

Bảng 2. Ảnh hưởng của sự thay đổi chế độ phun đến chất lượng lớp phủ

Điện áp vào đầu phun	Tăng	1.Hạt kim loại hạt phun sẽ thô hơn 2.Độ bám các hạt tăng 3.Nếu quá mức hồ quang không ổn định
	Giảm	1.Hạt kim loại phủ sẽ mịn hơn 2.Thấp quá sẽ vảy kim loại phủ
Cường độ dòng điện	Tăng	1.Hạt kim loại hạt phun sẽ thô hơn
	Giảm	1. Hạt kim loại phủ sẽ mịn hơn
Áp suất khí vào đầu phun	Tăng	1.Các hạt phủ sẽ tốt 2. Hiệu suất bám kim loại khi phủ sẽ giảm 3. Độ liên kết với bề mặt phủ sẽ tăng
	Giảm	1. Hạt kim loại hạt phun sẽ thô hơn 2. Hiệu suất bám kim loại khi phủ sẽ tăng 3. Độ liên kết với bề mặt phủ sẽ giảm
Khoảng cách phun	Gần hơn	1. Độ liên kết với bề mặt phủ sẽ tăng mạnh 2. Hiệu suất bám kim loại khi phủ sẽ tăng 3. Nhiệt độ tăng cao gây quá nhiệt nguy hiểm
	Xa hơn	1. Độ liên kết với bề mặt phủ sẽ giảm mạnh 2. Hiệu suất bám kim loại khi phủ sẽ giảm 3.Lớp phủ bọc sẽ thô
Các thông số khác: 1. Điện áp: 26~30 V, phụ thuộc vào dây phun; 2. Cường độ: 100~250 A, phụ thuộc vào yêu cầu cần thiết; 3. Áp suất khí: Đường khí chính: 0.5~0.6 Mpa; Đường khí phụ: 0.5~0.6 Mpa.		

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cục Đăng kiểm Việt Nam (VR). *Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép (VR) - Phần 3: Hệ thống máy tàu. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải.* Hà Nội. 2010.
- [2] Hoàng Tùng. *Phục hồi và bảo vệ bề mặt bằng phun phủ.* Nhà xuất bản KH-KT. Hà Nội, 1994.
- [3] Hoàng Tùng. *Công nghệ phun phủ và ứng dụng.* Nhà xuất bản KH-KT. Hà Nội, 2006.
- [4] N.V. Kats. *Phun kim loại. Nhà xuất bản chế tạo máy. Maxtcva (Tiếng Nga).* 1976.
- [5] N.Ashgriz. *Handbook of Atomization and Sprays-Theory and Applications.* Nxb.Springer.2011.
- [6] The Browning companies Coaken Yosha Giken Co..Ltd. *EAS-WD-ST Ars Spray Equipment.* 2005

Người phản biện: PGS.TS. Nguyễn Đại An

**ĐIỀU KHIỂN DFIG LÀM CHỨC NĂNG MÁY PHÁT ĐỒNG TRỤC TRONG
TRẠM PHÁT ĐIỆN TÀU THUYỀN DỰA TRÊN NGUYÊN LÝ HỆ PHẪNG
FLATNESS-BASED CONTROL OF DFIG WORKING AS A SHAFT GENERATOR
ON SHIPBOARD'S POWER STATION**

KS. NGUYỄN HOÀNG HẢI
Trưởng Đại học Bách Khoa Hà Nội
PGS.TS. NGUYỄN TIẾN BAN
Trưởng Đại học Hải Phòng

Tóm tắt

Máy phát dị bộ nguồn kép cấp nguồn từ hai phía (DFIG) làm máy phát đồng trục trong trạm phát điện tàu thủy có rất nhiều ưu việt. Điều khiển phẳng là hướng nghiên cứu với các đối tượng được chứng minh là hệ phẳng. Bài báo giới thiệu về mô hình điều khiển cho máy phát dị bộ nguồn kép trên cơ sở áp dụng nguyên lý điều khiển phẳng, làm việc trong chức năng máy phát trong trạm phát điện tàu thủy với đặc điểm là lưới mềm, sử dụng động cơ lai là máy chính luôn có tốc độ thay đổi trong phạm vi rất rộng.

Abstract

Doubly-fed induction generator working as a shaft generator on shipboard's power station has a lot of advantages. Flatness-based control is a new direction of research on control for this object. This paper introduces a new method to control the DFIG working as a shaft generator on the soft grid of ships, in which the main engine's speed fluctuates in a wide range.

1. Mở đầu

Khi đặt vấn đề sử dụng máy điện dị bộ nguồn kép làm máy phát cho hệ thống máy phát đồng trục (Shaft Generator – SG) trong trạm phát điện tàu thủy, do máy phát được cấp nguồn từ hai phía (DFIG: Doubly – Fed Induction Generator) có cấu trúc khá phức tạp nên vấn đề đặt ra cho việc điều khiển hệ thống hoàn toàn không đơn giản. Lưới điện trên tàu thủy là lưới “mềm” luôn trong trạng thái cần ổn định **tần số** và **điện áp** trong khi phụ tải trên tàu lại luôn động. Với tình huống đặc biệt như ngắn mạch được xếp vào sự cố, còn lại các quá trình quá độ như khởi động động cơ công suất lớn (động cơ chân vịt mũi - chằng hạn) thì đây là các chế độ hết sức nặng nề, và vấn đề ổn định tần số và điện áp là rất khó khăn. Khi trong trạm có một vài máy phát đang làm việc song song, công suất và khả năng cường kích tốt của cả hai bộ tự động điều chỉnh điện áp và tự động ổn định tốc độ thì các quá trình quá độ dễ dàng vượt qua. Nhưng, nếu tại thời điểm nặng nề ấy lại chỉ có một máy phát làm việc thì nguy cơ “sập” máy là có thể có, và nếu như một máy duy nhất đang cấp điện kia lại là SG trong khi máy chính (Main Engine - ME) lại đang trong tình huống không thuận: đang cần thay đổi tốc độ thì lúc đó nguy cơ là rất cao. Sẽ rất khó khăn trong tình huống ấy nếu như đó là các máy phát thông thường và nguy cơ mất điện trạm là hiện hữu. Nếu sử dụng DFIG thì điều lo ngại sự cố kia chắc chắn được giải toả, hệ thống sẽ dễ dàng vượt qua, đảm bảo cấp điện liên tục cho phụ tải. Tuy nhiên, về chất lượng thì không thể kết luận được nếu như không có được những thuật điều khiển đáp ứng những yêu cầu đặt ra. Điều khiển tựa phẳng cho DFIG là hướng nghiên cứu.

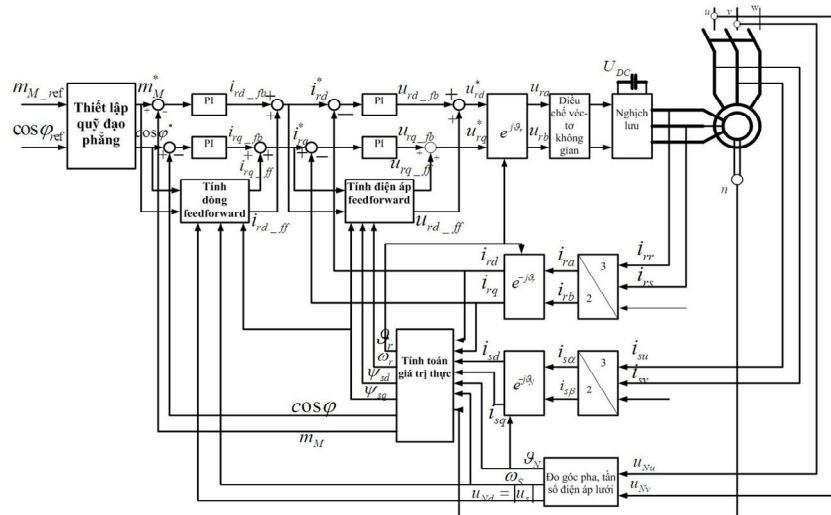
2. Mô hình điều khiển DFIG xây dựng trên lí thuyết tựa phẳng

Tài liệu [1] đã xây dựng được mô hình trạng thái đầy đủ của DFIG như sau:

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

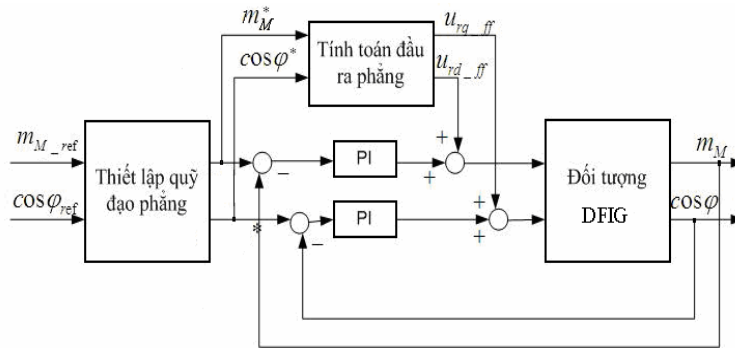
Khi thiết lập được quỹ đạo cho các đầu ra phẳng, về mặt lý thuyết, nếu mô hình toán học và các thông số của hệ hoàn toàn chính xác thì chỉ cần mạch điều khiển feedforward, đầu ra thực tế của hệ thống vẫn sẽ có quỹ đạo hoàn toàn trùng khớp với quỹ đạo đã tính toán. Tuy nhiên, các thông số của máy phát điện không thể đo đạc được kết quả một cách hoàn toàn tin cậy. Bên cạnh đó, các nhiễu có thể tác động vào hệ thống, làm quỹ đạo của đầu ra sai lệch đáng kể so với tính toán. Vì vậy, khi đặt vấn đề điều khiển cần thiết kế mạch feedback để hạn chế tối đa các sai lệch có thể xảy ra. Mạch feedback có thể lựa chọn là mạch phản hồi trạng thái (tài liệu [1] đã chứng minh mạch phản hồi trạng thái có thể đảm bảo tín hiệu ra bám sát quỹ đạo lựa chọn sau một thời gian t đủ lớn), hoặc dùng một phương pháp điều khiển khác như điều khiển trượt, hoặc điều khiển tựa thụ động. Tuy nhiên, việc phản hồi các trạng thái và tất cả các đạo hàm của nó không thực sự khả thi trong thực tế. Ở đây, khâu PI được sử dụng trong các vòng phản hồi vì tính đơn giản, dễ chỉnh định nhưng vẫn đảm bảo được yêu cầu đề ra là bám giá trị đặt. Sơ đồ của hệ thống điều khiển tựa phẳng cho DFIG trình bày ở hình 1. Sơ đồ được xây dựng theo cấu trúc nổi tầng Cascade các bộ điều khiển, bao gồm hai mạch vòng điều khiển. Trong đó có thể thấy mạch vòng phía trong là mạch vòng điều khiển dòng điện, mạch vòng phía ngoài là mạch vòng điều khiển

công suất. Mỗi mạch vòng, như đã trình bày ở trên, đều bao gồm một khâu tính toán đầu ra phẳng đóng vai trò là mạch feedforward (ký hiệu là *_ff*). Tín hiệu từ đầu ra phẳng này được cộng với phần tín hiệu bù lấy từ mạch feedback (ký hiệu là *_fb*) để trở thành tín hiệu điều khiển (ký hiệu là *). Hình 2 trình bày cấu trúc này. Giá trị điện áp rotor được tính theo các đầu ra phẳng như sau:



Hình 1. Cấu trúc hệ thống điều khiển tựa phẳng cho DFIG.

$$\begin{aligned}
 u_{rd_ff} &= \sigma L_r \left[\frac{di_{rd}^*}{dt} + \frac{1}{\sigma} \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rd}^* - \omega_r i_{rq}^* - \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\frac{1}{T_s} \psi'_{sd} - \omega \psi'_{sq} \right) + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sd} \right] \\
 u_{rq_ff} &= \sigma L_r \left[\frac{di_{rq}^*}{dt} + \omega_r i_{rd}^* + \frac{1}{\sigma} \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rq}^* - \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\omega \psi'_{sd} + \frac{1}{T_s} \psi'_{sq} \right) + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sq} \right]
 \end{aligned} \tag{2}$$



Hình 2. Bộ điều khiển tỷ lệ tích phân và tín hiệu feedforward.

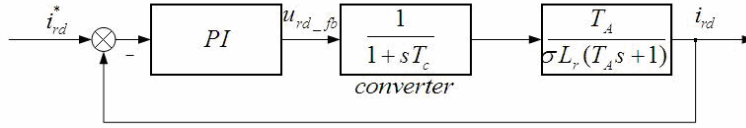
Theo lý thuyết có thể tính trực tiếp các tín hiệu u_{rd} , u_{rq} theo các đầu ra phẳng theo công thức (2) ở trên. Mạch vòng dòng điện được xây dựng như hình 3 trong đó việc tính i_{rd}^* xuất phát từ:

$$\frac{di_{rd}^*}{dt} = -\frac{1}{\sigma} \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rd}^* + \omega_r i_{rq}^* + \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\frac{1}{T_s} \psi'_{sd} - \omega \psi'_{sq} \right) + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rd_ff} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sd} \tag{3}$$

Ở đây giả thiết rằng thành phần i_{rq} đã bám giá trị đặt. Sau khi laplace hoá nhận được:

$$s \cdot \Delta i_{rd} = -\frac{1}{T_A} \Delta i_{rd} + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rd_fb} \Rightarrow \frac{\Delta i_{rd}}{u_{rd_fb}} = \frac{T_A}{\sigma L_r (T_A s + 1)} \quad (4)$$

Từ kết quả này xây dựng được mạch vòng dòng điện đã tính đến tính trễ của khâu băm xung qua khâu quán tính bậc nhất $\frac{1}{1+sT_c}$ như hình 3.



Hình 3. Mạch vòng dòng điện lựa chọn theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng và tín hiệu feedforward.

Trong đó hàm truyền hệ hở mạch vòng dòng điện là:

$$G(s) = \frac{T_A}{\sigma L_r} \cdot \frac{1}{1+sT_c} \cdot \frac{1}{1+sT_A} \quad (5)$$

với giả thiết $T_c \ll T_A$

Áp dụng tiêu chuẩn tối ưu đối xứng với khâu PI có hàm truyền là $G_{PI} = \frac{1}{sT_i} (1+sT_a)$, ta có:

$$T_a = T_A \quad (\text{bù hằng số thời gian lớn hơn})$$

$$T_i = 2 \frac{T_A}{\sigma L_r} T_c$$

Tức là hệ số K_p, T_i có giá trị như sau:

$$K_p = \frac{T_a}{T_i} = \frac{\sigma L_r}{2T_c}$$

$$T_i = T_i = 2 \frac{T_A}{\sigma L_r} T_c$$

Tương tự, cũng xác định được các tham số K_p, T_i cho thành phần dòng điện i_{rq} .

Khâu PI sẽ bù được các sai lệch tĩnh nên trong công thức (2) có thể không cần giá trị phản hồi ψ_{sd}, ψ_{sq} trong trường hợp hệ làm việc ổn định (lúc này ψ_{sd}, ψ_{sq} dao động rất nhỏ, gần như là hằng số).

Mạch vòng công suất với hàm truyền hệ hở :

$$\frac{m_M}{i_{rd}^*} = \frac{3 z_p L_m u_{sd}}{2 L_s \omega_s} \frac{1}{1+2sT_c} \frac{1}{1+sT_s} \quad (6)$$

Trong đó: $T_s \gg 2T_c$

Khâu PI theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng sẽ có dạng:

$$G_{PI} = \frac{1}{sT_i} (1+sT_s)$$

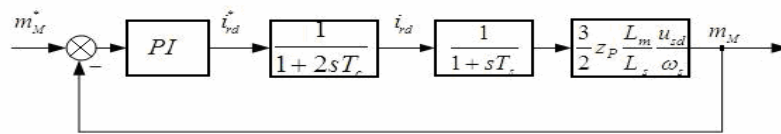
$$\text{Với} \quad T_i = 2 \frac{3 z_p L_m u_{sd}}{2 L_s \omega_s} 2T_c = 6 \frac{z_p L_m u_{sd} T_c}{L_s \omega_s}$$

Như vậy:

$$K_p = \frac{T_s L_s \omega_s}{6 z_p L_m u_{sd} T_c}$$

$$T_i = T_i$$

Mạch vòng công suất được xây dựng như hình 4 sau



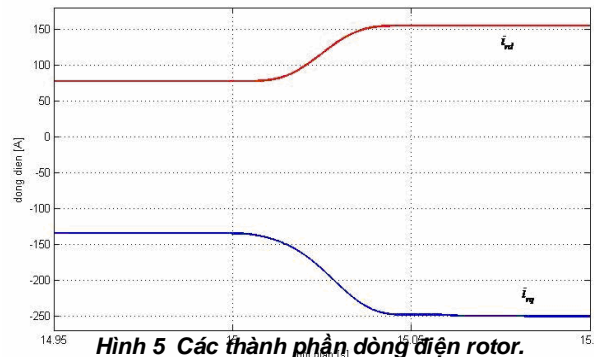
Hình 4. Mạch vòng công suất lựa chọn theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng.

2. Điều khiển DFIG theo mô hình hệ phẳng theo yêu cầu trạm phát tàu thủy

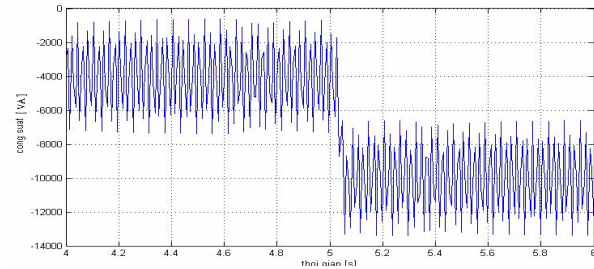
Tại thời điểm khi máy phát mới được hoà thành công vào lưới điện, bản thân máy phát cũng phải được điều khiển để chưa hoặc nhận một lượng công suất rất nhỏ một cách tự nhiên do sự chênh lệch tần số lưới hoà, ngay lúc đó việc điều khiển cho DFIG nhận tải cần được tiến hành để san tải từ lưới điện. Trạm phát xoay chiều bao giờ cũng phải cung cấp cho lưới hai loại công suất: Kháng Q và tác dụng P. Trong các máy phát kinh điển, người ta quen với cách làm việc của các hệ thống **tự động điều chỉnh** và trong cách thiết kế hai hệ thống: điều chỉnh điện áp và điều chỉnh tần số (điều chỉnh tốc độ động cơ lai) được coi như làm việc phân li, các ảnh hưởng lẫn nhau giữa hai bộ điều chỉnh này một cách gần đúng là không có. Tuy nhiên, theo [3] thì ảnh hưởng qua lại giữa các quá trình điện từ và điện cơ là không nhỏ. Chính vì vậy, khi nghiên cứu chất lượng đầu ra của trạm phát với yêu cầu cao hơn thì cũng theo [3] không dừng lại ở những bộ điều chỉnh nữa mà phải thực hiện **tự động điều khiển** cho trạm phát điện. Với DFIG thì hoàn toàn phải điều khiển.

Tài liệu [1] đã trình bày để điều khiển công suất tác dụng P cũng như công suất kháng Q của DFIG là có thể can thiệp đến việc điều khiển hai thành phần dòng i_{rd} và i_{rq} . Hình 2 đã trình bày mô hình điều khiển công suất máy phát đồng trục DFIG bằng hai bộ điều khiển tỉ lệ tích phân PI theo phương pháp điều khiển tách kênh. Việc tách kênh thực hiện trên cơ sở sử dụng mạch feedforward trong bộ điều khiển dòng (hình 1). Đây cũng chính là một tính chất rất đáng lưu ý của hệ phẳng MIMO (Multi Input Multi Output) vì khi đã chứng minh và chỉ ra được được các đầu ra phẳng của hệ MIMO thì những đầu ra đó đảm bảo được yếu tố tách kênh với nhau.

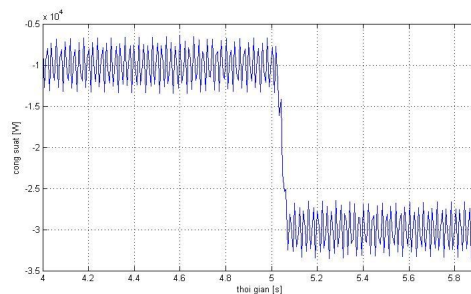
Hình 5 là kết quả mô phỏng hai thành phần dòng rotor, hình 6 là đáp ứng công suất tác dụng P với biến phẳng từ thông và hình 7 là kết quả đáp ứng của công suất kháng Q với biến phẳng từ thông. Kết quả nhận được từ việc thực hiện mô phỏng trên phần mềm Matlab/ Simulink. Đối tượng dùng cho mô phỏng có các thông số: Công suất danh định: 620 kW; Số đôi cực: 2; Điện



Hình 5. Các thành phần dòng điện rotor.



Hình 6. Đáp ứng công suất tác dụng P với biến phẳng từ thông.



Hình 7. Đáp ứng công suất kháng Q với biến phẳng từ thông.

áp Stator: **690V, 50 Hz**; Điện trở Stator: **0.0107Ω**; Điện trở Rotor: 0.0264Ω; Hổ cảm: 0.0163 *H* ; Điện cảm Rotor: 0.0005 *H* ; Điện cảm Stator: 0.0003 *H* .

3. Kết luận

Điều khiển DFIG với chức năng SG trong trạm phát tàu thủy theo nguyên lý hệ phẳng đã có những kết quả khá khả quan thông qua việc xây dựng mô hình hệ thống. Điều khiển công suất (tác dụng và kháng) thông qua việc can thiệp từ rotor sẽ mang lại tính chủ động trong khai thác khi tốc độ máy lai (ME) thay đổi trong phạm vi rộng. Với mô hình điều khiển đề xuất không những giữ ổn định tần số và điện áp để cung cấp cho lưới từ máy phát đồng trục mà còn mở ra hướng chủ động nâng cao chất lượng cho lưới điện tàu thủy trong tương lai, vì thực chất càng ngày trên lưới điện tàu thủy càng sử dụng nhiều và rất nhiều các phụ tải chứa các bộ biến đổi công suất tĩnh. Việc sử dụng các bộ biến đổi công suất tĩnh là nguồn gây nên các sóng hài làm thay đổi rất lớn hình dạng sóng ở lưới điện không có biến áp cách ly như lưới điện tàu thủy. Điều khiển tựa phẳng cho DFIG cũng là đề xuất để mở ra hướng nghiên cứu về điều khiển trong lĩnh vực điện tàu thủy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hai, N.H.: *Nghiên cứu đặc tính phẳng của máy phát rotor nguồn kép (rotor dây quấn) và đề xuất cấu trúc điều khiển trên cơ sở nguyên lý hệ phẳng*. Đồ án tốt nghiệp đại học, ĐHBK Hà Nội, 2010.
- [2]. Quang, N.P.; Dittrich, J.A.: *Vector Control of Three-Phase AC Machines*. Springer, 2008.
- [3]. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn; TS. Nguyễn Tiến Ban "Trạm phát và lưới điện tàu thủy" Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật – Hà Nội. 2008
- [4]. Petersson, A. (2005): *Analysis, Modeling and Control of Doubly-fed Induction Generators for Wind Turbines* Chalmers University of Technology.
- [5]. Marvik, J.; Bjorgum, T.; Underland, T.; Gjenedal, T.: *Control of a wind turbine with a double-fed Induction generator after transient failures* www.ntnu.no

Người phản biện: GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

XÂY DỰNG BIẾN TẦN VÉC TƠ CHO TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ DESIGN AND IMPLEMENT OF THE VECTOR FREQUENCY CONVERTER FOR AVAILABLE DRIVE

GS. TSKH. THÂN NGỌC HOÀN
Đại học Dân lập Hải Phòng
ThS. VŨ NGỌC MINH
Đại học Hàng hải

Tóm tắt

Điều khiển vector là một phương pháp điều khiển động cơ điện xoay chiều ba pha hiện đại, với ưu điểm gắn liền một cách rõ ràng các phương pháp mô tả toán học chính xác các mối quan hệ vật lý của động cơ với các công nghệ điều khiển mới, nó có khả năng vượt trội về áp đặt dòng điện, momen. Để thực hiện hệ thống Tđđ này bộ biến tần véc tơ là một bộ phận không thể thiếu

Abstract

Control vector is a method modern control for the induction motor in which there need a frequency converter. The article deal with the design and implement of a frequency converter using element and devices being in Vietnam. Experiment results are presented in the article

1. Mở đầu

Hiện nay có nhiều công trình nghiên cứu về biến tần vector, các công trình nghiên cứu nước ngoài đã tương đối hoàn thiện, đã xuất hiện các sản phẩm thương mại. Điểm cơ bản là các bộ biến tần vector thường sử dụng các bộ vi xử lý mạnh nên dễ dàng điều khiển, khống chế động cơ.

Ở nước ta có một số công trình nghiên cứu biến tần vector [3] nhưng mới dừng lại ở lý thuyết. Các bộ biến tần thương phẩm của thế giới thường sử dụng các vi điều khiển cấp cao, yêu cầu tốc độ tính toán lớn, rất khó mua được tại thị trường Việt nam và giá thành rất cao. Từ nhu cầu thực tế trên, bài báo trình bày việc xây dựng bộ biến tần vector dựa trên những phần cứng có