

# CẢI TIẾN PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ NGUỒN KÉP KHI ĐIỆN ÁP MẤT ĐỐI XỨNG

## MODIFIED CONTROL FOR DOUBLY FED INDUCTION GENERATORS UNDER UNBALANCED VOLTAGE

Nguyễn Thanh Hải<sup>1</sup>, Võ Viết Cường<sup>2</sup>

<sup>1</sup>THPT Chuyên Lê Hồng Phong Tp.HCM; hai\_nguyenthanh2012@yahoo.com.vn

<sup>2</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM; cuongvv@hcmute.edu.vn

**Tóm tắt** - Bài viết này trình bày sự cải tiến của phương pháp điều khiển định hướng từ thông stator (SFOC) của máy điện không đồng bộ nguồn kép (DFIG) khi trong lưới điện mất đối xứng, sóng hài của dòng điện cũng được cải tiến để giảm dao động sóng hài. Thay thế bộ điều khiển PI thông thường thành bộ điều khiển PI mờ (PI+F) để có được giá trị lệnh của dòng rotor; bộ lọc Notch và bộ điều khiển thành phần thứ tự thuận nghịch (SCC) cũng được sử dụng để loại bỏ thành sóng hài bậc hai. Những cải tiến được áp dụng khi điều khiển với vận tốc gió thay đổi. Turbine, máy phát điện và bộ điều khiển được mô tả trên phần mềm Matlab/Simulink. Kết quả mô phỏng cho thấy sự cải thiện đáng kể của các đại lượng điều khiển công suất tác dụng (P), công suất phản kháng (Q) và sự ổn định moment trong điều khiển DFIG.

**Từ khóa** - DFIG; lưới mất đối xứng; PI Antiwup; SFOC; fuzzy.

**Abstract** - This paper presents modified Stator Fed Oriented Control (SFOC) for Doubly Fed Induction Generator (DFIG) in wind turbines to reduce torque pulsation during unbalanced voltage; current waveforms are also improved with the decrease in harmonics. The proposed schemes apply multiple Proportional Integral (PI) controllers with Fuzzy logic (F) to obtain commanded rotor currents; Notch filters and Sequence Component Controller (SCC) are also used to eliminate the second order harmonic components. The modifications are applied to rotor side converter for active and reactive power controls of wind turbine. The turbine, generator and control units are also described. The investigation is based on MATLAB/SIMULINK. Simulation results show improved stability of active and reactive powers delivered by DFIG.

**Key words** - DFIG; grid unbalance; PI Antiwup; SFOC; fuzzy.

### 1. Đặt vấn đề

Việt Nam là quốc gia có tiềm năng gió rất lớn, tiềm năng gió VN tốt hơn rất nhiều so với các nước trong khu vực như Lào, Campuchia và Thái Lan cả về chất lượng và số lượng. Việc tận dụng nguồn năng lượng này để sản xuất điện là rất cần thiết trong bối cảnh thiếu hụt năng lượng và tài nguyên khoáng sản bị cạn kiệt. Khoa học kỹ thuật hiện đại cho chúng ta những phương pháp điều khiển rất hữu hiệu và chính xác cao. Về mặt thiết bị, turbine gió cũng được cải tiến rất nhiều, tiêu biểu là máy phát điện gió không đồng bộ nguồn kép (Doubly Fed Induction Generator-DFIG) là một bước phát triển lớn [1]. Về mặt điều khiển, DFIG thường được điều khiển trên nền hai phương pháp chính: Điều khiển dựa trên định hướng từ thông (Flux Oriented Control-FOC) và Điều khiển trực tiếp Công suất (Direct Power Control-DPC) [2, 3]. Trong đó, FOC có các ưu điểm vượt trội như số lần đóng ngắt trực tiếp khi điều khiển được giảm đi rất nhiều so với DPC, giảm đáng kể thiết bị đo lường cảm biến trực tiếp, linh kiện điện tử trong bộ chuyển đổi (back-to-back) đơn giản. Để thuận tiện trong điều khiển và vận hành, điều khiển công suất tác dụng (P) và công suất phản kháng (Q) độc lập trên nền SFOC (Stator Flux Oriented Control) đang được ứng dụng rất nhiều trong điều khiển máy điện gió DFIG [4].

Các công trình nghiên cứu khoa học về phương pháp SFOC rất nhiều. Tuy nhiên, điều khiển SFOC với bộ chỉnh PI+F, bộ lọc Notch và bộ khử sóng hài bậc hai của dòng điện rotor (Sequence Component Controller - SCC) khi nguồn mất đối xứng là một vấn đề đang được quan tâm [5, 6]. Khi nguồn mất đối xứng, các thành phần thứ tự xuất hiện gồm thứ tự thuận, nghịch và không. Trong đó thành phần thứ tự nghịch là tác nhân chính gây ra hiện tượng nhiễu tín hiệu trong điều khiển. Các thành phần sóng hài

bậc 2 tác động làm dòng điện, điện áp biến dạng và ảnh hưởng đến các đại lượng điều khiển P, Q [7, 8]. Các tác động đó làm moment không ổn định, ảnh hưởng trực tiếp lên các bộ phận cơ khí, làm gây ồn và hư hại lớn cho turbine gió [9, 10]. Ngoài ra, khi nguồn không đối xứng còn tác động đến các turbine gió khác trong nông trại gió do các turbine được kết nối với nhau. Vì vậy, điều khiển độc lập P, Q trong DFIG khi nguồn mất đối xứng với PI-F và bộ SCC là trọng tâm của bài báo này.

### 2. Phương trình toán học turbine gió

Mô hình toán học của turbine gió với các thông số quan trọng của turbine gió như moment cơ, công suất cơ được thể hiện ở các phương trình toán học.

Công suất cơ đầu cực là:

$$P_{turb} = \frac{1}{2} \rho A v_w^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

Với:  $\rho = 31,22 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ ;

$$A = R^2 \pi \text{ (m}^2\text{)}$$

$R(m)$ : Bán kính cánh quạt gió;

$v_w \text{ (m/s)}$ : Tốc độ gió trên một vùng diện tích A;

$C_p(\lambda, \beta)$ : Hiệu suất của cánh quạt turbine.

### 3. Mô hình điều khiển DFIG

#### 3.1. Sơ đồ cấu trúc điều khiển DFIG-SFOC

Cấu trúc sơ đồ điều khiển DFIG-SFOC được thể hiện ở Hình 1, 2 và 3. Hình 2, điều khiển P, Q độc lập với phương pháp SFOC với bộ điều chỉnh PI+F cải thiện rất nhiều bộ điều chỉnh PI [12]. Tuy nhiên, khi nguồn mất đối xứng tác động của thành phần sóng hài bậc hai và thành phần thứ tự nghịch rất lớn làm ảnh hưởng trực tiếp đến

các đại lượng điều khiển. Khử thành phần thứ tự nghịch là cần thiết. Với Hình 3, bộ lọc Notch làm nhiệm vụ trực tiếp khử thành phần  $2\omega_s$  từ đại lượng điện áp stator  $V_{dqs}$ , dòng điện rotor  $I_{dqr}$  và bộ khử thành phần thứ tự nghịch của dòng điện rotor  $I_{dqr}^-$  đại lượng trực tiếp ảnh hưởng khi nguồn mất đối xứng. Vì vậy, kết quả điều khiển được cải thiện tính ổn định rất nhiều.

Hình 4 biểu diễn đồ thị chuyển đổi trực từ hệ trục tọa độ  $(abc)$  sang  $(\alpha\beta)$  và  $(dq)$ . Ở đây thể hiện rõ thành phần thứ tự thuận nghịch khi nguồn mất đối xứng  $(dq)^+$  là thành phần thứ tự thuận với tần số góc  $\omega_s$ ,  $(dq)^-$  là thành phần thứ tự nghịch với tần số góc  $-\omega_s$ .

Từ Hình 4 ta có thể chuyển đổi các đại lượng từ trục tọa độ  $(abc)$  sang  $(\alpha,\beta)_s$ ,  $(\alpha,\beta)_r$  và  $dq^+$ ,  $dq^-$  theo công thức (2), (3), (4). Công thức (5) thành phần thứ tự thuận nghịch sau khi điều chỉnh thành dòng thứ tự thuận và đưa vào tính toán (6). Công suất tác dụng và phản kháng của stator được tính toán công thức (7), (8).

$$I_{dq}^+ = I_{(\alpha\beta)_s} e^{-j\omega_s t} \quad I_{dq}^- = I_{(\alpha\beta)_s} e^{j\omega_s t} \quad (2)$$

$$I_{dq}^+ = I_{(\alpha\beta)_s} e^{-j2\omega_s t} \quad I_{dq}^- = I_{(\alpha\beta)_s} e^{j2\omega_s t} \quad (3)$$

$$I_{(dq)r}^+ = I_{(\alpha\beta)_r} e^{-j2\omega_{slip} t} \quad I_{(dq)r}^- = I_{(\alpha\beta)_r} e^{-j2\omega_{slip} t} \quad (4)$$

$$I_{(dq)r}^+ = I_{(dq)r}^{+} + I_{(dq)r}^{-} = I_{(dq)r}^{+} + I_{(dq)r}^{-} e^{-j2\omega_{slip} t} \quad (5)$$

Điện áp stator thứ tự thuận được tính như sau:

$$V_{sdq}^+ = R_s I_{sdq}^+ + \frac{d\psi_{sdq}^+}{dt} + j\omega_s \psi_{sdq}^+ \quad (6)$$

Công suất stator khi nguồn mất đối xứng được tính theo [7]

$$P_s = P_{s0} + P_{s\_sin2} \sin(2\omega_s t) + P_{s\_cos2} \cos(2\omega_s t) \quad (7)$$

$$Q_s = Q_{s0} + Q_{s\_sin2} \sin(2\omega_s t) + Q_{s\_cos2} \cos(2\omega_s t) \quad (8)$$

$$\text{Với } \begin{bmatrix} P_{s0} \\ Q_{s0} \\ P_{s\_sin2} \\ P_{s\_cos2} \\ Q_{s\_sin2} \\ Q_{s\_cos2} \end{bmatrix} = \frac{3\omega_s}{2L_s} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\psi_{sd+}^- & -\psi_{sq+}^- & \psi_{sd-}^- & -\psi_{sq-}^- \\ \psi_{sd-}^- & \psi_{sq-}^- & -\psi_{sd+}^- & -\psi_{sq+}^- \\ -\psi_{sq-}^- & -\psi_{sd-}^- & \psi_{sq+}^- & -\psi_{sd+}^- \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{sd+}^+ \\ \psi_{sq+}^+ \\ \psi_{sd-}^+ \\ \psi_{sq-}^+ \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$+ \frac{3\omega_s L_m}{2L_s} \begin{bmatrix} -\psi_{sq+}^+ & \psi_{sd+}^+ & \psi_{sq-}^- & -\psi_{sd-}^- \\ \psi_{sd+}^+ & \psi_{sq+}^+ & -\psi_{sd-}^- & -\psi_{sq-}^- \\ -\psi_{sd-}^- & -\psi_{sq-}^- & -\psi_{sd+}^- & -\psi_{sq+}^- \\ \psi_{sq-}^- & -\psi_{sd-}^- & \psi_{sd+}^- & \psi_{sq+}^- \\ \psi_{sq+}^- & -\psi_{sd+}^- & \psi_{sd+}^- & -\psi_{sq+}^- \\ -\psi_{sd-}^- & -\psi_{sq-}^- & \psi_{sd+}^- & \psi_{sq+}^- \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{rd+}^+ \\ I_{rq+}^+ \\ I_{rd-}^- \\ I_{rq-}^- \end{bmatrix}$$

Với mục tiêu loại bỏ dòng điện thứ tự nghịch của rotor  $(I_{(dq)r}^- = 0)$  [5] và trong hệ quy chiếu SFOC từ thông  $\psi_{qs+}^+ = \psi_{qs-}^- = 0$ . Áp dụng vào (7), (8) và (9), ta có công suất tác dụng và công suất phản kháng của stator:

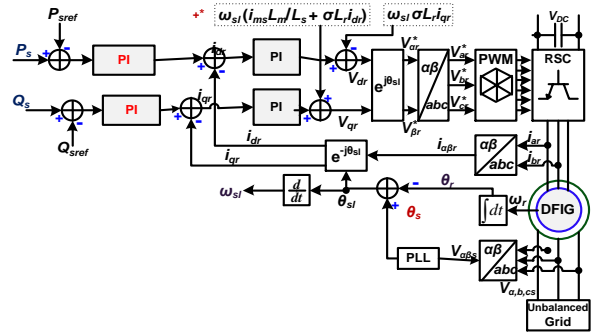
$$P_{s+} = (3/2) \cdot (V_{ds+}^+ i_{ds+}^+ - V_{qs+}^+ i_{qs+}^+) \quad (10)$$

$$Q_{s+} = (3/2) \cdot (V_{ds+}^+ i_{qs+}^+ - V_{qs+}^+ i_{ds+}^+) \quad (11)$$

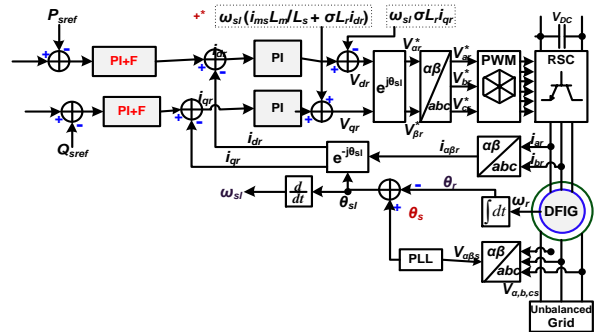
### 3.2. Bộ điều chỉnh PI+F

Trong Hình 5, bộ điều chỉnh PI+F được sử dụng để kiểm soát các sai số giữa giá trị lệnh và các giá trị thực tế

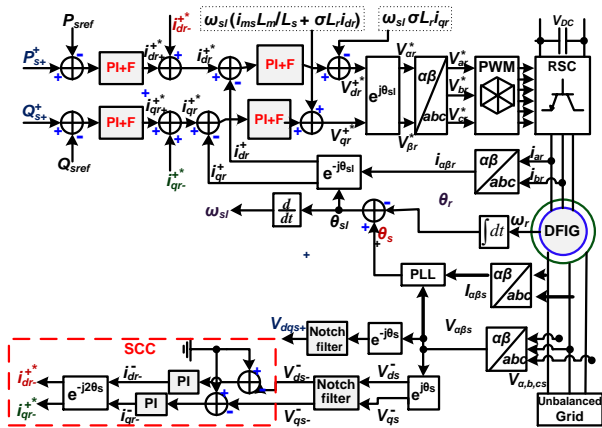
của  $P_s$ ,  $Q_s$  của DFIG. Trong đó, các thông số của PI bộ điều khiển ( $T_i$  và  $K_p$ ) được điều chỉnh phù hợp với bảng lý thuyết mờ và điều khiển logic (Fuzzy Logic Control - FLC) để có được đầu ra tốt nhất với các sai số là không. Các biến số điều khiển được cố định trong bộ điều khiển PI truyền thống là cơ sở hỗ trợ giúp cho tính toán trong Fuzzy nhanh chóng và đạt được hiệu suất tốt nhất.



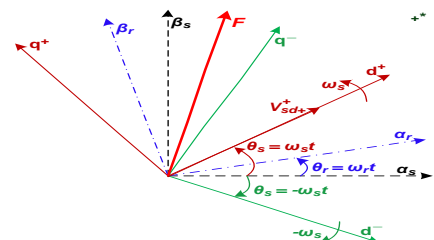
Hình 1. Sơ đồ điều khiển RSC với PI truyền thống [12]



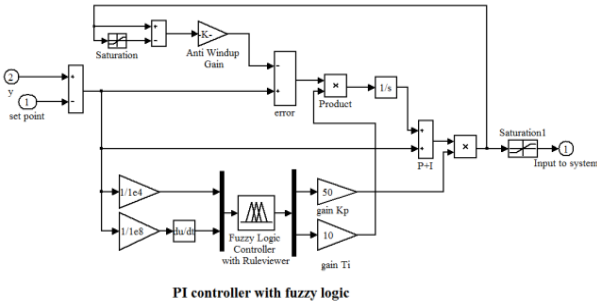
Hình 2. Sơ đồ điều khiển RSC với PI-Fuzzy



Hình 3. Sơ đồ khối mô hình điều khiển RSC với bộ SCC và PI-Fuzzy



Hình 4. Sơ đồ biểu diễn đổi trục tọa độ  $(\alpha,\beta)_s$ ,  $(\alpha,\beta)_r$ ;  $dq^+$ ;  $dq^-$



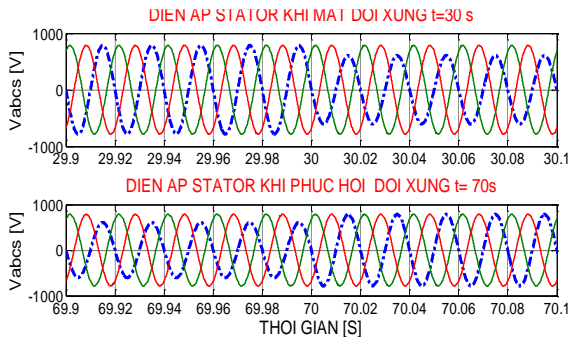
Hình 5. Bộ điều chỉnh PI-Fuzzy

4. Kết quả mô phỏng

Xây dựng mô phỏng máy điện gió DFIG 2,3 MW trên phần mềm Matlab/Simulink. Thông số máy và thông số đầu vào thể hiện ở Bảng 1, 2. Với điện áp lưới bị mất cân bằng 25% trên pha A tại thời điểm 30 giây và phục hồi thời điểm 70 giây (Hình 6). Giá trị lệnh P và Q được thay đổi tại thời điểm 50 giây. Giá trị lệnh P và Q được thay đổi từ 1MW – 2MW. Tốc độ gió thay đổi từ 10 – 14m/s (Hình 7). Điện áp khi nguồn mất đối xứng và phục hồi, đường đứt khúc là pha điện áp bị sự cố (Hình 6), với vận tốc góc rotor  $n_r = 1400rpm$ . Mô phỏng được xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink. Đại lượng điều khiển P, Q độc lập trong khoảng thời gian mô phỏng 100 giây.

Kết quả so sánh giá trị thực và giá trị lệnh được thể hiện ở Hình 8-16. Các Hình 8 - 11 là đồ thị của công suất tác dụng thực  $P_s$  so với giá trị lệnh  $P_s^*$ . Từ Hình 13 - 16 là đồ thị của công suất phản kháng thực  $Q_s$  so với giá trị lệnh  $Q_s^*$ . Hình 12 là đồ thị của moment. Thành phần sóng hài của dòng điện rotor được trình bày trong Hình 17.

Kết quả mô phỏng ba phương án điều khiển: DFIG sử dụng PI thông thường (Hình 1); DFIG sử dụng bộ điều chỉnh PI+F (Hình 2) và DFIG có bộ điều chỉnh PI\_Fuzzy và bộ SCC (Hình 3) được ở thể hiện Hình 8 đến Hình 16. Công suất tác dụng được thể hiện ở Hình 8-11. Đối với công suất phản kháng được thể hiện Hình 13-16. Hình 12 thể hiện moment của ba phương án.



Hình 6. Điện áp mất đối xứng ở thời điểm 30-70 giây

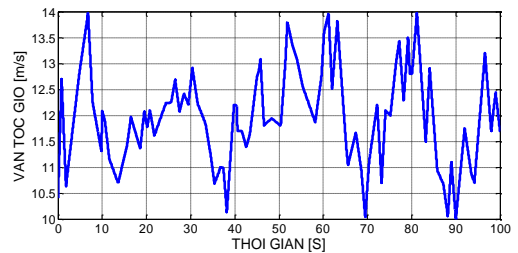
Bảng 1. Thông số máy phát gió DFIG 2.3MW

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Điện cảm cuộn stator	$L_s$	159,2 ( $\mu H$ )
Điện cảm cuộn rotor	$L_r$	159,2 ( $\mu H$ )
Điện cảm từ hóa	$L_m$	5,096 (mH)
Điện trở cuộn Stator	$R_s$	4 (m $\Omega$ )
Điện trở cuộn Rotor	$R_r$	4 (m $\Omega$ )
Số đôi cực	P	2

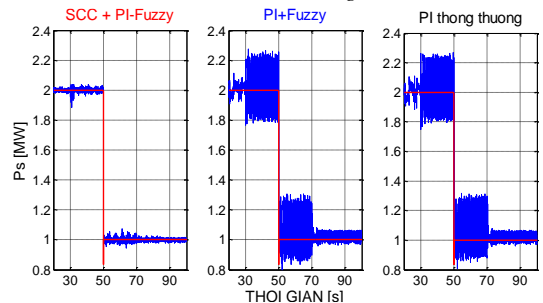
Tần số góc	$\omega_s$	100 $\pi$ (rad/s)
Lực quán tính	J	93,22 (kg.m <sup>2</sup> )

Bảng 2. Thông số điều khiển đầu vào

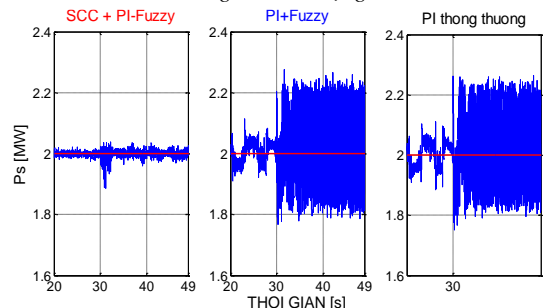
Thông số điều khiển	Ký hiệu đơn vị	Trước sự cố	Sự cố	Sau sự cố (phục hồi)
Thời gian	t (s)	0 – 30	31 – 70	71 – 100
Công suất tác dụng lệnh	$P_{sref}$ (MW)	2	Thay đổi từ 2 đến 1 (t=50s thay đổi lệnh)	1
Công suất phản kháng lệnh	$Q_{sref}$ (MVA R)	1	Thay đổi từ 1 đến 2 (t=50s thay đổi lệnh)	2
Điện áp stator	$U_s$ (V)	960	720 (-25%)	960
Vận tốc gió	(m/s)	Thay đổi từ 10-14		
Vận tốc rotor	$n_r$ (rpm)	1400		



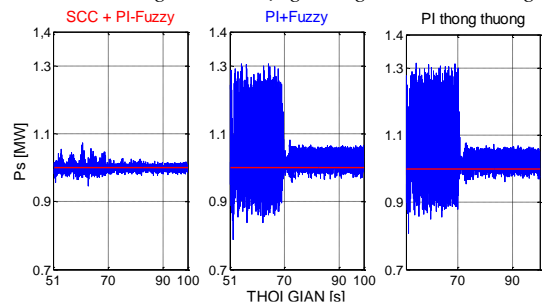
Hình 7. Tốc độ gió



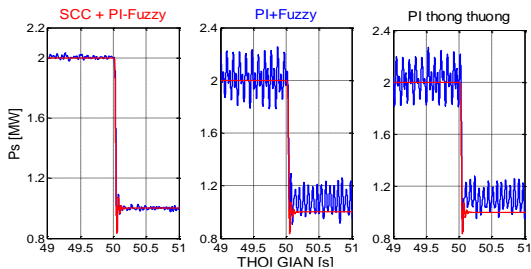
Hình 8. Công suất tác dụng của DFIG



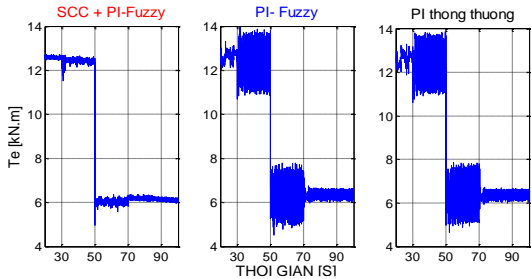
Hình 9. Công suất tác dụng khi nguồn mất đối xứng



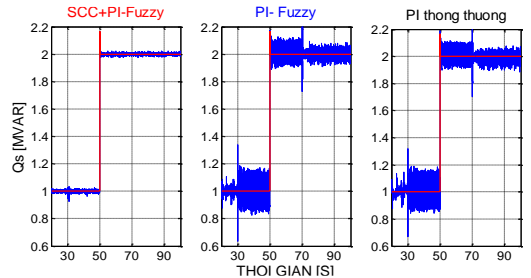
Hình 10. Công suất tác dụng khi phục hồi đối xứng



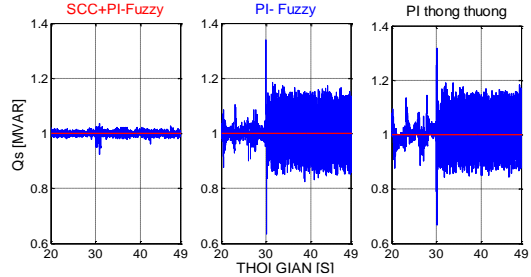
Hình 11. Công suất tác dụng khi giá trị lệnh thay đổi



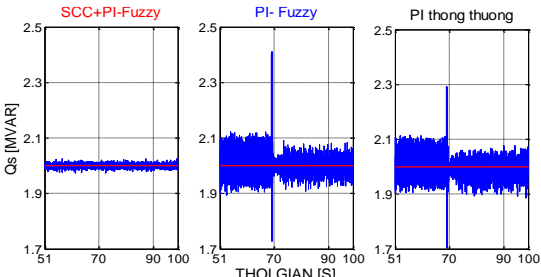
Hình 12. Moment của DFIG



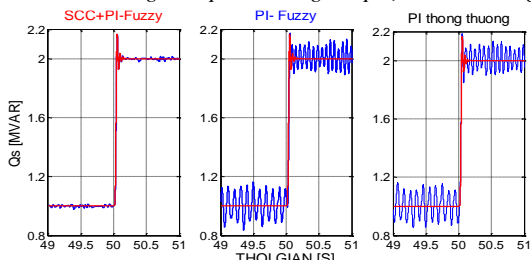
Hình 13. Công suất phản kháng của DFIG



Hình 14. Công suất phản kháng khi nguồn mất đối xứng

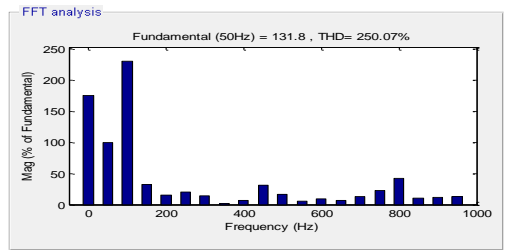


Hình 15. Công suất phản kháng khi phục hồi đối xứng

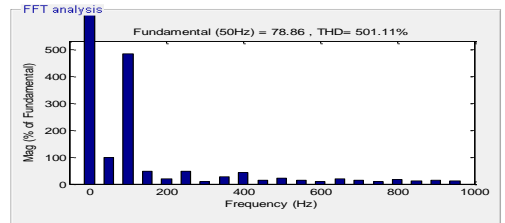


Hình 16. Công suất tác dụng khi giá trị lệnh thay đổi

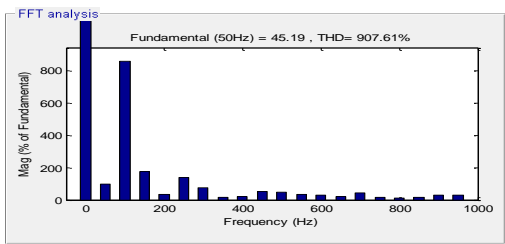
Tổng độ biến dạng sóng hài (Total Harmonic Distortion - THD) của dòng điện là sự phân bố các sóng hài bậc cao. Hình 17 là đồ thị THD của rotor khi nguồn mất đối xứng. Số liệu thống kê và so sánh trình bày ở Bảng 3.



a.



b.



c.

Hình 17. THD  $I_r$  khi mất đối xứng

a. SCC và PI-Fuzzy; b. PI-Fuzzy; c. PI truyền thống

### 5. Kết quả và nhận xét

Ba mô hình điều khiển DFIG được đề xuất ở Mục 3 (Hình 1, 2, 3) được tiến hành mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink. Kết quả thu được từ mô phỏng được trình bày ở Mục 4. Ta có những nhận xét sau:

- Mô hình DFIG\_PI thông thường (Hình 1), các giá trị điều khiển  $P_s$ ,  $Q_s$  độc lập khi nguồn đối xứng của phương án này khá tốt, các giá trị luôn bám sát giá trị lệnh, moment cũng dao động trong phạm vi hẹp. Tuy nhiên khi nguồn mất đối xứng, các giá trị điều khiển bị dao động lớn làm sai số điều khiển rộng thêm, moment cũng dao động lớn. Các thành phần sóng hài bậc cao của dòng rotor tăng nhanh (Bảng 3).

- Mô hình DFIG\_PI-F (Hình 2), đây là mô hình điều khiển có sự cải tiến của DFIG\_PI thông thường. Các giá trị điều khiển có cải tiến hơn so với mô hình DFIG\_PI thông thường, nhưng không đáng kể. Tuy nhiên, với thành phần sóng hài bậc cao dòng rotor giảm 44.8% (Bảng 3) khi nguồn mất đối xứng. Bộ điều chỉnh PI+F điều chỉnh làm sai số giá trị thực và lệnh về 0, vì vậy các sóng hài bậc cao khi nguồn mất đối xứng cũng bị giảm mạnh trong mô hình này.

- Mô hình DFIG\_PI-F+SCC (Hình 3) là mô hình cải tiến rất nhiều so với hai mô hình trước. Chúng ta xây dựng thêm khối SCC là khối khử sóng hài bậc cao và loại bỏ dòng thứ tự nghịch của rotor khi nguồn mất đối xứng. Về bộ điều chỉnh ta dùng 4 bộ PI-F hơn so với mô hình DFIG\_PI-F là 2 bộ PI-F và 2 bộ PI truyền thống (Hình 1, 2). Mô hình này được cải tiến hơn rất nhiều so với 2 mô hình trước. Kết quả

so với 2 mô hình trước: Bộ điều chỉnh PI+F làm tốt nhiệm vụ điều chỉnh giá trị lệnh và thực (Hình 8-16); Dao động moment khi thay đổi lệnh và mất đối xứng ổn định (Hình 12); Bộ SCC làm thành phần sóng hài bậc cao giảm 72,45% với dòng rotor khi nguồn mất đối xứng (Bảng 3).

**Bảng 3.** So sánh THD dòng rotor khi mất đối xứng

THD	PI (Truyền thống)	PI-F	(PI-F) và SCC
Dòng rotor	907,6%	501,1%	250,07%
	0%	-44,8%*	-72,45%*

$$(*) = \frac{THD - THD_{PI-thongthuong}}{THD_{PI-thongthuong}}$$

## 6. Kết luận

Trong phương pháp điều khiển DFIG sử dụng bộ điều chỉnh PI-F hay PI thông thường luôn đáp ứng điều khiển công suất độc lập khi nguồn đối xứng. Tuy nhiên, khi nguồn mất đối xứng, các đại lượng điều khiển bị ảnh hưởng, sai số lớn. Khi thêm bộ SCC, đại lượng điều chỉnh P, Q độc lập được cải thiện hơn so với hai phương án trước. Moment dao động trong phạm vi hẹp. Vì vậy, các sự cố cơ khí được giảm tối đa.

Qua các kết quả mô phỏng trên ta có thể khẳng định thêm phương pháp điều khiển công suất tác dụng và phản kháng độc lập khi nguồn không đối xứng có sử dụng bộ SCC và bộ điều chỉnh PI-F được cải thiện hơn và nâng cao tính ổn định trong điều khiển. Do ứng dụng lý thuyết mở vào bộ điều chỉnh nên đòi hỏi bộ xử lý mạnh. Tuy nhiên, khuyết điểm này được khắc phục với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học công nghệ máy tính.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ackermann, T. (2003), *Wind power in power systems*, John Wiley

and Sons, USA.

- [2] A. Peterson, L. Harnefors, T. Thiringer, "Comparison between stator-flux and grid flux oriented rotor current control of doubly-fed induction generators", in: *The 35th Annual IEEE Power Electronics Specialist Conference*, vol. 1, 20–25 June, 2004, pp. 482–486.
- [3] Baggu, M. M. (2009); "Advanced control techniques for doubly fed induction generator – based wind turbine converters to improve low voltage ride- through during system imbalances", PhD Thesis, Missouri University of Science and Technology.
- [4] Jia-bing HU, Yi-kang HE, Lie XU (2008); "Dynamic modeling and direct power control of wind turbine driven DFIG under unbalanced network voltage conditions", *Journal of Zhejiang University Science*, 79 (2008); pp 273-281.
- [5] L. Xu, Y. Wang, "Dynamic modeling and control of DFIG based wind turbines under unbalanced network conditions", *IEEE Trans. Power Syst.* 22 (1) (2007) 314–323.
- [6] Hai Nguyen-Thanh; "Improved Control of DFIG Systems under Unbalanced Voltage Dip for Torque Stability Using PI-Fuzzy Controller"; *International Journal of Electrical Energy*, Vol. 2, No. 4, December 2014; pp. 300-307, USA.
- [7] Pham-Dinh, T., Nguyen-Thanh H. (2013), "Improved stability for independent power control of DFIG during grid unbalance with PI-Fuzzy controller" *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics (JSAEM)* Vol.21 No.3,2013; pp 425 (93)-430 (98).
- [8] Pham-Dinh, T., Nguyen-Thanh H., Nguyen-Anh N. (2012), "Improving Stability For Independent Power Control Of Wind-Turbine Doubly Fed Induction Generator with SFOC and DPC During Grid Unbalance", *Proceeding of the IEEE, The 10th International Power and Energy Conference IPEC 2012*, HCM City, Vietnam, pp.155 – 160.
- [9] Phan, V. T., Lee, H. H., Chun, T. W. (2010); "An Effective rotor current controller for unbalanced stand – alone DFIG systems in the rotor reference frame", *Journal of Power electronics*, Vol.10, No.6, pp194-202.
- [10] Truc Pham-Dinh, Hai Nguyen-Thanh, Kenko Uchida, Nguyen Gia Minh Thao(2013) "Comparison between Modifications of SFOC and DPC in Control of Grid-Connected Doubly Fed Induction Generator under Unbalanced Voltage Dip", *Proceedings of the IEEE International conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration SICE 2013* September 14 - 17, 2013, Nagoya University, Nagoya, Japan, pp.2581-2588.

(BBT nhận bài: 15/05/2015, phân biện xong: 29/06/2015)