd}(k-2) \\ y_{Nq}(k) = x_{Nq}(k) - \omega_N T x_{Nq}(k-1) - \left(1 - \frac{T}{T_D}\right) x_{Nq}(k-1) + y_{Nq}(k-2) \end{cases} \quad (3.80)$$

Trong đó: $\underline{x}_N = x_{Nd} + jx_{Nq}; x_{Nd} = i_{Nd}^* - i_{Nd}; x_{Nq} = i_{Nq}^* - i_{Nq}$ (3.81a,b,c,d)

$$\underline{y}_N = y_{Nd} + jy_{Nq}$$

Bước 2: Sau khi tính $\underline{y}_N(k)$ ta tiếp tục tính điện áp $\underline{u}_N(k)$ như sau:

$$\begin{cases} U_{Nd}(k+1) = \frac{L_D}{T} \left[y_{Nd}(k) + \frac{T}{L_D} e_{Nd}(k+1) \right] \\ U_{Nq}(k+1) = \frac{L_D}{T} \left[y_{Nq}(k) + \frac{T}{L_D} e_{Nq}(k+1) \right] \end{cases} \quad (3.82)$$

Biểu thức (3.77) cho phép ta tính dự báo vector điện áp \underline{u}_N trước 1 nhịp tính nên khắc phục được hạn chế trễ 1 nhịp tính do vi xử lý gây nên.

Cũng tương tự như khi thiết kế bộ điều chỉnh dòng phía máy phát, vấn đề điện áp bộ biến đổi đi vào vùng giới hạn và hiệu chỉnh ngược sai lệch điều chỉnh cũng được đề cập đến ở bộ điều chỉnh dòng phía lưới. Sau khi giới hạn

điện áp ra, và hiệu chỉnh ngược trở lại sai lệch điều chỉnh, ta được phương trình của bộ điều chỉnh dòng được xác định theo (3.74) và (3.77), trong đó các giá trị $\underline{x}_N(k-1)$,

$\underline{y}_N(k-2)$ trong (3.74) được tính theo (3.78) và (3.71).

$$\underline{x}_{Nr}(k-1) = \underline{x}_N(k-1) - \underline{H}_N[\underline{u}_N(k) - \underline{u}_{Nr}(k)] \quad (3.83)$$

Viết dưới dạng hai thành phần trên trục dq:

$$\begin{cases} \underline{x}_{Ndr}(k-1) = \underline{x}_{Nd}(k-1) - \frac{T}{L_D}[u_{Nd}(k) - u_{Ndr}(k)] \\ \underline{x}_{Nqr}(k-1) = \underline{x}_{Nq}(k-1) - \frac{T}{L_D}[u_{Nq}(k) - u_{Nqr}(k)] \end{cases} \quad (3.84)$$

Trong đó: \underline{x}_{Nr} - Sai lệch điều chỉnh đã qua hiệu chỉnh.

$$\underline{y}_{Nr}(k-2) = \underline{H}_N \underline{u}_{Nr}(k-1) - \underline{H}_{Nr}(k-1) - \underline{H}_N \underline{e}_N(k-1) \quad (3.85)$$

Viết dưới dạng hai thành phần trên hệ trục tọa độ dq:

$$\begin{cases} \underline{y}_{Ndr}(k-2) = \frac{T}{L_D} u_{Ndr}(k-1) - \frac{T}{L_D} e_{Nd}(k-1) \\ \underline{y}_{Nqr}(k-2) = \frac{T}{L_D} u_{Nqr}(k-1) - \frac{T}{L_D} e_{Nq}(k-1) \end{cases} \quad (3.86)$$

Sau khi đã xây dựng xong bộ điều chỉnh dòng đảm bảo cách ly hai thành phần dòng i_{Nd} và i_{Nq} các bộ điều chỉnh ĐCU_{DC} và ĐCQ chỉ cần dùng bộ điều khiển PI thông thường như đã chỉ ra trong hình 3.15. Việc thiết kế các bộ điều khiển này cũng hoàn toàn tương tự như thiết kế các bộ điều khiển mô men, điều khiển Q phía máy phát. Các khâu chuyển tọa độ, PLL thực hiện như hệ thống điều khiển phía máy phát.

3.5. SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG SG CHO LƯỚI ĐIỆN TÁU THỦY

3.5.1. Làm việc song song của các máy phát đồng trục sử dụng máy dị bộ nguồn kép với các máy phát được truyền động bằng diesel.

Trên mỗi con tàu, trạm phát điện được thiết kế độc lập. Với một con tàu trọng tải lớn hiện nay, tổng công suất của trạm phát không vượt quá vài MW, với công suất này người ta có thể trang bị duy nhất một máy phát là đủ. Tuy

vậy do tính đặc thù của con tàu hoạt động trên biển, đồ thị tải luôn thay đổi ở mỗi chế độ khai thác, công suất trong mỗi chế độ có sự chênh lệch nhau rất lớn. Ở chế độ này máy phát đồng trục có thể chạy đủ tải nhưng ở chế độ khác máy phát đồng trục có thể chạy non tải và có những chế độ gần như không tải. Về kinh tế máy phát đồng trục hoạt động hiệu quả nhất là lúc năng lượng tiêu thụ đạt từ 75% ÷ 85% công suất định mức. Chính những lý do này nên trạm phát tàu thủy được tính toán lựa chọn gồm nhiều máy phát nhỏ hơn tổng công suất, chúng có thể làm việc độc lập khi tải nhỏ và nếu yêu cầu, chúng hoàn toàn có khả năng cung cấp đầy đủ công suất tiêu thụ trong các chế độ khai thác khác nhau khi cho hệ thống các máy phát làm việc song song.

Làm việc song song giữa máy phát đồng trục với máy phát diesel có những ưu điểm nổi bật là có thể thêm vào hoặc cắt bớt các máy phát ra khỏi lưới trong những trường hợp cần thiết. Hoàn toàn chủ động trong việc khởi động (mở máy) những động cơ có công suất lớn thậm chí công suất động cơ có thể xấp xỉ công suất của một máy phát. Khi làm việc song song, điện áp trên lưới có thời gian phục hồi nhanh (t_{qd} nhỏ) giữ cho lưới có chất lượng cung cấp điện tốt. Đồng thời, khả năng cung cấp nguồn cho các phụ tải trong quá trình làm việc được liên tục không bị gián đoạn khi cần thay đổi máy. Một ưu điểm nữa là giảm được trọng lượng, kích thước của các phần tử, thiết bị phân phối cung cấp.

Khi làm việc song song giữa máy phát đồng trục với máy phát diesel, những nhược điểm không thể tránh là phải trang bị các thiết bị để vận hành song song, các thiết bị để đưa máy phát vào và cắt máy phát ra cũng như các thiết bị điều khiển, điều chỉnh trong quá trình hoạt động. Máy DBNK với cấu trúc của mình thì việc phân chia tải giữa máy phát đồng trục với máy phát diesel độc lập được thực hiện bằng cách ta cài đặt trực tiếp vào giá trị đặt trong bộ điều chỉnh phía máy phát đồng trục thông qua đại lượng là công suất P, Q. Bộ điều chỉnh duy trì công suất bằng giá trị đặt này đảm bảo được sự

phân chia tải của nó. Điểm khác biệt của nó so với máy phát có diesel độc lập lại là đối với máy phát diesel độc lập để phân chia tải người ta thường nâng hạ đặc tính ngoài của cả tổ hợp bộ điều tốc - diesel. Trong khi đặc tính này đã có độ nghiêng nhất định. Máy phát đồng trục sử dụng máy điện dị bộ nguồn kép có khả năng hoạt động với hệ số trượt trong một phạm vi khá rộng, cho phép tận dụng tốt hơn nguồn năng lượng được lai bởi máy chính. Mặt khác nhờ khả năng được cấp năng lượng từ phía rôto cho nên MPĐTSDMDBNK hoạt động hoàn toàn độc lập với tốc độ quay của động cơ lai là máy chính. Nó có thể hoạt động ở một dải rộng đó là làm việc ở hai chế độ trên hoặc dưới đồng bộ (Chế độ đồng bộ quy định tốc độ định mức của máy phát đồng trục để máy phát ra điện áp hoặc tần số định mức). Ở hai chế độ đó máy đều cung cấp năng lượng lên lưới ở phía stato. Ở phía rôto, máy lấy năng lượng từ lưới ở chế độ dưới đồng bộ và hoàn trả năng lượng trở lại lưới ở chế độ trên đồng bộ.

Việc phân chia đều tải cho các máy phát theo tỉ lệ công suất thường gặp khó khăn, nhất là khi động cơ sơ cấp có độ nghiêng đặc tính khác nhau, hoặc đặc tính ban đầu giống nhau nhưng bị thời gian khai thác làm thay đổi (với động cơ diesel thì điều này rất rõ). Với một trạm phát được thiết kế cho các máy phát đồng trục làm việc song song bao giờ cũng có cấu trúc phức tạp hơn, vận hành khai thác khó khăn hơn, đòi hỏi người phục vụ phải có trình độ hoặc hiểu biết sâu về hệ thống hơn và nếu nhìn từ quan điểm khai thác thì hệ thống càng phức tạp hơn, càng nhiều phần tử độ tin cậy sẽ càng thấp. Trong trạm phát điện làm việc song song khi xảy ra ngắn mạch, dòng điện ngắn mạch bao giờ cũng tăng lớn hơn, như vậy các thiết bị bảo vệ phải được lựa chọn phức tạp hơn, tin cậy hơn.

Làm việc song song với các máy phát đồng trục là đòi hỏi khả năng chính xác, tin cậy của hệ thống cao và muốn chính xác, tin cậy cao thì chúng phải thoả mãn một số yêu cầu nhất định. Về lưới điện nói chung, khi công tác song

song phải đáp ứng đầy đủ các chỉ tiêu chất lượng, đặc biệt là các đại lượng và thông số quan trọng. Trong thực tế khi tàu đang hành trình trên biển trong điều kiện thời tiết thuận lợi thì người ta mới đưa máy phát điện đồng trục vào hoạt động song song với máy phát diesel để phát điện trên lưới điện. Khi máy đã công tác song song thì trong thời gian rất ngắn bắt buộc máy phát diesel phải được ngắt ra khỏi lưới điện. Nếu không sau 30 giây aptomat sẽ tự động ngắt để ngắt máy phát ra khỏi lưới điện .

Các máy phát đồng trục muốn làm việc song song với nhau thì phải thoả mãn các điều kiện (ĐK) sau đây :

ĐK1: Tần số máy phát cần hoà phải bằng tần số lưới .

ĐK2: Góc pha ban đầu của điện áp máy phát cần hoà trùng với góc pha của ban đầu của điện áp cùng tên của lưới điện.

ĐK3: Điện áp máy phát cần hoà phải bằng điện áp lưới.

ĐK4: Thứ tự pha của máy phát cần hoà phải trùng với thứ tự pha của lưới.

Trên cơ sở bộ điều chỉnh dòng phía máy phát để thực hiện việc hoà đồng bộ máy phát vào lưới, ta chỉ cần tính chọn các giá trị đặt cho các thành phần dòng điện rotor, xác định góc chuyển đổi phù hợp để thực hiện các điều kiện hoà đồng bộ. Vì vậy phần này sẽ phân tích và xác định các giá trị đặt của dòng điện rotor và góc chuyển đổi cho bộ điều chỉnh dòng phía rotor để thực hiện hoà đồng bộ.

3.5.2. Phân tích các điều kiện hoà đồng bộ.

3.5.2.1 . Tần số máy phát cần hoà phải bằng tần số lưới.

$$\text{Với góc chuyển đổi: } \theta_r = \theta_l - \theta \quad (3.87)$$

Trong đó: θ_l - là góc quay của véc tơ không gian điện áp lưới.

θ - là góc quay của rotor (góc điện)

Ta có các điện áp thành phần trên hệ toạ độ cố định gắn với rotor (quay cùng với rotor với góc quay là θ) như sau:

$$\begin{cases} u_{r\alpha} = u_{rd} \cos \theta_r - u_{rq} \sin \theta_r \\ u_{r\beta} = u_{rd} \sin \theta_r + u_{rq} \cos \theta_r \end{cases} \quad (3.88)$$

Các thành phần điện áp ba pha rotor trên hệ tọa độ cố định với rotor sẽ là:

$$\begin{cases} u_{ru} = u_{r\alpha} \\ u_{rv} = \frac{\sqrt{3}}{2} u_{r\beta} - \frac{1}{2} u_{r\alpha} \\ u_{rw} = -u_{ru} - u_{rv} \end{cases} \quad (3.89)$$

Thay (3.88) vào (3.89) ta có:

$$\begin{cases} u_{ru} = u_{rd} \cos \theta_r - u_{rq} \sin \theta_r \\ u_{rv} = \frac{1}{2} (\sqrt{3} u_{rd} - u_{rq}) \sin \theta_r + \frac{1}{2} (\sqrt{3} u_{rq} - u_{rd}) \cos \theta_r \\ u_{rw} = \frac{1}{2} (u_{rq} - \sqrt{3} u_{rd}) \sin \theta_r - \frac{1}{2} (\sqrt{3} u_{rq} + u_{rd}) \cos \theta_r \end{cases} \quad (3.90)$$

Từ (3.89), ta thấy rõ ràng, tần số góc của điện áp mạch rotor là:

$$\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt} = \frac{d\theta_l}{dt} - \frac{d\theta}{dt} = \omega_l - \omega \quad (3.91)$$

Trong đó: $\omega_l = \frac{d\theta_l}{dt}$ - là tần số góc của điện áp lưới.

$\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt}$ - là tần số góc điện của rotor

Do đó, từ trường quay do dòng điện rotor sinh ra sẽ quay với tốc độ ω_r so với rotor, mà rotor lại quay với tốc độ ω so với stator, do đó từ trường quay rotor sẽ quay với tốc độ $\omega + \omega_r = \omega_l$ so với stator, và sẽ cảm ứng ra ở đây quán stator sức điện động (điện áp) có tần số góc là ω_l , tức có cùng tần số với điện áp lưới.

Tóm lại, với góc chuyển đổi θ_r đưa vào bộ biến tần, ta đã đảm bảo được điều kiện, điện áp phát ra của máy phát và điện áp lưới có cùng tần số.

3.5.2.2. Góc pha ban đầu của điện áp máy phát cần hoà trùng với góc pha của ban đầu của điện áp cùng tên của lưới điện.

Khi đã đảm bảo được điều kiện cùng tần số, thì điều kiện trùng pha sẽ được thực hiện thông qua điều khiển các thành phần dòng rotor i_{rd}, i_{rq} có giá trị số và dấu một cách thích hợp.

Theo quan hệ điện từ trong máy điện, từ thông $\underline{\Psi}_s = \underline{i}_r L_m$ so dòng điện trong mạch rotor \underline{i}_r sinh ra sẽ trùng pha với dòng điện rotor (nếu bỏ qua tổn hao từ trễ), từ thông này sẽ cảm ứng ra sức điện động $\underline{e}_s = -\frac{d\underline{\Psi}_s}{dt}$ trong dây quấn stator, chậm pha so với từ thông một góc 90° , để trùng pha với điện áp lưới, thì \underline{e}_s phải ngược pha với \underline{u}_l và như vậy \underline{i}_r sẽ chậm sau \underline{u}_l một góc 90° . Vì khi thiết kế khâu điều chỉnh hoà đồng bộ, ta thực hiện trên cơ sở tựa theo vector điện áp lưới, nên ta dễ dàng nhận thấy, để điện áp máy phát và lưới trùng pha nhau thì phải thực hiện điều khiển sao cho $i_{rd} = 0, i_{rq} < 0$

3.5.2.3. Điện áp máy phát cần hoà phải bằng điện áp lưới.

Để đảm bảo điều kiện cùng trị số điện áp, ta tìm mối liên hệ về trị số giữa dòng điện i_{rq} và trị số biên độ điện áp phát ra ở đầu cực máy phát u_{sm} . Từ phương trình.

$$\underline{u}_s = \frac{d\underline{\Psi}_s}{dt} = j\omega_s \underline{\Psi}_s \quad (3.92)$$

$$\underline{\Psi}_s = \underline{i}_r L_m \quad (3.93)$$

$$\text{Ta suy ra: } \underline{u}_s = j\omega_s \underline{i}_r L_m \quad (3.94)$$

Viết dưới dạng các thành phần, ta có:

$$\begin{cases} u_{sd} = -\omega_s i_{rq} L_m \\ u_{sq} = \omega_s i_{rd} L_m = 0 \end{cases} \quad (3.95 \text{ a,b})$$

Từ (3.95 a,b), ta suy ra $u_{sm} = u_{sd} = -\omega_s i_{rq} L_m$, và $i_{rq} = -\frac{u_{sm}}{\omega_s L_m}$

Để điện áp máy phát và điện áp lưới có cùng trị số, tức là $u_{sm} = u_{lm}$, thì

$$i_{rq} = -\frac{u_{lm}}{\omega_s L_m} = -\frac{u_{lm}}{2\pi f L_m} \quad (3.96)$$

Trong đó: f_s : là tần số của lưới điện

u_{sm}, u_{lm} : tương ứng là biên độ điện áp máy phát và của lưới

3.5.2.4. Thứ tự pha của máy phát cần hoà phải trùng với thứ tự pha của lưới.

Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới. Nếu ta gọi thứ tự pha của máy phát là U_F, R_F, W_F thứ tự pha của lưới là U_L, R_L, W_L , thì pha U_F trùng với U_L , pha R_F trùng với R_L , pha W_F trùng với pha W_L .

Điều kiện này được thực hiện trong quá trình lắp đặt máy phát lần đầu và phải chú ý kiểm tra khi sửa chữa nếu tháo máy phát ra.

3.5.3. Công tác song song của máy phát đồng trục sử dụng máy dị bộ nguồn kép vào lưới điện.

Đưa máy phát đồng trục vào lưới điện là quá trình đưa một máy phát từ trạng thái không công tác đến trạng thái cùng cung cấp năng lượng cho thanh cái đang có một hay nhiều máy phát được lai bởi động cơ diesel khác công tác (công tác song song). Quá trình hòa đồng bộ coi là thành công khi không gây ra xung dòng lớn và thời gian tồn tại quá trình này phải ngắn. Điều đó là cần thiết, vì sự công tác ổn định của hệ thống, nhất là lúc một trong những máy phát khác đang làm việc bị sự cố.

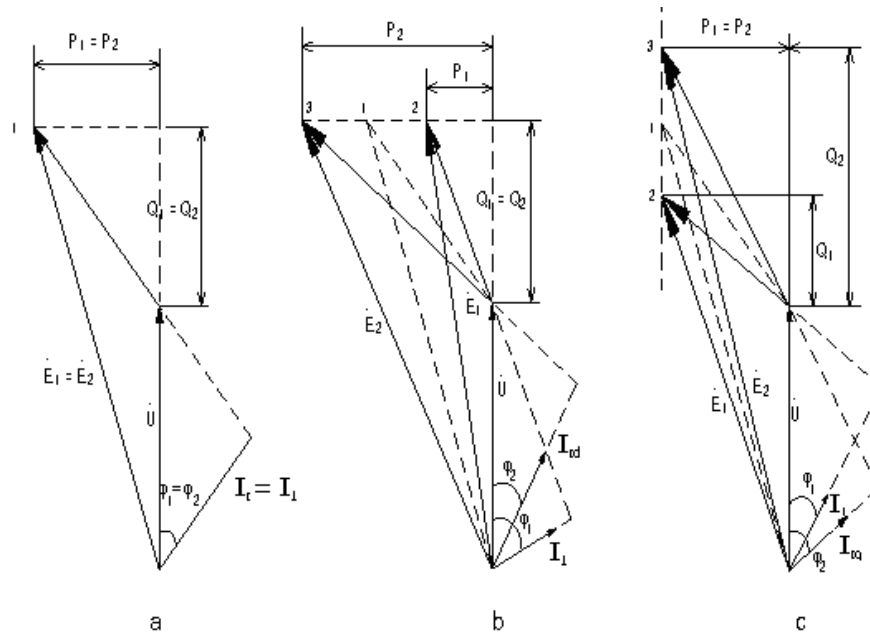
Để nghiên cứu cụ thể về chế độ hòa máy phát điện đồng trục với máy phát diesel và quá trình làm việc song song trong trạm phát điện tàu thủy ta cần chú ý đến một số đặc điểm sau:

3.5.3.1. Máy phát điện đồng trục làm việc với lưới mềm.

Với tàu thủy, lưới điện là "lưới mềm" nên hai đại lượng điện áp và tần số đặc biệt được quan tâm. Giả sử máy phát diesel đang hoạt động là G1, máy phát đồng trục chuẩn bị đưa lên lưới là G2. Vì phụ tải của tàu thủy có đặc trưng là thay đổi rất lớn, công suất dao động trong phạm vi rộng nên vận hành các máy phát song song cần đạt được khả năng ổn định cao, các máy phát luôn có khả năng nhận tải đều nhau đặc biệt là quá trình quá độ để tránh một

máy nhận tải nhanh thậm chí có thể quá tải, còn máy không nhận tải tại thời điểm cần thiết và máy trở nên non tải, phải chờ một thời gian mới từ từ nhận tải, khi nhận tải gây nên một quá trình dao động trong nội bộ hệ thống, quá trình quá độ sẽ kéo dài làm chất lượng lưới điện trở nên xấu đi. Một yêu cầu nữa cũng cần phải nhắc đến đó là khả năng cung cấp liên tục nguồn điện cho lưới là rất quan trọng và rất cần thiết.

Trong khai thác và vận hành thì lưới điện bao giờ cũng cần đảm bảo chất lượng cao trong đó hai đại lượng điện áp và tần số là tiêu chí phấn đấu và luôn phải giữ ổn định. Các máy phát điện diesel và máy phát điện đồng trục làm việc trong điều kiện lưới điện "mềm" sẽ thay đổi ra sao khi thay đổi tốc độ (công suất cơ) và dòng điện vào rôto phía sau biến tần để điều chỉnh công suất tác dụng và công phản kháng của máy phát đồng trục cũng như việc thay đổi tốc độ và kích từ của máy phát diesel, ảnh hưởng qua lại lẫn nhau và ảnh hưởng đến chất lượng lưới điện như thế nào là một vấn đề cần nghiên cứu. Trên hình 3.38 trạm phát có hai máy phát G_1, G_2 làm việc song song với nhau, hai máy có $S_1 = S_2$ (KVA). Tại thời điểm ban đầu coi như hai máy nhận tải như nhau, lúc đó $P_1 = P_2$ và $Q_1 = Q_2$. Hình 3.18 a trình bày đồ thị véc tơ biểu diễn đặc tính hai máy phát tại thời điểm đó, điểm làm việc của hai máy là 1. Mục đích đặt ra là chuyển toàn bộ tải tác dụng từ máy G_1 sang máy G_2 nhưng phải đảm bảo điện áp và tần số trên lưới điện là không thay đổi.



Hình 3.18 : Đặc tính của một máy phát làm việc với lưới mềm

- Đồ thị đặc tính hai máy phát nhận tải như nhau
- Đồ thị đặc tính chuyển toàn bộ công suất từ máy sang G1 máy G2
- Đồ thị đặc tính giữ nguyên tốc độ và thay đổi dòng kích từ

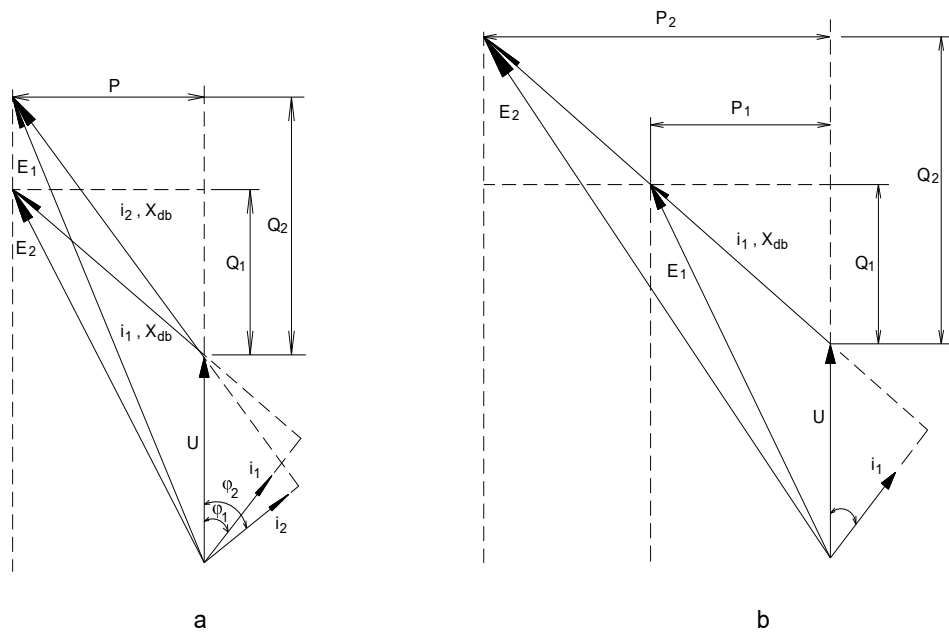
Việc điều chỉnh tần số khi lệch khỏi tần số chuẩn được thực hiện tự động bởi bộ điều khiển, khi này lấy tín hiệu dòng và áp của lưới điện với tín hiệu dòng và áp của máy phát điện đồng trục so sánh với nhau để điều khiển sự hoạt động của biến tần chính là việc điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát đồng trục. Hình 3.18b trình bày đồ thị véc tơ trong quá trình này, điểm làm việc của máy G₁ tại thời điểm đó là 2, lúc đó công suất tác dụng mà máy nhận cung cấp cho tải là P₁ đã giảm đi một lượng ΔP, còn máy G₂ làm việc tại điểm 3 có công suất tác dụng là P₂ và so với điểm làm việc 1 thì máy G₂ giảm đi (P₂ tại thời điểm đó lớn hơn P₁ một lượng 2ΔP). Với máy G₁ thì giảm lượng nhiên liệu đưa vào động cơ sơ cấp, với G₂ thì việc điều khiển rất phức tạp (Việc điều khiển thông qua điều chỉnh điều khiển biến tần cấp dòng I_{rd} vào rôto của máy phát đồng trục). Nếu cứ tiếp tục như vậy thì đến một lúc nào đó máy hai sẽ nhận tải hoàn toàn và máy một sẽ

chạy không tải, đó là thời điểm có thể cắt máy một ra khỏi lưới chỉ còn lại máy hai với độ an toàn cao nhất.

Trên hình 3.18c trình bày đồ thị véc tơ trong trường hợp giữ nguyên tốc độ (công suất) động cơ lai mà thay đổi dòng kích từ của máy phát G1 và dòng phía sau biến tần cấp cho rôto của máy phát G2 (Việc điều khiển thông qua điều chỉnh điều khiển biến tần cấp dòng I_{rq} vào rôto của máy phát đồng trục). Trên hình vẽ biểu diễn việc tăng dòng phía sau biến tần cấp cho rôto của máy phát G2 và giảm dòng kích từ cho máy G₁, tại thời điểm đang xét, máy G₁ làm việc tại điểm 2 với sức điện động E_1 giảm đi nhiều lần còn máy G₂ làm việc tại điểm 3 nhận công suất kháng Q_2 lớn.

3.5.3.2. Máy phát điện đồng trục làm việc với lưới cứng.

Nếu máy phát đồng trục làm việc với mạng "lưới cứng" thì vấn đề điện áp và tần số luôn phải phụ thuộc vào điện áp và tần số của lưới chủ. Như vậy, việc đưa một máy phát đồng trục vào làm việc song song với "lưới cứng" theo lý thuyết là hoàn toàn có thể. (Tất nhiên là phải thoả mãn bốn điều kiện đã nêu ở trên) và trong trường hợp này, việc điều chỉnh dòng điện vào rôto phía sau biến tần và vòng quay của máy chính cũng không làm thay đổi được điện áp cũng như tần số lưới điện mà chỉ làm thay đổi được khả năng nhận tải tác dụng và tải kháng cho máy mà thôi.



Hình 3.19 : Đặc tính của một máy phát làm việc với lưới cứng

a. Đồ thị đặc tính thay đổi dòng kích từ

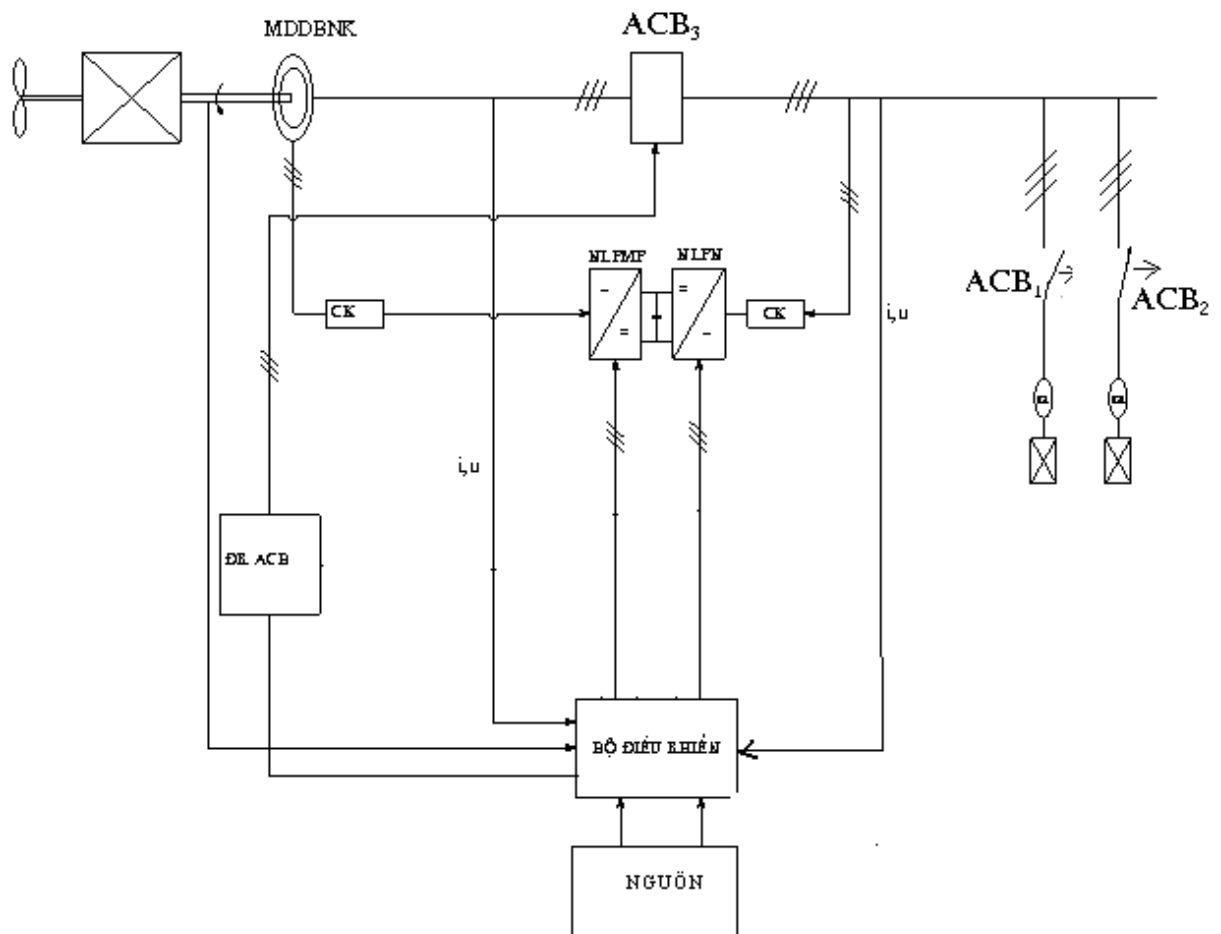
b. Đồ thị đặc tính thay đổi công suất động cơ sơ cấp

Hình 3.19 trình bày đồ thị véc tơ của một máy phát đồng trục khi làm việc với "lưới cứng" với việc thay đổi dòng điện vào rôto phía sau biến tần. Trong hình 3.19a chỉ đơn thuần điều chỉnh dòng điện vào rôto phía sau biến tần của máy phát đồng trục, còn công suất của máy chính được giữ nguyên, lúc đó sức điện động phần ứng thay đổi nhưng vì là "lưới cứng" nên điện áp trên lưới $U = \text{const}$, hệ số $\cos\varphi$ thay đổi vì thực tế góc lệch pha ban đầu thay đổi từ φ_1 sang φ_2 . Công suất phản kháng đã thay đổi từ Q_1 sang Q_2 còn công suất tác dụng $P = \text{const}$. Trong hình 3.19b biểu diễn thay đổi chế độ công tác của máy phát khi hoạt động ở chế độ dưới đồng bộ sang chế độ trên đồng bộ. Khi tăng tốc độ máy phát, công suất tác dụng thay đổi từ P_1 sang P_2 , nếu như không thay đổi dòng điện vào rôto phía sau biến tần cho máy phát đồng trục thì mút của véc tơ sức điện động sẽ vẽ theo cung tròn và bán kính là E_1 , góc lệch pha sẽ giảm dần, véc tơ I sẽ dần trùng với véc tơ U và nếu tiếp tục tăng thì góc lệch pha sẽ đổi dấu âm máy phát sẽ phát công suất mang tính chất dung không cần thiết. Như vậy để máy phát đồng trục làm việc chế độ

bình thường, người ta phải tăng dòng điện vào rôto phía sau biến tần của máy phát đồng trục để cho sức điện động tăng lên. Hình 3.19 vẽ trường hợp giữ cho góc lệch pha $\varphi = \text{const}$ và dòng điện I_2 trùng pha với I_1 .

3.5.4. Quy trình đưa máy phát đồng trục sử dụng máy dị bộ nguồn kép vào lưới điện.

Hình 3.20 Giới thiệu sơ đồ máy phát đồng trục hiện đại sử dụng máy dị bộ nguồn kép



Hình 3.20 : Sơ đồ máy phát đồng trục hiện đại sử dụng máy dị bộ nguồn kép.

Trong quá trình tàu hành trình trên biển khi điều kiện thời tiết thuận lợi người ta mới đưa máy phát đồng trục vào hoạt động.

Khi tốc độ của máy chính đồng trục chưa đạt đến tốc độ định mức (Chế độ dưới đồng bộ). Bộ chỉnh lưu phía lưới lấy năng lượng từ phía lưới điện

được chỉnh lưu thành dòng điện một chiều qua bộ lọc và được nghịch lưu thành dòng điện xoay chiều ba pha đi vào phía rôto để tạo ra từ trường quay tròn đều. Từ trường này cảm ứng sang phía stato tạo ra điện áp với tần số $f_s = f_w + f_d$ [(2.1)]. Trước đó bộ điều khiển lấy tín hiệu dòng và áp từ lưới điện được đưa vào để điều khiển sự hoạt động của bộ biến tần. Khi tần số máy phát thấp hơn tần số chuẩn (50 Hz), bộ điều khiển biến tần sau khi lấy tín hiệu dòng và áp của máy phát so sánh với tín hiệu dòng và áp của lưới điện cùng với tín hiệu đo tốc độ máy phát đưa về để phát lệnh điều khiển bộ biến tần cho máy phát ra tần số đạt định mức. Qua cơ cấu đo khi tần số và điện áp của máy phát đồng trục bằng tần số và điện áp của lưới điện. Bộ điều khiển biến tần đưa tín hiệu để điều khiển aptomat để đóng ACB_3 đưa điện áp lên lưới điện để máy phát đồng trục công tác song song với lưới điện.

Khi tốc độ của máy chính đồng trục lớn hơn tốc độ định mức (Chế độ trên đồng bộ). Máy phát đồng trục vừa phát năng lượng lên lưới điện từ phía stato đồng thời hoàn trả năng lượng từ phía rôto. Bộ nghịch lưu phía máy phát đồng trục lúc này là bộ chỉnh lưu lấy năng lượng từ máy phát trả lại lưới điện qua bộ chỉnh lưu phía lưới lúc này lại là bộ nghịch lưu. Qua cơ cấu đo tốc độ, tín hiệu đo tốc độ máy phát đồng trục được đưa về bộ điều khiển biến tần cùng với tín hiệu dòng và tín hiệu áp để phát lệnh điều khiển bộ biến tần cho máy phát ra tần số $f_s = f_w - f_d$ [(2.1)].

Khi máy phát đồng trục được đưa vào lưới điện công tác song song với các máy phát diesel độc lập. Việc phân chia tải ở phía máy phát đồng trục được thực hiện một cách tự động thông qua việc thay đổi điểm đặt giá trị công suất P, Q. Còn đối với máy phát diesel độc lập việc thay đổi tải được thực hiện thông qua thay đổi giá trị đặt tốc độ quay diesel. Khi toàn bộ tải từ phía máy phát diesel chuyển sang máy phát đồng trục thì tiến hành ngắt aptomat của máy phát diesel độc lập ra khỏi lưới điện, toàn bộ thời gian hòa đồng bộ không được quá 30 giây.

KẾT LUẬN

Đồ án đã thực hiện thành công, nó mang tính chất nghiên cứu ứng dụng khoa học, giải quyết được bài toán mang tính chất thực tiễn mà hiện tại còn rất ít tài liệu liên quan. Qua quá trình nghiên cứu cho thấy hệ thống máy phát đồng trục sử dụng máy điện dị bộ nguồn kép hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu của lưới điện trên tàu thủy có thể sử dụng nó như một máy phát được truyền động riêng.

Tuy nhiên, hạn chế của đồ án là phần phân tích lí thuyết còn chưa thực sự sâu sắc, và chưa đưa ra được kết quả mô phỏng khi máy phát đồng trục hoà vào lưới, mặt khác do kinh phí nên chưa xây dựng được mô hình thực.

Trong quá trình nghiên cứu đề tài em đã có nhiều cố gắng, nhưng do thời gian và trình độ còn hạn chế đồ án sẽ không tránh được những thiếu sót. Rất mong nhận được những góp ý bổ sung của các thầy, cô để đồ án hoàn thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hải Phòng, ngày....tháng....năm 2011

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Hồng Quang

Tài liệu tham khảo

1. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn, TS. Nguyễn Tiến Ban (2000), **Máy phát đồng bộ không chổi than**, Tạp chí Giao thông Vận tải, số 6.
2. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn, TS. Nguyễn Tiến Ban, (2001), **Mô hình toán các hệ thống kích từ máy phát điện tàu thủy**, Tạp chí Giao thông Vận tải, số 10.
3. Nguyễn Bình (1993), **Điện tử và công suất**, Nhà xuất bản Đại học Bách khoa Hà Nội.
4. TS. Nguyễn Thị Phong Hà (1996), **Điều khiển tự động tập 1, tập 2**, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
5. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn (1991), **Điện tử công suất lớn**, NXB Giao thông vận tải.
6. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn (1998), **Mô phỏng thiết bị điện**, Đại học Hàng Hải, Hải Phòng.
7. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn (2003), **Mô hình hoá thiết bị điện**, Nhà xuất bản Giao thông vận tải Hà Nội.
8. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn, TS Nguyễn Tiến Ban (2008), **Trạm phát và lưới điện tàu thủy**, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
9. Nguyễn Văn Liễn, TS Nguyễn Tiến Ban (2001), **Mô phỏng máy phát điện tàu thủy**, Tuyển tập công trình khoa học 45 năm Đại học Bách khoa Hà Nội.
10. Nguyễn Văn Liễn, Nguyễn Mạnh Tiến, Đoàn Quang Vinh, **Điều khiển động cơ xoay chiều cấp từ biến tần bán dẫn**, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
11. Lê Viết Lượng (2000), **Lý thuyết động cơ diesel**, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
12. Phạm Công Ngô (1996), **Lý thuyết điều khiển tự động**, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

13. TSKH .Nguyễn Phùng Quang (1996), ***Điều khiển tự động truyền động điện xoay chiều ba pha***, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
14. TSKH .Nguyễn Phùng Quang (2006), ***Matlab và Simulink***, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
15. Bùi Thanh Sơn (2000), ***Trạm phát điện tàu thủy***, Nhà xuất bản giao thông vận tải Hà nội
16. Nguyễn Phùng Quang (1998), "***Máy điện dị bộ nguồn kép dùng làm máy phát trong hệ thống phát điện trong hệ thống phát điện chạy sức gió: Các thuật toán điều chỉnh bảo đảm phân ly giữa mômen và hệ số công suất***",
17. Nguyễn Phùng Quang (2004), ***MATLAB & SIMLINK dành cho kỹ sư điều khiển tự động***, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
18. Nguyễn Phùng Quang (1998), ***Điều khiển tự động truyền động điện xoay chiều ba pha (tái bản lần thứ 1)***, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
19. Nguyễn Doãn Phước (2002), ***Lý thuyết điều khiển tuyến tính***, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
20. Bùi Thanh Sơn - Trần Việt Tiến "***Ứng dụng máy phát đồng trục trong hệ thống năng lượng tàu thủy***"
21. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Hán Thành Trung (2003), ***Lý thuyết điều khiển phi tuyến***, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật, Hà Nội.

PHỤ LỤC

1. Tham số của máy phát

- Số đôi cực: $z_p = 2$
- Công suất định mức: 40KW
- Điện áp định mức stato: 230/400 V (Δ/Y)
- Điện áp định mức rôto: 366 V
- Dòng điện định mức rôto: 27 A
- Tốc độ định mức : 1440 v/ph
- Điện trở stato R_s : 10,7 Ω
- Điện trở rôto R_r : 13,2 Ω
- Điện cảm stato $L_{\sigma s}$: 0,066 H
- Điện cảm rôto $L_{\sigma r}$: 0,098 H
- Hồ cảm giữa stato và rôto L_m : 0,1601H
- Tần số định mức : 50 Hz
- Dòng điện định mức stator : 152/88A (Δ/Y)
- $\cos \varphi = 0,78$
- Mô men quán tính : 0,32 kg.m²

2. Tham số phía lưới điện

- Điện cảm cuộn lọc: L_d : 0,0002H
- Điện trở cuộn lọc : R_d : 0,01 Ω
- Điện dung tụ điện bộ lọc RC : 400 μF
- Điện trở của bộ lọc RC : R_f : 0,2 Ω
- Điện dung của tụ điện mạch một chiều trung gian : $C_{dc} = 1470 \mu F$