

ĐIỀU KHIỂN PHI TUYẾN HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN CHẠY SỨC GIÓ SỬ DỤNG MÁY PHÁT KHÔNG ĐỒNG BỘ NGUỒN KÉP TRÊN CƠ SỞ HỆ THỤ ĐỘNG EULER - LAGRANGE VÀ HAMILTON

DẶNG DANH HOÀNG¹, NGUYỄN PHÙNG QUANG²

¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái nguyên

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt. Việc áp dụng phương pháp điều khiển mới để điều khiển máy phát điện không đồng bộ nguồn kép (DFIG) trong hệ thống máy phát điện sức gió nhằm đánh giá khả năng ứng dụng vào thực tiễn có một ý nghĩa hết sức quan trọng. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu vận dụng nguyên lý tựa theo thụ động (passivity - based) để thiết kế bộ điều khiển bằng phương pháp kết hợp tựa theo hệ thụ động Euler - Lagrange (EL) và luật Hamiltonian để điều khiển máy phát điện không đồng bộ nguồn kép. Bộ điều khiển mới khắc phục được sai lệch tĩnh của bộ điều khiển dòng khi chưa kết hợp với luật Hamiltonian. Ngoài ra với bộ điều khiển này hệ thống làm việc có chất lượng tốt ở các chế độ trên và dưới tốc độ đồng bộ của máy phát.

Abstract. Applying a novel control method to control Doubly-Fed Induction Generators (DFIG) in wind power systems for evaluating an applicability plays an important role in practice. In this paper, the passivity based-principle is applied to design a controller for DFIG, in which the Euler - Lagrange (EL) based-method and Hamiltonian rules are incorporated. The proposed controller overcomes static error of the current controller without Hamiltonian rules. The system can also offer excellent performances above and below synchronous speeds of the DFIG.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$R(x)$		Ma trận suy giảm
$J(x)$		Ma trận liên kết các khối trong cấu trúc hệ thống
$G(x)$		Ma trận biểu diễn quan hệ vào ra
L_r	H	Điện cảm của rotor
T_r, T_s	s	Hằng số thời gian rotor và stator
ω_r, ω	rad/s	Vận tốc góc rotor, vận tốc góc cơ học rotor
ψ_{sd}, ψ_{sq}	Wb = Vs	Thành phần d và q của từ thông stator
ψ_{rd}, ψ_{rq}	Wb = Vs	Thành phần d và q của từ thông rotor
σ		Hệ số tản tổng
L_m	H	Điện cảm hỗ cảm giữa stator và rotor

Chữ viết tắt

DFIG	Máy phát điện không đồng bộ nguồn kép
PDSG	Phát điện sức gió
EL	Euler - Lagrange
PBC	Điều khiển thụ động

1. MỞ ĐẦU

Ở nước ta, cũng như trên thế giới việc điều khiển máy phát điện không đồng bộ nguồn kép trong hệ thống máy phát điện sức gió (PDSG) đang là một vấn đề được quan tâm. Hiện nay đã có một số tác giả sử dụng các phương pháp điều khiển như tuyến tính hoá chính xác [6], backstepping [2] và đã có những kết quả nhất định. Bên cạnh đó tác giả cũng đã có một số công trình nghiên cứu [3, 4]. Bài báo này đưa ra phương pháp điều khiển passivity – based kết hợp hệ thụ động EL và luật Hamiltonain để điều khiển máy phát điện không đồng bộ nguồn kép nhằm mục tiêu:

- Đưa ra thuật toán điều khiển mới nhằm khử sai lệch tĩnh ([4] chưa đề cập đến).
- Điều khiển đảm bảo chất lượng làm việc của hệ thống ở tốc độ máy phát trên và dưới đồng bộ.

Thực tế khi làm việc thông số máy phát có thể bị thay đổi dẫn đến khi làm việc tồn tại sai lệch tĩnh. Vì vậy việc khắc phục sai lệch tĩnh là cần thiết. Bên cạnh đó trong quá trình làm việc máy phát điện sức gió phụ thuộc vào tốc độ gió tự nhiên nên thường xuyên bị thay đổi tốc độ. Do đó việc điều khiển đảm bảo chất lượng làm việc của hệ thống ở các tốc độ máy phát khác nhau là hết sức quan trọng. Trong nghiên cứu này sẽ tập trung vào việc giải quyết 2 vấn đề trên.

2. NỘI DUNG CHÍNH

2.1. Cơ sở lý luận phương pháp điều khiển tựa theo thụ động

2.1.1. Hệ thụ động EL

Hệ Euler - Lagrange thụ động là hệ mà động học của chúng được mô tả bởi các phương trình Euler-Lagrange (EL) và bản thân hệ thống không tự sinh ra năng lượng. Như vậy khi nhắc đến hệ Euler-Lagrange ta hiểu rằng đó là hệ có bản chất thụ động.

Điều khiển tựa theo thụ động (Passivity Based Control - PBC) là thuật toán điều khiển mà nguyên lý của nó dựa trên đặc điểm thụ động của đối tượng (hệ hở) với mục tiêu làm cho hệ kín cũng là một hệ thụ động với hàm lưu giữ năng lượng mong muốn.

Xét một hệ động học có n bậc tự do, động học của hệ có thể được mô tả bởi phương trình Euler - Lagrange có dạng sau [11]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{x}}}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) \right) - \frac{\partial L}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = \mathbf{Q}, \quad (2.1)$$

trong đó:

- $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ và $\dot{\mathbf{x}}$ là vector trạng thái và đạo hàm vector trạng thái của hệ thống,
- $L(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ được gọi là hàm Lagrangian,

•

$$Q = -\frac{\partial F}{\partial \dot{\mathbf{x}}}(\dot{\mathbf{x}}) + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u} + Q_n \quad (2.2)$$

là vector lực tác động lên hệ thống.

với: $F(\dot{\mathbf{x}})$ được gọi là hàm tiêu thụ Rayleigh, và thoả mãn:

$$\dot{\mathbf{x}}^T \frac{\partial F}{\partial \dot{\mathbf{x}}}(\dot{\mathbf{x}}) \geq 0. \quad (2.3)$$

- Lực tác động điều khiển $\mathbf{B} \cdot \mathbf{u} \in \mathbb{R}^n$ với $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^n$ là vector điều khiển và $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n \times n_u}$ là ma trận hằng,
- Tác động do nhiễu Q_n .

Xét một hệ được ký hiệu là Σ có hàm tổng lưu giữ năng lượng $H(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$, vector điều khiển đầu vào, đầu ra u, y và coi như hệ không chịu tác động của nhiễu. Như vậy tốc độ cung cấp năng lượng cho hệ sẽ là $y^T u$. Hệ trên được gọi là thụ động nếu:

$$\underbrace{\int_0^T y^T u dt}_{\text{năng lượng cap}} \geq \underbrace{H(x(T), \dot{x}(T)) - H(x(0), \dot{x}(0))}_{\text{năng lượng lưu giữ}}$$

Thật vậy từ (2.1), (2.2), (2.3) sau khi biến đổi ta được:

$$\underbrace{H[T] - H[0]}_{NL \text{ lưu giữ}} + \underbrace{\int_0^T \dot{\mathbf{x}}^T \frac{\partial F(\dot{\mathbf{x}})}{\partial \dot{\mathbf{x}}} dt}_{NL \text{ tiêu hao}} = \underbrace{\int_0^T \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{B} \mathbf{u} dt}_{NL \text{ cung cấp}} \quad (2.4)$$

Do điều kiện (2.3), nên $H[T] - H[0] \leq \int_0^T y^T \mathbf{B} \mathbf{u} dt$; ($y = \dot{x}$) suy ra hệ EL là hệ thụ động, và một tính chất đặc biệt [5, 11] khi phân tích hệ EL thành các hệ EL con cũng như hệ kín (có bộ điều khiển) đều thoả mãn là thụ động. Đây là một trong những đặc điểm quan trọng khi thiết kế bộ điều khiển theo phương pháp PBC.

Từ phương trình (2.4) ta có một số nhận xét sau:

- Nếu $\mathbf{u} = 0$ thì năng lượng của hệ không tăng, vì vậy hệ sẽ ổn định tại trạng thái cân bằng "tầm thường".
- Hệ sẽ vẫn ổn định nếu như đầu ra $B\dot{x}^T$ bằng không, trong hệ tuyến tính thì hệ thống được gọi là pha cực tiểu (minimum phase), tức là hệ ổn định Lyapunov.
- Ta thấy rằng tín hiệu suy giảm có thể được phun vào một cách dễ dàng qua các trạng thái, được tác động trực tiếp bởi tín hiệu điều khiển nếu như các trạng thái đó có thể đo được.

2.1.2. Hệ Hamiltonian

Các hệ thống điều khiển theo hệ Hamiltonian viết dưới dạng tường minh [1]

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{J}(\mathbf{x}) - \mathbf{R}(\mathbf{x}))\partial_{\mathbf{x}}H(\mathbf{x}) + \mathbf{G}(\mathbf{x})\mathbf{u} \\ \mathbf{y} = \mathbf{G}^T(\mathbf{x})\partial_{\mathbf{x}}H(\mathbf{x}) \end{cases} \quad (2.5)$$

trong đó:

- \mathbf{x} - là vecter trạng thái
- \mathbf{u}, \mathbf{y} - là các biến vào, ra
- $H(\mathbf{x})$ - là hàm Hamiltonian (thường được để biểu diễn hàm năng lượng của hệ thống)
- $\partial_{\mathbf{x}}$ - là phép lấy gradient theo \mathbf{x} (do người thiết kế)

Mệnh đề.

- 1.1) Hàm $H(\mathbf{x})$ được giới hạn bởi:
 $H(\mathbf{x}) > c$ khi \mathbf{x}^* là nhỏ nhất.
- 1.2) Ma trận $\mathbf{J}(\mathbf{x}) = -\mathbf{J}^T(\mathbf{x})$.
- 1.3) $\mathbf{R}(\mathbf{x}) = \mathbf{R}^T(\mathbf{x}) \geq 0$.

Chứng minh.

Lấy đạo hàm hàm Hamiltonian ta được:

$$\dot{H}(x) = (\partial H)^T \dot{x} = (\partial H)^T (\mathbf{J}(x) - \mathbf{R}(x))\partial H + (\partial H)^T \mathbf{G}(x)\mathbf{u}$$

Từ mệnh đề (1.2) ta được :

$$\dot{H}(x) = -(\partial H)^T \mathbf{R}(x)\partial H + \mathbf{y}^T \mathbf{u}$$

Mặt khác từ mệnh đề (1.3) và xét khi $\mathbf{u} = 0$:

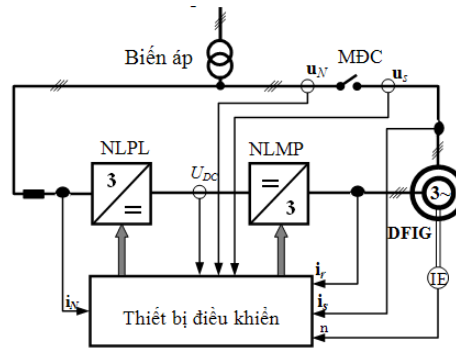
$$\dot{H}(x) \leq 0$$

Từ kết quả trên và mệnh đề (1.2), ta thấy hàm Hamiltonian thỏa mãn là hàm Lyapunov. Như vậy với việc tính hàm Hamiltonian, ta có thể rút ra được các công việc thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống sau này.

2.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển

Theo [2, 4, 6], hệ thống gồm 2 phần điều khiển cơ bản như Hình 2.1.

- Điều khiển phía máy phát sử dụng máy điện không đồng bộ nguồn kép (Doubly -fed induction machines - DFIG).



Hình 2.1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống máy phát điện sử dụng DFIG

- Điều khiển phía lưới.

NLPL: Nghịch lưu phía lưới,
 NLMP: Nghịch lưu phía máy phát,
 MDC: Máy đóng cắt,
 IE: Thiết bị đo tốc độ bằng khắc vạch xung.

2.3. Áp dụng phương pháp kết hợp hệ thụ động EL và Hamiltonian để thiết kế bộ điều khiển

2.3.1. Thiết kế bộ điều khiển dòng điện rôto phía máy phát

Thực hiện theo 2 bước:

- Thiết kế bộ điều khiển tựa theo hệ thụ động EL.
 - Kết hợp với luật điều khiển theo hàm Hamiltonian để xây dựng bộ điều khiển mới trên cơ sở của bộ điều khiển EL.
- *Bước 1:*

Để áp dụng phương pháp ta tách hệ thống phía rotor máy phát điện thành hai phần động học phần điện (hàm năng lượng \mathbf{H}_e) và động học phần cơ (hàm năng lượng \mathbf{H}_m) - Hình 2.2. Sau đó áp dụng các phương trình động học đó vào phương trình EL, để hệ trở thành thụ động [11]:

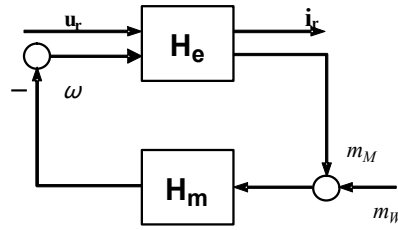
Từ Hình 2.2 ta xây dựng sơ đồ nguyên lý cấu trúc điều khiển theo phương pháp tựa theo thụ động như Hình 2.3. Ta có thể cụ thể hóa bằng hình 2.4

Áp dụng phương pháp thiết kế là đưa bộ điều khiển vào hệ động học phần điện với tương tác của hệ động học phần cơ, sao cho hệ kín thỏa mãn là thụ động theo phương trình EL, ta được:

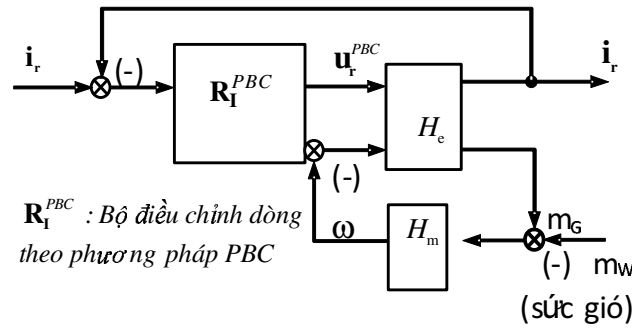
$$\mathbf{u}_r^{PBC} = \mathbf{u}_r^* - D(\omega)(\mathbf{i}_r - \mathbf{i}_r^*). \quad (2.6)$$

với

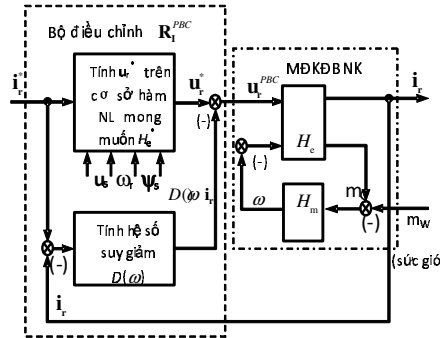
$$D(\omega) = \frac{L_m^2}{4\varepsilon}\omega^2 + d, 0 < \varepsilon < R_r, d \geq 0. \quad (2.7)$$



Hình 2.2. Phân tích DFIG thành động học phần điện và phần cơ



Hình 2.3. Sơ đồ nguyên lý cấu trúc điều khiển theo phương pháp PBC



Hình 2.4. Cấu trúc bộ điều chỉnh véc tơ dòng PBC bao gồm 2 khối chức năng

Như trong [3, 4] hệ phương trình mô tả mô hình dòng rotor của (DFIG) sau khi được tách ra trên hệ trục tọa độ dq như sau:

$$\begin{cases} \frac{di_{rd}}{dt} = -\frac{1}{\sigma} \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rd} + \omega_r i_{rq} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \cdot \frac{1}{T_s} \psi'_{sd} \\ -\frac{1-\sigma}{\sigma} \cdot \omega \psi'_{sq} + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rd} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \cdot u_{sd} \\ \frac{di_{rq}}{dt} = -\frac{1}{\sigma} \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rq} - \omega_r i_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \frac{1}{T_s} \psi'_{sq} \\ + \frac{1-\sigma}{\sigma} \omega \psi'_{sd} + \frac{1}{\sigma L_r} u_{rq} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \cdot u_{sq} \end{cases} \quad (2.8)$$

Để đặt bài toán điều khiển ta đặt biến i_r là biến điều khiển, với giá trị mong muốn là i_r^* được lấy từ bộ điều chỉnh mô men m_G và công suất Q .

Bộ điều khiển tựa theo thụ động (PBC) được xây dựng theo nguyên tắc cần phải đưa vào tín hiệu điều khiển một tín hiệu suy giảm dạng $D(\omega).ir$ và $D(\omega)$ gọi là hệ số suy giảm, được xác định theo (2.6).

Tín hiệu điều khiển được xác định:

$$\begin{aligned} u_{rd}^{PBC} &= u_{rd}^* + D(\omega).(i_{rd} - i_{rd}^*), \\ u_{rq}^{PBC} &= u_{rq}^* + D(\omega).(i_{rq} - i_{rq}^*), \end{aligned} \quad (2.9)$$

trong đó:

- $u_{rd}^{PBC}; u_{rq}^{PBC}$ là điện áp do bộ điều khiển PBC tạo ra (theo d và q).
- $u_{rd}^*; u_{rq}^*$: điện áp rotor mong muốn của máy phát (theo d và q) được xác định theo (2.8).

Với phương pháp trên ta được bộ điều khiển dòng điện rotor theo 2 thành phần:

$$\begin{aligned} u_{rd}^{PBC} &= \sigma L_r \frac{di_{rd}^*}{dt} + L_r \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rd}^* \\ &\quad - \sigma L_r \omega_r i_{rq}^* - L_r \cdot \frac{1-\sigma}{T_s} (\psi_{sd}^* - \omega T_s \psi_{sq}^*) \\ &\quad + L_r \frac{1-\sigma}{L_m} \cdot u_{sd}^* - D(\omega).(i_{rd} - i_{rd}^*), \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} u_{rq}^{PBC} &= \sigma L_r \frac{di_{rq}^*}{dt} + L_r \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rq}^* \\ &\quad + \sigma L_r \omega_r i_{rd}^* - L_r \frac{1-\sigma}{T_s} (\psi_{sq}^* + \omega T_s \psi_{sd}^*) \\ &\quad + L_r \frac{1-\sigma}{L_m} \cdot u_{sq}^* - D(\omega).(i_{rq} - i_{rq}^*) \quad . \end{aligned} \quad (2.11)$$

• *Bước 2:*

Sau khi có được bộ điều khiển (2.10) và (2.11) tựa theo hệ thụ động EL. Ta tiếp tục thiết kế bộ điều khiển được tựa theo luật Hamiltonian:

$$\underbrace{\int_0^t \mathbf{u}^T(\tau) \mathbf{y}(\tau) d\tau}_{\text{Năng lượng đưa tu bên ngoài}} = \underbrace{H(x(t)) - H(x(0))}_{\text{Năng lượng du tru}} + \underbrace{d(t)}_{\text{Năng lượng tiêu thụ}} \quad .$$

Theo [1], để hệ kín là thụ động, ta chọn luật điều khiển là thêm vào bộ điều chỉnh khâu tích phân:

$$u_{r(H)}^{PBC} = u_r^{PBC} - K_I \int (i_r - i_r^*) dt. \quad (2.12)$$

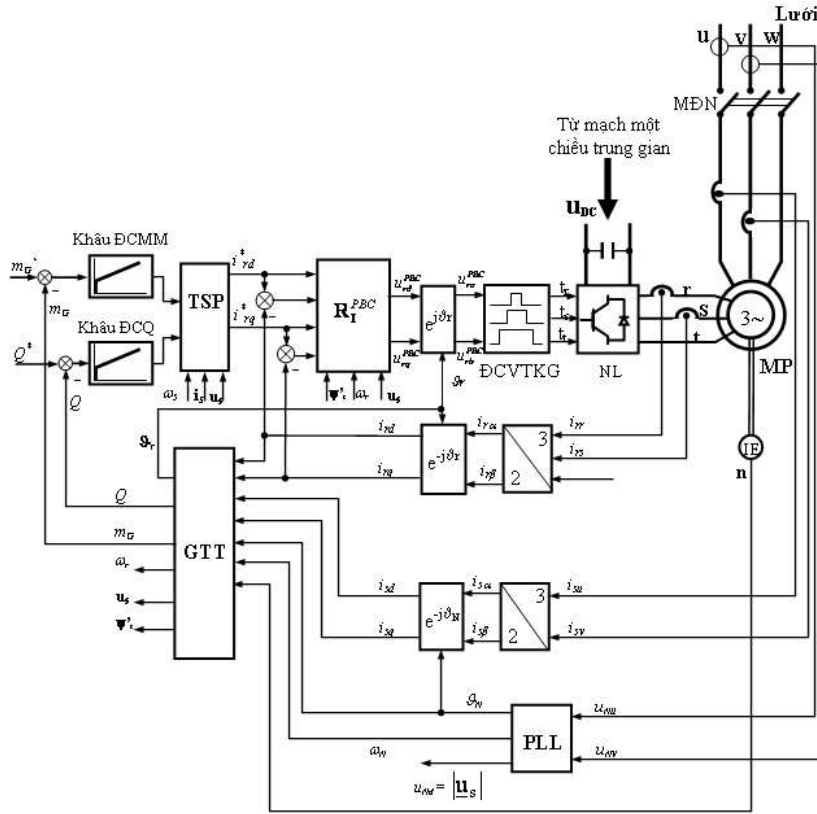
với $K_I > 0$.

Thay (2.12) vào (2.10) và (2.11) ta được:

$$\begin{aligned} u_{rd(H)}^{PBC} &= L_r \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rd}^* + \sigma L_r \frac{di_{rd}^*}{dt} \\ &\quad - \sigma L_r \omega_r i_{rq}^* - L_r \cdot \frac{1-\sigma}{T_s} (\psi_{sd}^* - \omega T_s \psi_{sq}^*) \\ &\quad + L_r \frac{1-\sigma}{L_m} \cdot u_{sd}^* - D(\omega)(i_{rd} - i_{rd}^*) - K_I \int (i_{rd} - i_{rd}^*) dt, \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned}
u_{rq(H)}^{PBC} &= L_r \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1-\sigma}{T_s} \right) i_{rq}^* + \sigma L_r \frac{di_{rq}^*}{dt} \\
&+ \sigma L_r \omega_r i_{rd}^* - L_r \frac{1-\sigma}{T_s} (\psi_{sq}^* + \omega T_s \psi_{sd}^*) \\
&+ L_r \frac{1-\sigma}{L_m} u_{sq}^* - D(\omega) (i_{rq} - i_{rq}^*) - K_I \int (i_{rq} - i_{rq}^*) dt.
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Từ các bộ điều chỉnh dòng dựa trên thụ động ta thấy nó đã đảm bảo tách kênh nhờ bù liên kết ngang bởi 2 thành phần $\omega_r \cdot i_{rd}^*$ và $\omega_r \cdot i_{rq}^*$ và bù được các thông số khác như điện áp lưới, từ thông stator, tốc độ của rotor và có thành phần tích phân để khử sai lệch tĩnh. Từ (2.13), (2.14) và 2.4, ta cụ thể hóa bằng cấu trúc điều khiển tổng thể phía máy phát như hình 2.5.



Hình 2.5. Hệ thống điều khiển máy phát (DFIG) trong hệ thống PDSG sử dụng bộ điều khiển Passivity-Based

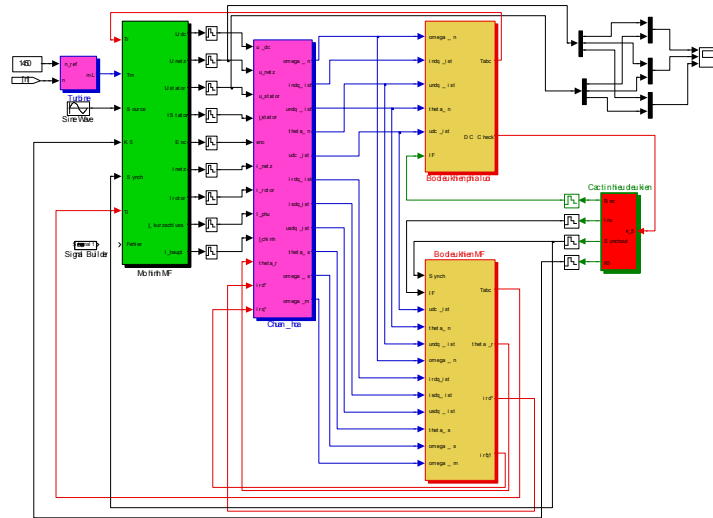
2.3.2. Thiết kế bộ điều khiển phía lưới

Do yêu cầu của phía lưới chỉ là điều khiển ổn định điện áp một chiều U_{DC} cung cấp cho mạch một chiều trung gian. Vì vậy trong nội dung bài báo này cũng chọn phương pháp thiết kế tuyến tính đơn giản đó là phương pháp tuyến tính Dead – Beat thông thường [2, 3, 7].

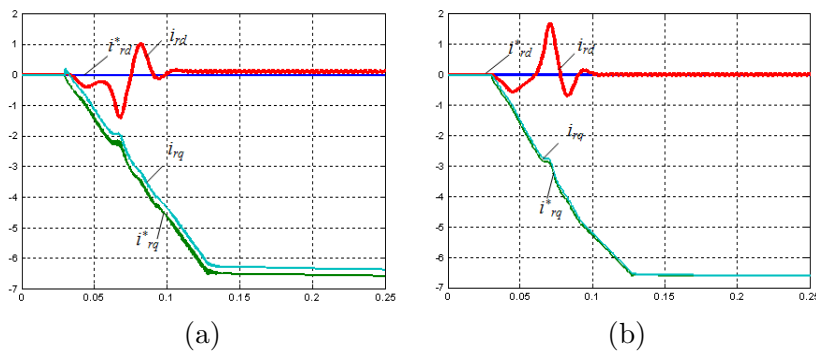
2.3.3. Sơ đồ và kết quả mô phỏng bằng Matlab – Simulink – Plecs

Mô phỏng với máy phát có thông số:

$P_{đm} = 4 \text{ KW}$	$U_{đm} = 366 \text{ V}$	$R_r = 1,32 \Omega$
$U_{đm} = 230/400(\Delta/Y)$	$n_{đm} = 1450 \text{ V/p}$	$L\sigma_s = 0,066\text{H}$
$f_{đm} = 50 \text{ Hz}$	$R_s = 1,07 \Omega$	$L\sigma_s = 0,0098\text{H}$
$z_p = 2$	$\cos\varphi_{đm} = 0,85$	$L_m = 0,1601\text{H}$
$J = 0,032\text{Kgm}^2$		

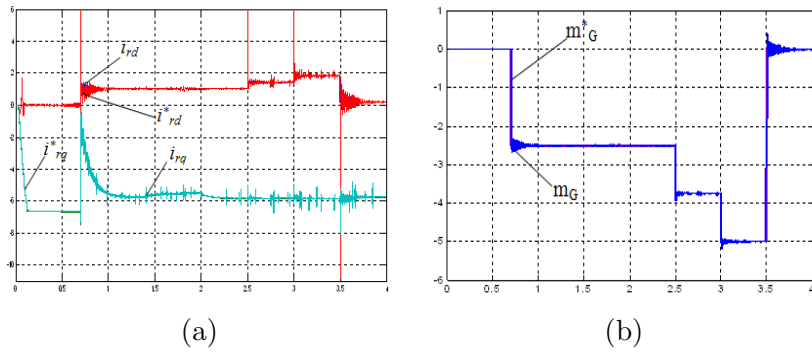


Hình 2.6. Sơ đồ mô phỏng hệ thống máy phát điện sức gió sử dụng DFIG

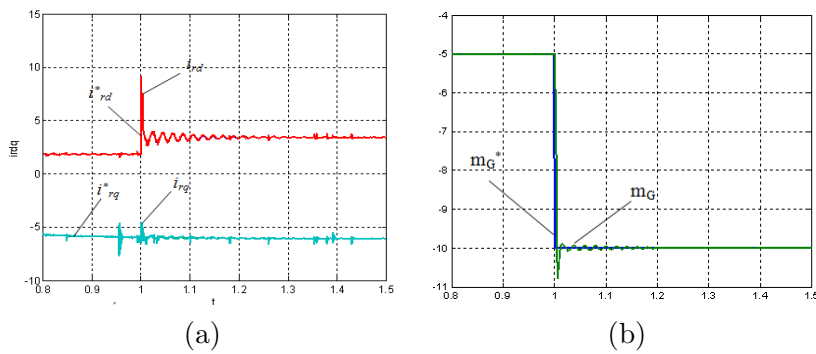


Hình 2.7. Đáp ứng dòng điện i_{rd} và i_{rq} theo giá trị đặt với bộ điều khiển tựa theo hệ thụ động EL (a) và với bộ điều khiển tựa theo hệ thụ động EL và Hamiltonian (b).

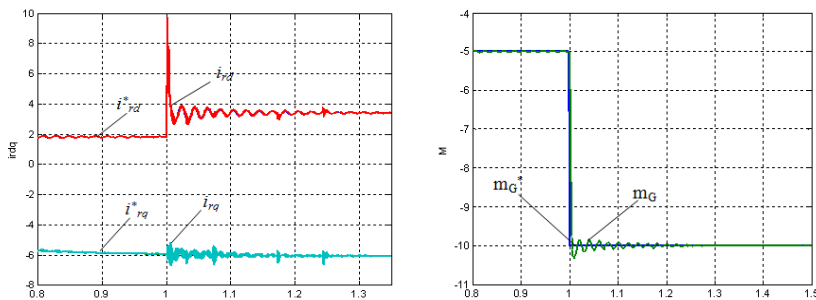
Kết quả mô phỏng làm việc của hệ thống ở tốc độ định mức (dưới đồng bộ $n = 1450\text{v/ph}$) như Hình 2.8. Kết quả mô phỏng ở tốc độ dưới đồng bộ ($n = 1350 \text{ v/ph}$); công suất phát (mô men có bước nhảy từ $M = -5\text{Nm}$ lên $M = -10\text{Nm}$, công suất vô công $Q = 500\text{Var}$) như Hình 2.9. Kết quả mô phỏng ở tốc độ trên đồng bộ ($n = 1650 \text{ v/ph}$); công suất phát (mô men có bước nhảy từ $M = -5\text{Nm}$ lên $M = -10\text{Nm}$, công suất vô công $Q = 500\text{Var}$) như Hình 2.10.



Hình 2.8. Đáp ứng dòng i_{rd} và i_{rq} theo i_{rd}^* và i_{rq}^* khi công suất đặt thay đổi.



Hình 2.9. Kết quả mô phỏng dòng i_{rd} và i_{rq} theo giá trị đặt (a) và kết quả mô phỏng mômen theo giá trị đặt (b).



Hình 2.10. Kết quả mô phỏng dòng i_{rd} và i_{rq} theo giá trị đặt (a) và kết quả mô phỏng mômen theo giá trị đặt (b).

3. KẾT LUẬN

- Bài báo đã đưa ra được thuật toán điều khiển mới bổ sung cho [4].
- Kết quả mô phỏng cho thấy tính đúng đắn của thuật toán như: Bộ điều khiển có khả năng

khử được sai lệch tĩnh, điều chỉnh được các dòng điện thành phần i_{rd}, i_{rq} bám theo giá trị đặt i_{rd}^*, i_{rq}^* (Hình 2.7) và đảm bảo chất lượng ở các chế độ làm việc trên và dưới tốc độ đồng bộ (Hình 2.8, 2.9, 2.10). Như vậy với kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống điều khiển đã giải quyết được các vấn đề nghiên cứu đặt ra.

- Nghiên cứu này mở ra một phương pháp thiết kế phi tuyến mới để điều khiển quá trình làm việc của máy phát điện không đồng bộ nguồn kép trong hệ thống máy phát điện sức gió, từ đó là cơ sở để ứng dụng vào thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Arnau D'oria-Cerezo, "Modeling, simulation and control of a doubly-fed induction machine controlled by a back-to-back converter", PhD Thesis (2006).
- [2] Cao Xuân Tuyền, "Tổng hợp các thuật toán phi tuyến trên cơ sở phương pháp backstepping để điều khiển máy điện dị bộ nguồn kép trong hệ thống máy phát điện sức gió", Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà nội (2008).
- [3] Đặng Danh Hoàng, Hoà đồng bộ máy phát điện lên lưới bằng phương pháp điều khiển passivity-based, *Tạp chí Khoa học Công nghệ*, Đại học Thái nguyên, (2010).
- [4] Đặng Danh Hoàng, Nguyễn Phùng Quang, 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 Công nghệ các trường đại học kỹ thuật* (76) (2010).
- [5] Levent U. godere, Marwan A. Simaan, Charles W. Brice, Passivity – based control of saturated Induction Motors, *IEEE* (1997).
- [6] Lan, Ph. Ng, "Linear and nonlinear control approach of doubly - fed induction generator in wind power generation", P.h.D thesis, TU-Dresden (2006).
- [7] Ng. Ph. Quang, Andreas Dittrich, *Truyền động điện thông minh*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
- [8] Ng. Ph. Quang, *Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2004.
- [9] Ng. Ph. Quang, *Điều khiển tự động truyền động điện xoay chiều ba pha*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 1996.
- [10] N. D. Phước, P. X. Minh, H. T. Trung, *Lý thuyết điều khiển phi tuyến*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2003.
- [11] R. Ortega, A. Loria, P. J. Nicklasson, H. Sira-Ramírez, *Passivity-based Control of Euler Lagrange Systems: Mechanical, Electrical and Electromechanical Applications*, Springer-Verlay, London-Berlin-Heidelberg (1998).

Nhận bài ngày 20 - 12 - 2011