

# NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT VỀ ĐIỀU KHIỂN HỆ MÁY PHÁT ĐIỆN SỨC GIÓ KIỂU DFIG TRONG ĐIỀU KIỆN LƯỚI CÂN BẰNG

## THEORETICAL RESEARCH ABOUT CONTROL OF A DFIG-BASED WIND POWER GENERATION SYSTEM UNDER BALANCED GRID VOLTAGE CONDITIONS

Nguyễn Thị Thành

Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 15/5/2016, chấp nhận đăng ngày 24/5/2016

**Tóm tắt:** Máy phát điện sức gió sử dụng động cơ không đồng bộ rotor dây quấn (KĐB-RDQ), còn được gọi là không đồng bộ nguồn kép DFIG (Doubly-Fed-Induction-Generator). Việc nghiên cứu, thiết kế các bộ điều khiển nhằm đảm bảo cho máy phát làm việc ổn định với lưới là vấn đề có tính thời sự, đang thu hút sự chú ý của các nhà khoa học trong và ngoài nước. Trong bài báo này tác giả nghiên cứu việc sử dụng phương pháp Backstepping để thiết kế bộ điều khiển cho máy phát kiểu DFIG. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh được chất lượng điều khiển máy phát trong hệ thống DFIG tốt hơn so với phương pháp điều khiển tuyến tính thông thường.

**Từ khóa:** Ổn định, phương pháp backstepping, máy phát điện sức gió nguồn kép.

**Abstract:** Wind generator uses wound rotor asynchronous motor-also called Doubly-Fed-Induction-Generator (DFIG). Studying, designing of the controller to ensure generator working stably to the grid is the topical issues, which is attracting the attention of scientists in Viet Nam and in other countries. In this paper the authors research methods to control the DFIG system in terms of grid balance and use of backstepping method to design controllers. The research results have proven quality control of a DFIG-based wind power generator system better than linear control method.

**Keywords:** Stability, backstepping method, wind Doubly-Fed-Induction-Generator.

Các ký hiệu:	Ý nghĩa		
$i_{rd}, i_{rq}$	Các thành phần dòng rotor trên hệ tọa độ tựa theo điện áp lưới;	$u_{sd}, u_{sq}$	Các thành phần điện áp stator trên hệ tọa độ tựa theo điện áp lưới;
$i_{sd}, i_{sq}$	Các thành phần dòng stator trên hệ tọa độ tựa theo điện áp lưới;	$\omega_r, \omega$	Vận tốc góc mạch điện rotor, vận tốc góc cơ học của rotor;
$T_s, T_r$	Các hằng số thời gian mạch stator và rotor;	$\psi_{sd}, \psi_{sq}$	Các thành phần từ thông stator trên hệ tọa độ tựa theo điện áp lưới;
$L_m$	Hỗ cảm giữa stator và rotor;	$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s}$	Hệ số tản tổng;
$L_s, L_r$	Điện cảm stator và rotor;	$m_G$	Mômen máy phát.
$u_{rd}, u_{rq}$	Các thành phần điện áp rotor trên hệ tọa độ tựa theo điện áp lưới;		

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy phát điện sức gió được sử dụng là máy điện không đồng bộ rotor dây quấn (KĐB-RDQ) hay còn gọi máy phát không đồng bộ nguồn kép - DFIG (Doubly-Fed Induction Generator). Khác với máy phát không đồng bộ rotor lồng sóc (KĐB-RLS) thì DFIG có những ưu điểm nổi bật:

- Do thiết bị điều khiển của DFIG nằm phía rotor nên công suất chỉ bằng cỡ 1/3 công suất máy phát. Dòng năng lượng thu được chảy trực tiếp từ stator sang lưới nên giá thành rẻ hơn nhiều so với KĐB-RLS là loại cần thiết bị điều khiển nằm giữa stator và lưới, và do đó có công suất bằng chính công suất của hệ máy phát.
- Có khả năng hoạt động với hệ số trượt trong một phạm vi khá rộng (tới  $\pm 30\%$ ), cho phép tận dụng tốt hơn nguồn năng lượng gió.

Tuy vậy, để phát được chất lượng tốt, cần phải có một phương pháp điều chỉnh thích hợp trong hệ thống máy phát nhằm nâng cao hiệu suất, chất lượng điện. Điều này trở nên khá phức tạp bởi vì ngoài các ưu điểm kể trên DFIG có những khó khăn cơ bản là hai thành phần dòng  $i_{rd}$ ,  $i_{rq}$  có nhiệm vụ điều khiển công suất hữu công  $P$  và công suất vô công  $Q$  lại có mối quan hệ phi tuyến phụ thuộc lẫn nhau.

Trong phương pháp điều khiển tuyến tính người ta giải quyết vấn đề này bằng việc coi tốc độ máy phát và tần số góc mạch rotor bằng hằng số trong một khoảng thời gian trích mẫu, tuyến tính hóa mô hình hệ thống và tách kênh các thành phần dòng. Tuy nhiên phương pháp tuyến tính chưa quan tâm đến bản chất phi tuyến của DFIG, đó là trong thực tế khi tốc độ gió thay đổi, đặc biệt khi lỗi lưới ngắn mạch ba pha, mômen điện từ của máy phát dao động nhanh, dẫn đến tốc độ máy phát và tần số góc mạch rotor cũng dao động nhanh và không thể coi là hằng số được. Sự thay đổi của tần số góc mạch rotor không những ảnh hưởng đến khả năng tách kênh của bộ điều chỉnh dòng mà còn ảnh

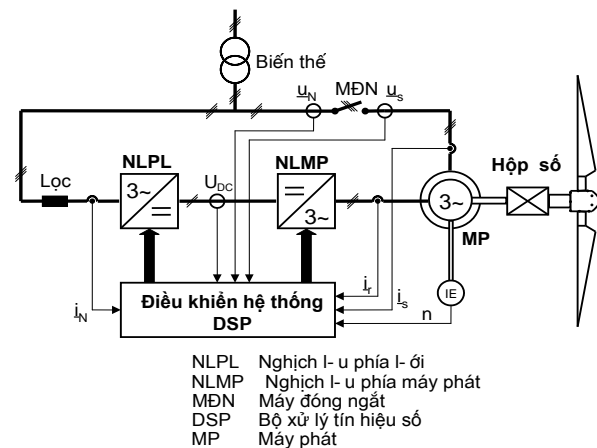
hưởng đến sức phản điện động cảm ứng trong mạch rotor, là nguyên nhân gây nên mất điều khiển dòng và quá dòng lớn. Đây là vấn đề cần được quan tâm và giải quyết.

## 2. SƠ ĐỒ TỔNG QUÁT HỆ THỐNG

Cấu trúc của hệ thống phát điện sức gió dùng máy phát kiểu DFIG được giới thiệu trong hình 1 [1]. Hệ thống điều khiển (ĐK) bao gồm:

- Bộ nghịch lưu phía lưới (NLPL): điều khiển hệ số công suất  $\cos\phi$ , kết hợp lọc thông minh chặn nhiễu phát lên lưới.
- Bộ nghịch lưu phía máy phát (NLMP): giải quyết vấn đề điều khiển cách ly (decoupling control) công suất tác dụng  $P$  và công suất phản kháng  $Q$  lên lưới, thông qua điều khiển các thành phần dòng điện rotor, với việc áp dụng kỹ thuật điều khiển vector.

Với mục đích điều khiển hệ thống phát điện sức gió sử dụng DFIG thông qua việc áp dụng phương pháp điều khiển thích hợp cho bộ điều khiển NLMP, nên tác giả sẽ tập trung vào điều khiển NLMP.



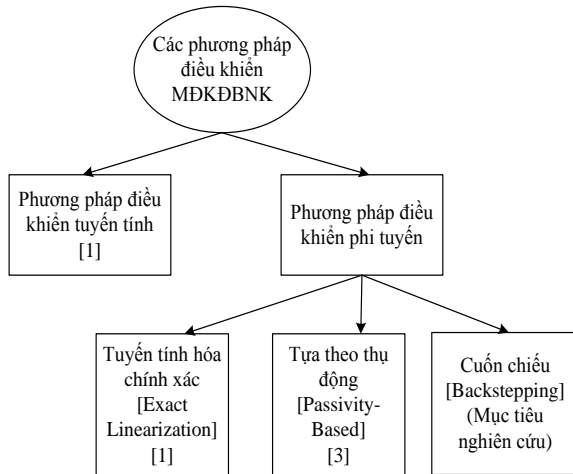
Hình 1. Khái quát cấu trúc hệ thống PĐSG sử dụng máy phát loại KĐB-RDQ

## 3. CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN - PHƯƠNG PHÁP BACK-STEPPING

### 3.1. Các phương pháp điều khiển máy phát điện không đồng bộ nguồn kép DFIG

Hiện nay đã có nhiều nghiên cứu đưa ra các phương pháp điều khiển hệ thống máy phát

điện sức gió sử dụng DFIG với các phương pháp điều khiển tuyến tính và phi tuyến đã được thể hiện như sơ đồ hình 2.



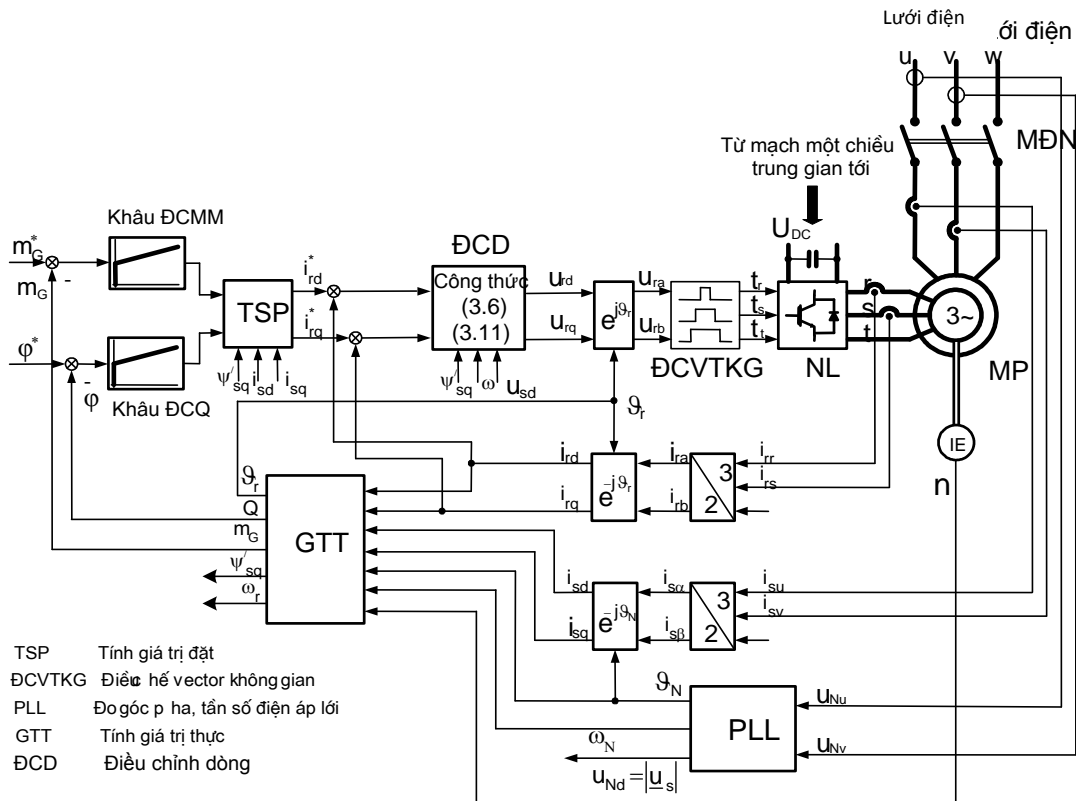
**Hình 2. Các phương pháp điều khiển máy phát máy điện không đồng bộ nguồn kép (DFIG)**

Từ những tồn tại của phương pháp điều khiển tuyến tính, giải pháp được đưa ra là sử dụng phương pháp tổng hợp phi tuyến trên cơ sở phương pháp Backstepping để tổng

hợp bộ điều khiển dòng cho hệ máy phát DFIG.

Theo [2] phương pháp Backstepping là phương pháp tổng hợp bộ điều khiển dựa trên lý thuyết ổn định Lyapunov, trong đó hàm điều khiển Lyapunov được xây dựng một cách dễ dàng nhờ kỹ thuật cuốn chiều (Backstepping). Với phương pháp này, bộ điều khiển dòng sẽ giải quyết được vấn đề:

- Không coi tốc độ máy phát và tần số góc mạch rotor, điện áp lưới, từ thông stator là hằng số trong một chu kỳ trích mẫu như phương pháp điều khiển tuyến tính.
- Thu được hai khâu điều chỉnh cho hai thành phần dòng rotor  $i_{rd}$  và  $i_{rq}$ , từ đó điều khiển cách ly hai quá trình tạo công suất hữu công  $P$  (điều khiển momen  $m_G$ ) và vô công  $Q$  (điều khiển hệ số công suất  $\cos\varphi$ ) để ổn định nhanh dao động của điện áp lưới theo yêu cầu của phụ tải.



**Hình 3. Cấu trúc điều chỉnh máy phát trong hệ thống phát điện chạy sức gió sử dụng máy điện không đồng bộ kiểu DFIG có sử dụng khâu điều chỉnh dòng theo phương pháp backstepping**

Do vậy sẽ nâng cao được chất lượng điều khiển của hệ thống tốt hơn so với phương pháp điều khiển tuyến tính thông thường.

Ta nhận thấy để nâng cao được chất lượng điều khiển của hệ thống máy phát điện sức gió DFIG, ta cần tập trung nâng cao chất lượng của bộ điều chỉnh dòng phía máy phát. Sơ đồ cấu trúc điều khiển phía máy phát trong đó khâu điều chỉnh dòng được thiết kế theo phương pháp phi tuyến Backstepping được chỉ ra ở hình 3 dựa trên sơ đồ cấu trúc điều khiển tổng quát phía máy phát đã được xây dựng trong [1, 3].

### 3.2. Áp dụng phương pháp Backstepping trong thiết kế điều khiển phía máy phát

Nội dung phần tổng hợp khâu điều chỉnh dòng sử dụng phương pháp Backstepping bao gồm các công việc chính sau:

- Tổng hợp các khâu điều chỉnh dòng Back-stepping phía máy phát. Gồm tổng hợp các khâu điều chỉnh thành phần  $i_{rd}$  và  $i_{rq}$  trên miền liên tục, sau đó số hóa bộ điều chỉnh dòng để có thể thực hiện việc cài đặt bộ điều chỉnh trên hệ thống xử lý tín hiệu số qua DSP. Qua bộ điều chỉnh dòng cơ bản ta sẽ thấy được bộ điều chỉnh đã thực hiện được việc tách kênh thông qua bù các thành phần liên kết ngang  $\omega_r i_{rd}$  và  $\omega_r i_{rq}$ , việc bù trực tiếp điện áp lưới (điện áp stator), bù từ thông stator, bù tốc độ rotor máy phát. Tuy nhiên do bộ điều chỉnh dòng chưa có thành phần tích phân nên sẽ tồn tại sai lệch tĩnh.
- Khắc phục sai lệch tĩnh: Do bộ điều chỉnh dòng Backstepping cơ bản chưa có thành phần tích phân nên để khử sai lệch tĩnh, ta đưa thêm thành phần tích phân vào trên cơ sở kỹ thuật back-stepping.

#### 3.2.1. Mô hình dòng rotor của DFIG

Theo [1] hệ phương trình mô tả mô hình dòng rotor của máy điện KĐBNK có dạng sau:

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

Đặt:

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s}\right); b = \frac{1-\sigma}{\sigma}; \\ c &= \frac{1}{\sigma L_r}; d = \frac{1-\sigma}{\sigma L_m}; e = \frac{1-\sigma}{\sigma T_s} \end{aligned}$$

Khi đó mô hình dòng rotor được viết dưới dạng gọn hơn như sau:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{di_{rd}}{dt} &= -ai_{rd} + \omega_r i_{rq} + e\psi'_{sd} - b\omega \psi'_{sq} + cu_{rd} - du_{rd} \\ \frac{di_{rq}}{dt} &= -\omega_r i_{rq} - ai_{rq} + b\omega \psi'_{sd} + e\psi'_{sq} + cu_{rq} - du_{rq} \end{aligned} \right. \quad \begin{aligned} (1a, b) \\ (2a, b) \end{aligned}$$

#### 3.2.2. Các biến điều khiển cách ly công suất hữu công $P$ và công suất vô công $Q$

Với DFIG độ lớn của mômen  $m_G$  do máy sinh ra đặc trưng cho độ lớn của công suất hữu công  $P$ . Việc điều chỉnh công suất hữu công  $P$  phải tiến hành độc lập với công suất vô công  $Q$  đã đặt trước cho thiết bị. Để giải quyết vấn đề này ta phải tìm các đại lượng có thể điều chỉnh trực tiếp ảnh hưởng của  $m_G$  và công suất  $Q$ .

##### a. Biến điều khiển công suất $P$

Theo [1,4] ta có:

$$m_G = -\frac{3}{2} z_p \frac{L_m}{L_s} \psi'_{sq} i_{rd} = -\frac{3}{2} z_p (1-\sigma) L_r \psi'_{sq} i_{rd}$$

$\psi'_{sq}$  là một đại lượng chỉ phụ thuộc vào điện áp lưới. Chính vì vậy  $i_{rd}$  giữ vai trò là đại lượng quyết định tạo mô men  $m_G$  và từ phía rotor ta chỉ có thể sử dụng  $i_{rd}$  để điều chỉnh mômen, tức là điều khiển công suất hữu công  $P$  của máy phát.

### b. Biến điều khiển công suất $Q$

Theo [1,4] ta có:

$$i_{rq} = \psi'_{sq} - \frac{L_s}{L_m} \sin \varphi |i_s|$$

Ta thấy dòng  $i_{rq}$  có quan hệ với  $\sin \varphi$  và tạo công suất vô công  $Q$ . Nói một cách khác,  $i_{rq}$  là biến điều khiển công suất vô công  $Q$ . Vậy nếu áp đặt nhanh và chính xác dòng  $i_{rq}$  thì đầu ra của khâu điều chỉnh  $\varphi$  có thể được sử dụng để cung cấp giá trị chủ đạo cho dòng  $i_{rq}$ .

Vậy để điều khiển cách ly tốt hai thành phần công suất  $P$  và  $Q$  chính là khâu điều chỉnh dòng, bảo đảm áp đặt nhanh, chính xác và không tương tác hai thành phần dòng  $i_{rd}$  và  $i_{rq}$ .

Áp dụng phương pháp tổng hợp Backstepping, ta thiết kế bộ điều chỉnh cho hai thành phần dòng  $i_{rd}$  và  $i_{rq}$ .

### 3.2.3. Tổng hợp bộ điều chỉnh dòng Back-stepping phía máy phát

#### a. Tổng hợp bộ điều chỉnh thành phần $i_{rd}$ trên miền liên tục

Chọn  $i_{rd}$  là biến điều khiển, giá trị mong muốn của nó  $i_{rd}^*$  được lấy từ khâu điều chỉnh mô men thông qua khâu tính toán giá trị đặt TSP.

Gọi sai lệch giữa  $i_{rd}$  và giá trị đặt  $i_{rd}^*$  là:

$$z_1 = i_{rd} - i_{rd}^*$$

Chọn hàm điều khiển Lyapunov [2] là:

$$v_1 = \frac{1}{2} z_1^2$$

Lấy đạo hàm theo thời gian, ta có:

$$\dot{v}_1 = z_1 \dot{z}_1 \quad (3)$$

Ta lại có:

$$\begin{aligned} \dot{z}_1 &= \frac{di_{rd}}{dt} - \frac{di_{rd}^*}{dt} \\ \dot{z}_1 &= -\left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s}\right) i_{rd} + \omega_r i_{rq} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\frac{1}{T_s} \psi'_{sd} - \omega \psi'_{sq}\right) \\ &\quad + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rd} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sd} - \frac{di_{rd}^*}{dt} \end{aligned} \quad (4)$$

Chọn biến điều khiển là  $\frac{1}{\sigma L_r} u_{rd}$ .

Để  $\dot{v}_1 = z_1 \dot{z}_1 < 0$ , thì giá trị của biến điều khiển là:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sigma L_r} u_{rd} &= \left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s}\right) i_{rd} - \omega_r i_{rq} - \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\frac{1}{T_s} \psi'_{sd} - \omega \psi'_{sq}\right) \\ &\quad + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sd} + \frac{di_{rd}^*}{dt} - k_1 z_1 \end{aligned} \quad (5)$$

(với  $k_1$  là hằng số dương).

Bộ điều khiển dòng  $i_{rd}$  (5) có thể được viết lại ở dạng gọn hơn như sau:

$$cu_{rd} = ai_{rd} - \omega_r i_{rq} - e\psi'_{sd} + b\omega \psi'_{sq} + du_{sd} + \frac{di_{rd}^*}{dt} - k_1 z_1 \quad (6)$$

#### b. Tổng hợp bộ điều chỉnh thành phần dòng $i_{rq}$ trên miền liên tục

Chọn  $i_{rq}$  là biến điều khiển, giá trị mong muốn của nó  $i_{rq}^*$  được lấy từ khâu điều chỉnh công suất vô công thông qua khâu tính toán giá trị đặt TSP.

Gọi sai lệch giữa  $i_{rq}$  và giá trị đặt  $i_{rq}^*$  là:

$$z_2 = i_{rq} - i_{rq}^*$$

Chọn hàm điều khiển Lyapunov là:

$$v_2 = \frac{1}{2} z_2^2$$

Lấy đạo hàm theo thời gian, ta có:

$$\dot{v}_2 = z_2 \dot{z}_2 \quad (7)$$

Ta lại có:

$$\dot{z}_2 = \frac{di_{rq}}{dt} - \frac{di_{rq}^*}{dt}$$

Mặt khác:

$$\begin{aligned} \frac{di_{rq}}{dt} = & -\omega_r i_{rd} - \left( \frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s} \right) i_{rq} \\ & + \frac{1-\sigma}{\sigma} \left( \omega \psi'_{sd} + \frac{1}{T_s} \psi'_{sq} \right) \\ & + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rq} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sq} \end{aligned} \quad (8)$$

Do đó:

$$\begin{aligned} \dot{z}_2 = & -\omega_r i_{rd} - \left( \frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s} \right) i_{rq} \\ & + \frac{1-\sigma}{\sigma} \left( \omega \psi'_{sd} + \frac{1}{T_s} \psi'_{sq} \right) \\ & + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rq} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sq} - \frac{di_{rq}^*}{dt} \end{aligned} \quad (9)$$

Chọn biến điều khiển là:  $\frac{1}{\sigma L_r} u_{rq}$

Để  $\dot{v}_2 = z_2 \dot{z}_2 < 0$ , thì giá trị của biến điều khiển là:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sigma L_r} u_{rq} = & \omega_r i_{rd} + \left( \frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s} \right) i_{rq} \\ & - \frac{1-\sigma}{\sigma} \left( \omega \psi'_{sd} + \frac{1}{T_s} \psi'_{sq} \right) \\ & + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} u_{sq} + \frac{di_{rq}^*}{dt} - k_2 z_2 \end{aligned} \quad (10)$$

(với  $k_2$  là hằng số dương).

Bộ điều khiển thành phần  $i_{rq}$  có thể được viết lại ở dạng ngắn gọn hơn như sau:

$$cu_{rq} = \omega_r i_{rd} + ai_{rq} - b\omega \psi'_{sd} - e\psi'_{sq} + du_{sq} + \frac{di_{rq}^*}{dt} - k_2 z_2 \quad (11)$$

### 3.2.4. Tính ổn định của hệ máy phát có bộ điều chỉnh dòng Backstepping

Với các bộ điều chỉnh dòng (6) và (11), thay chúng vào các phương trình (4) và (9), ta

được các phương trình mô tả mô hình dòng rotor của máy điện KĐB nguồn kép trên không gian các biến trạng thái mới  $z_1$  và  $z_2$  như sau:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = -k_1 z_1 \\ \dot{z}_2 = -k_2 z_2 \end{cases} \quad (12)$$

Có thể viết hệ (3.12) ở dạng sau :

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -k_1 & 0 \\ 0 & -k_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Hệ có điểm cân bằng:  $(z_1, z_2)^T = (0, 0)^T$ .

Chọn hàm điều khiển Lyapunov:

$$v = \frac{1}{2} z_1^2 + \frac{1}{2} z_2^2$$

Lấy đạo hàm của  $v$ , ta có:

$$\dot{v} = z_1 \dot{z}_1 + z_2 \dot{z}_2 = -k_1 z_1^2 - k_2 z_2^2 \leq 0$$

Vậy ta kết luận, hệ ổn định tại điểm cân bằng  $(z_1, z_2)^T = (0, 0)^T$ .

Bộ điều khiển đã thiết kế đảm bảo yêu cầu ổn định toàn cục (theo [2] - mục 3.2 - tr.162-163) và dòng  $i_{rd}$  tiến tới giá trị đặt  $i_{rd}^*$  ( $i_{rd} \rightarrow i_{rd}^*$ ), dòng  $i_{rq}$  tiến tới giá trị đặt  $i_{rq}^*$  ( $i_{rq} \rightarrow i_{rq}^*$ ).

## 4. KẾT LUẬN

Thiết kế bộ điều khiển để nâng cao khả năng làm việc ổn định của máy phát điện sức gió với lưới là một khâu rất quan trọng khi xây dựng hệ thống phát điện sức gió.

Nội dung thuật toán điều khiển phi tuyến hệ máy phát ứng dụng phương pháp Backstepping đã được tác giả trình bày ở trên. Từ mô hình toán học của máy phát chuyển sang hệ tọa độ dq và tổng hợp bộ điều chỉnh dòng Backstepping ta thu được hai khâu điều chỉnh cho hai thành phần dòng rotor  $i_{rd}$  (6) và  $i_{rq}$  (11), từ đó ta có thể điều khiển cách ly công suất hữu công  $P$  và công suất vô công  $Q$ , sơ đồ cấu trúc điều khiển ở hình 3 đã cho

thấy điều này. Do vậy sẽ nâng cao được chất lượng điều khiển của hệ thống tốt hơn so với phương pháp điều khiển tuyến tính thông thường. Tuy nhiên, do bộ điều chỉnh không có thành phần tích phân nên sẽ gây sai lệch tĩnh.

Trong các công bố tiếp theo, tác giả sẽ kiểm chứng chất lượng bộ điều chỉnh dòng Back-stepping như phân lý thuyết đã giới thiệu trong bài báo qua mô phỏng và khắc phục sai lệch tĩnh để tổng hợp bộ điều chỉnh dòng hoàn chỉnh.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Phùng Quang (1998), *"Máy điện dị bộ nguồn kép dùng làm máy phát trong hệ thống phát điện chạy sức gió: Các thuật toán điều chỉnh đảm bảo phân ly giữa mômen và hệ số công suất"*, Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Tự động hóa (3rd VICA), tr. 413 - 437.
- [2] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Hán Thành Trung (2003), *"Lý thuyết điều khiển phi tuyến"*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [3] Đặng Danh Hoàng, Nguyễn Phùng Quang (2010), *"Thiết kế bộ điều khiển dựa trên thụ động "Passivity- based" để điều khiển máy phát điện không đồng bộ nguồn kép"*, Tạp chí khoa học và công nghệ các trường đại học kỹ thuật, (76), tr.12-17.
- [4] Nguyễn Phùng Quang (2007), *"Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo bộ phát điện bằng sức gió có công suất 10-30 kW phù hợp với điều kiện Việt Nam"*, Đề tài cấp nhà nước, mã số KC.06.20CN.

---

Thông tin liên hệ: **Nguyễn Thị Thành**

Điện thoại: 0973517387 - Email: ntthanh.ddt@uneti.edu.vn

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

