

# ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG TUA-BIN GIÓ CÔNG SUẤT NHỎ MÁY PHÁT PMSG TRONG TRƯỜNG HỢP MÉO DẠNG ĐIỆN ÁP LƯỚI

## *Control of PMSG micro wind turbine systems under grid voltage distortion*

TS. Văn Tấn Lượng<sup>(1)</sup>, ThS. Phạm Xuân Minh<sup>(2)</sup>, ThS. Nguyễn Trọng Huân<sup>(3)</sup>,  
ThS. Trương Tấn<sup>(4)</sup>, TS. Nguyễn Thanh Hải<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup>Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

<sup>(2),(3)</sup>Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, cơ sở tại TP.HCM

<sup>(4)</sup>Trường Đại học Sài Gòn

<sup>(5)</sup>Trường Đại học Cần Thơ

### TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất chiến lược điều khiển cho bộ chuyển đổi công suất phía lưới (GSC) của máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG) trong trường hợp méo dạng điện áp lưới. Với phương pháp đề xuất, các thành phần dòng điện bậc 3, 5 và 7 được loại bỏ, từ đó dòng điện lưới trở thành hình sin. Để thực hiện điều này, các thành phần dòng điện bậc 3, 5 và 7 của điện áp và dòng điện lưới được trích ra từ dòng điện và điện áp tức thời bộ quan sát tổng hợp (CO). Sau đó, bộ điều khiển cộng hưởng-tỉ lệ được áp dụng để điều khiển dòng điện lưới. Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm chứng bằng kết quả mô phỏng.

**Từ khóa:** bộ quan sát tổng hợp (CO), bộ điều khiển cộng hưởng-tỉ lệ, máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG), méo dạng điện áp, tua-bin gió

### Abstract

This study proposes a control scheme of the grid-side converter for micro-wind turbines based on permanent magnet synchronous generator (PMSG) under grid voltage distortion. With the proposed method, the components of the third, fifth, and seventh-order current harmonics are removed, from which the current fed into the grid becomes sinusoidal. To conduct this scheme, the third, fifth, and seventh-order harmonics components are extracted from the instantaneous grid voltage and current by employing the composite observer. The proportional-resonant controllers are applied for the grid current control. The effectiveness of the proposed scheme is verified by the simulation results.

**Keywords:** composite observer (CO), proportional-resonant controllers, permanent magnet synchronous generator (PMSG), grid voltage distortion, wind turbine

## 1. Giới thiệu

Trong nhiều nguồn năng lượng tái tạo khác nhau, năng lượng gió được xem như là nguồn năng lượng mới thay thế các nguồn năng lượng truyền thống. So sánh

với tua-bin gió tốc độ thay đổi như máy phát không đồng bộ, máy phát đồng bộ loại bộ nam châm vĩnh cửu được sử dụng ở tốc độ thấp vì có những ưu điểm như không có hộp số, độ chính xác cao và phương pháp

điều khiển đơn giản. Ngoài ra, bộ chuyển đổi công suất phía lưới (GSC) một pha có thể dùng cầu chỉnh lưu có điều khiển toàn cầu hoặc cầu chỉnh lưu có điều khiển bán cầu để điều khiển cấp điện cho lưới từ máy phát [1]. Để làm giảm họa tần, bộ lọc điện cảm (L) đã được sử dụng. Gần đây, bộ lọc điện cảm-tụ điện-điện cảm (LCL) lắp đặt ở ngõ vào bộ chuyển đổi phía lưới thường được sử dụng phổ biến vì mức độ vận hành tốt hơn và chi phí giảm do kích cỡ L nhỏ, so sánh với bộ lọc L. Tuy nhiên, bộ lọc LCL có khuyết điểm là rất khó điều khiển và thường xảy ra hiện tượng cộng hưởng [2], [3].

Để điều khiển bộ chuyển đổi công suất một pha phía lưới, những thành phần bậc lẻ (bậc 3, 5, 7) và thành phần cơ bản của điện áp và dòng điện lưới cần được tách ra một cách chính xác dùng bộ CO mà không có trì hoãn thời gian [4]. Bộ điều khiển cộng hưởng - tỉ lệ (PR) được thay thế bộ điều khiển tích phân - tỉ lệ để điều khiển dòng điện lưới trở nên hoàn toàn sin.

Các phương pháp điều khiển khác nhau dùng cho bộ nghịch lưu đã được giới thiệu [5], [8], trong đó bộ điều khiển PR hoặc bộ điều khiển PI được sử dụng để điều khiển dòng điện lưới. Tuy nhiên, những nghiên cứu trong [5], [6] chủ yếu tập trung vào điều khiển thành phần cơ bản của dòng điện nghịch lưu mà không quan tâm đến việc làm giảm hay loại bỏ họa tần dòng điện. Trong [7], [8], mục tiêu nghiên cứu chính là đồng bộ bộ nghịch lưu một pha với lưới. Hay nói cách khác, việc loại bỏ những họa tần dòng điện lưới chỉ dựa vào thuật toán PLL đề xuất. Hạn chế của phương pháp này là phân tích toán học phức tạp và thời gian thực hiện kéo dài. Hơn nữa, quy trình điều khiển thích nghi tần số bằng cách tạo ra một tín hiệu bình

phương từ dạng sóng điện áp hiện có theo đòi hỏi khá phức tạp. Điều này sẽ làm ảnh hưởng đến dạng sóng điện áp lưới bị méo dạng. Một phương pháp khác dùng bộ điều khiển lặp đi lặp lại (RC) được áp dụng, trong đó dòng điện lưới bị méo dạng do tải phi tuyến được làm giảm nhờ vào việc vận hành bộ nghịch lưu như bộ lọc tích cực [9], [10]. Tuy nhiên, trường hợp điện áp bị méo dạng không được quan tâm trong nghiên cứu. Ngoài ra, một vấn đề quan trọng của bộ điều khiển lặp đi lặp lại là việc thực hiện bộ điều khiển trong hệ thống thực tế, đòi hỏi số lượng vòng lặp lại cao và thời gian tính toán dài.

Trong nghiên cứu này, chiến lược điều khiển dòng điện cho bộ chỉnh lưu phía lưới được áp dụng để gia tăng tính tích hợp của hệ thống tua-bin gió với lưới trong trường hợp méo dạng điện áp lưới. Với chiến lược đề xuất này, trước tiên bộ CO với ưu điểm nổi bật là ước lượng trực tuyến và chính xác được sử dụng để tách các thành phần cơ bản và các thành phần họa tần của dòng điện và điện áp. Sau đó, bộ điều khiển cộng hưởng - tỉ lệ với các tần số trung tâm bậc 1, bậc 3, bậc 5 và bậc 7 được áp dụng. Ngoài ra, phương pháp điều khiển phát công suất cực đại dùng kỹ thuật tối ưu hóa công suất được thực hiện ở bộ nghịch lưu phía máy phát. Sự thể hiện kết quả mô phỏng cho hệ thống tua-bin gió PMSG 2,68 kW, là nhằm chứng thực tính khả thi của phương pháp được đề xuất.

## 2. Mô hình hệ thống

Cấu hình của một hệ thống tua-bin gió PMSG nhỏ được hiển thị trong Hình 1, trong đó bộ chuyển đổi PWM một pha được kết nối với lưới thông qua các bộ lọc LCL. Các bộ lọc LCL được thiết kế với tần số cộng hưởng 4 kHz, trong đó tần số chuyển đổi của bộ biến đổi một pha là 10



Tốc độ rotor tham chiếu đạt được như sau:

$$\omega_r^* = \sqrt[3]{\frac{P_{gen}}{K_{opt}}} \quad (7)$$

Hình 2 mô tả sơ đồ khối điều khiển bộ chuyển đổi công suất phía máy phát, trong đó bộ điều khiển tốc độ rotor bên ngoài và bộ điều khiển dòng điện bên trong. Ngõ ra của bộ điều khiển dòng điện là điện áp tham chiếu ( $V_{qse}^*, V_{dse}^*$ ). Điện áp tham chiếu này được sử dụng để điều chế độ rộng xung PWM [12].

**4. Điều khiển bộ chuyển đổi công suất phía lưới (GSC) khi méo dạng điện áp lưới**

**4.1. Phân tách điện áp và dòng điện lưới dùng bộ quan sát tổng hợp (CO)**

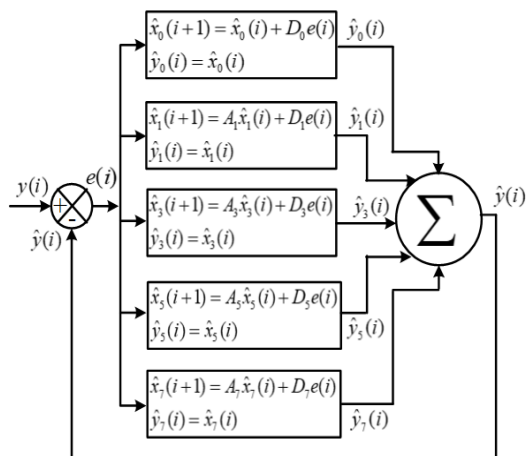
Bộ CO được dùng để phân tách các thành phần điện áp và dòng điện [4]-[5]. Nguyên tắc của bộ CO được tóm tắt như sau:

Giả thiết rằng tín hiệu tuần hoàn của  $y(t)$  bao gồm thành phần như tín hiệu DC ( $y_0(t)$ ), thành phần cơ bản ( $y_1(t)$ ) và các thành phần họa tần ( $y_3(t), y_5(t), y_7(t)$ ), tương ứng, được thể hiện như sau:

$$y(t) = \sum_{m=0,1,3,5,7} y_m(t) \quad (8)$$

Tín hiệu đầu vào được viết trong miền rời rạc:

$$y(i) = \sum_{m=0,1,3,5,7} y_m(i); \quad i = 0,1,2,\dots,\infty \quad (9)$$



**Hình 3. Vòng lặp kín dùng bộ CO**

Cấu trúc bộ CO được thể hiện trong hình 3 như sau:

$$\begin{cases} \hat{x}(i+1) = A\hat{x}(i) + De(i) \\ \hat{y}(i) = C\hat{x}(i) \end{cases} \quad (10)$$

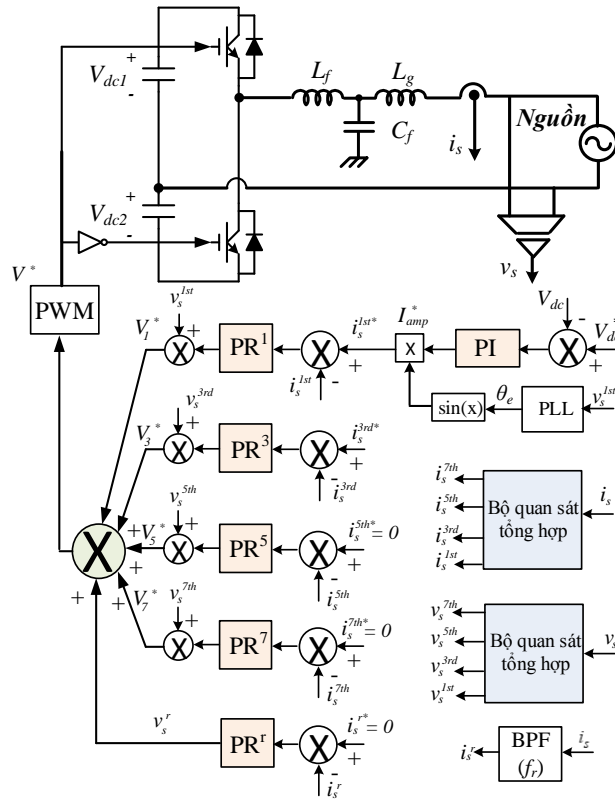
Trong đó: chỉ số “^” chỉ giá trị ước tính,  $x(i)$  là vector trạng thái,  $y(i)$  là vector đầu ra,  $A$  và  $C$  là ma trận của bộ quan sát và  $D$  là vector độ lợi, có dạng như sau:

$$D = [d_0, (d_{11}, d_{12}), (d_{31}, d_{32}), (d_{51}, d_{52}), (d_{71}, d_{72}), (d_{111}, d_{112}), (d_{131}, d_{132})]^T \quad (11)$$

và  $e(i)$  là sai số của bộ quan sát được tính bởi công thức sau:  $e(i) = y(i) - \hat{y}(i)$

Trong nghiên cứu này, các thành phần DC, cơ bản và họa tần bậc 3, 5, 7 của điện áp và dòng điện lưới được sử dụng làm biến trạng thái trong các mô hình bộ CO. Một kỹ thuật thay thế cực được dùng để chọn vector độ lợi của bộ CO [4].

4.2. Chiến lược điều khiển dòng điện lưới



Hình 4. Sơ đồ khối điều khiển của bộ GSC

Hình 4 thể hiện sơ đồ khối điều khiển của bộ chuyển đổi PWM một pha (GSC). Mục đích của bộ GSC là phải cung cấp công suất tác dụng cho lưới từ tua-bin với dòng điện lưới hoàn toàn sin ngay cả ở điều kiện méo dạng điện áp lưới. Do đó, các thành phần cơ bản và họa tần của điện áp và dòng điện  $v_s^{1st}, v_s^{3rd}, v_s^{5th}, v_s^{7th}$  và  $i_s^{1st}, i_s^{3rd}, i_s^{5th}, i_s^{7th}$  lần lượt được tách ra bằng cách dùng bộ CO. Thành phần cơ bản của điện áp được sử dụng cho thuật toán PLL để xác định góc pha  $\theta_e$  [13]. Biên độ của dòng điện lưới ( $I_{amp}^*$ ) được xác định bởi ngõ ra của bộ điều khiển điện áp DC.

Dòng điện lưới tham chiếu ( $i_s^{1st*}$ ) được xác định bởi

$$i_s^{1st*} = I_{amp}^* \sin(\theta_e) \tag{12}$$

Thành phần dòng điện lưới cộng hưởng được trích xuất ra bởi bộ lọc thông dải (BPF). Bộ điều khiển cộng hưởng - tỉ lệ (PR) ứng với các tần số góc  $3\omega_e, 5\omega_e, 7\omega_e$  được áp dụng cho điều khiển dòng điện lưới, trong đó các thành phần họa tần bậc 3, 5, 7 và thành phần cộng hưởng của dòng điện lưới được điều khiển bằng không.

5. Mô phỏng

Mô phỏng PSIM cho hệ thống tua-bin gió PMSG 2,68 kW đã được thực hiện để kiểm chứng tính hợp lí của chiến lược điều khiển được đề xuất. Các thông số hệ thống được liệt kê trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Thông số hệ thống

Máy phát PMSG	2,68 kW, 110 V, 6 cực $R_s=0,49 \Omega$ , $L_s=5,35$ mH, $J=0,00331$ kg.m <sup>2</sup>
Bộ chuyển đổi công suất phía lưới	110 V, 60 Hz, 540 V <sub>DC</sub> $L_g=0,3$ mH, $L_f=3$ mH, $C_f=4,75$ $\mu$ F,
Tần số đóng cắt	10 kHz

Các vector độ lợi của (11) được thiết kế như sau:

$$D = [0,15841371, (0,23520296, -0,2368942157), (0,116151146, -0,115147), (0,0961, -0,92542), (0,0811463, -0,05812), (0,04125, -0,0264), (0,01691, -0,005771)]^T$$

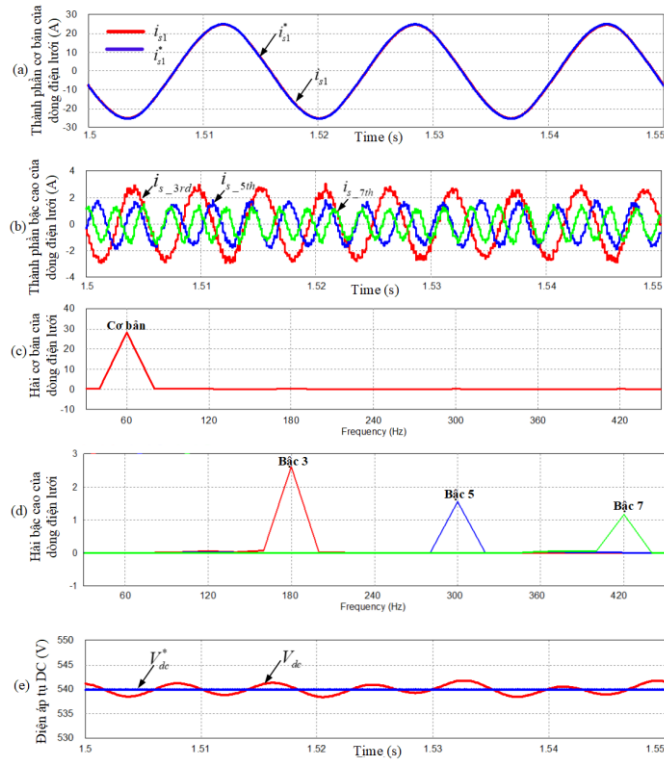
Hình 5 thể hiện vận hành điều khiển của dòng điện lưới trong trường hợp méo dạng điện áp lưới, trong đó điện áp lưới lần lượt chứa 10%, 8% và 6% của các thành phần họa tần bậc 3, 5 và 7. Thành phần cơ bản của dòng điện lưới và của dòng điện tham chiếu được thể hiện trong Hình 5(a), trong đó thành phần cơ bản của dòng điện lưới đo được bám sát dòng tham chiếu. Nói cách khác, dòng điện lưới được điều khiển gần như hình sin. Các thành phần họa tần bậc cao của dòng điện lưới đã được thể hiện như trong Hình 5(b) và các phổ của họa tần bậc cao được thể hiện như Hình 5(d). Trong trường hợp này, điện áp tụ DC vẫn được điều khiển tốt, với sai số nhỏ hơn 1% (Hình 5(e)).

Để điều khiển bộ GSC, bộ CO được sử dụng để tách các thành phần cơ bản và họa tần bậc cao của điện áp và dòng điện lưới và PLL được sử dụng. Các kết quả mô phỏng thể hiện vận hành bộ GSC được thể hiện trong các Hình 6 và 7.

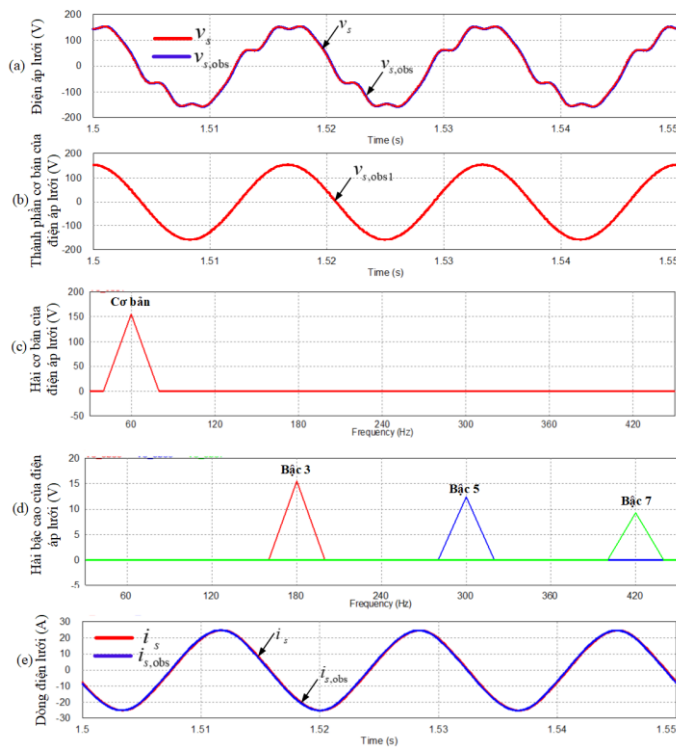
Hình 6 (a) hiển thị điện áp lưới bị méo dạng. Như được thấy trong Hình 6(a), điện

áp quan sát ( $V_{s,obs}$ ) từ việc dùng bộ CO bám sát tốt điện áp lưới ( $V_s$ ). Điều này thể hiện bộ CO đã phân tách chính xác của các thành phần cơ bản và họa tần bậc cao. Cụ thể là, thành phần cơ bản của điện áp lưới được phân tách như trong Hình 6(b) có dạng hoàn toàn hình sin. Hình 6(c) và (d) thể hiện kết quả mô phỏng về phổ của các thành phần cơ bản và họa tần bậc cao của điện áp lưới trong Hình 8(a) tương ứng. Tương tự như điện áp lưới, dòng điện lưới quan sát (Hình 8(e)) cũng được phân tách tốt bởi việc sử dụng bộ CO, trong đó thành phần cơ bản và các thành phần họa tần bậc cao của dòng điện lưới lần lượt được phân tách như trong Hình 5(a) và Hình 5(b) như đề cập ở trên. Lưu ý rằng các thành phần cơ bản và họa tần bậc cao của điện áp và dòng điện lưới được phân tách bởi các bộ CO để sử dụng cho các bộ điều khiển như được mô tả trong Hình 4.

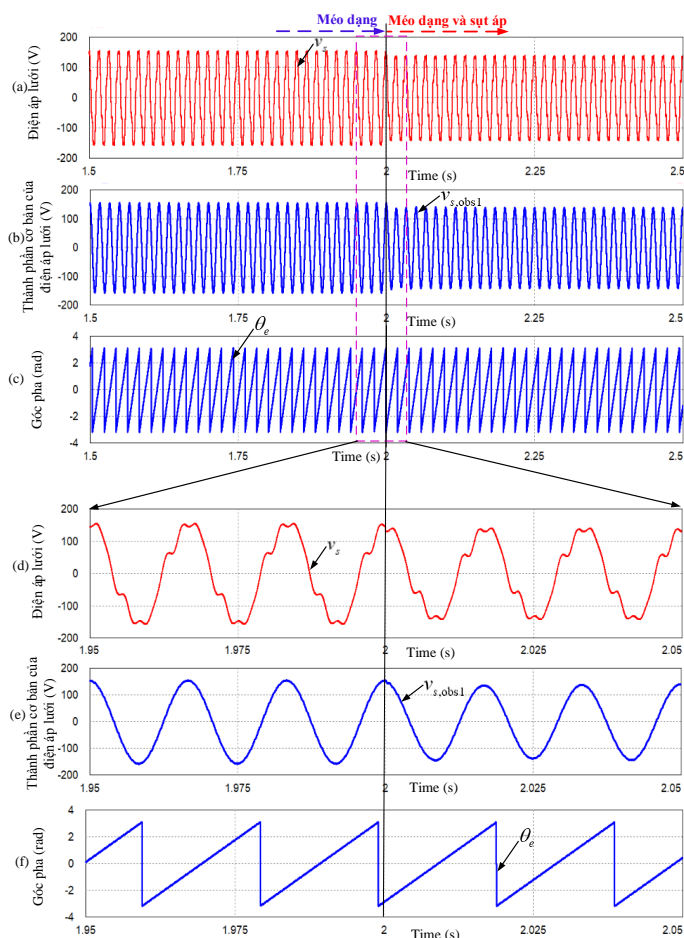
Hình 7 thể hiện kết quả vận hành vòng khóa pha khi có méo dạng và sụt áp lưới. Như được thể hiện ở Hình 7(a), điện áp lưới có chứa các họa tần bậc cao và sau khoảng thời gian 2s điện áp lưới giảm đi 10%. Nhờ việc sử dụng bộ CO, thành phần cơ bản của điện áp lưới được phân tách như Hình 7(b). Từ thành phần cơ bản này, vòng lặp khóa pha được áp dụng để đạt được góc pha như Hình 7(c). Để thấy rõ vận hành của PLL trước và sau khi giảm điện áp lưới, điện áp lưới, thành phần cơ bản của điện áp lưới và góc pha từ Hình 7(a) đến 7(c) lần lượt được ghi nhận lại trong 6 chu kỳ, như được minh họa từ Hình 7(d) đến 7(f). Như được thể hiện trong Hình 7, vận hành của vòng lặp khóa pha được thỏa mãn, thậm chí khi có méo dạng và giảm điện áp lưới



**Hình 5.** Kết quả vận hành bộ điều khiển dòng điện lưới khi méo dạng điện áp lưới



**Hình 6.** Kết quả vận hành bộ GSC khi méo dạng điện áp lưới



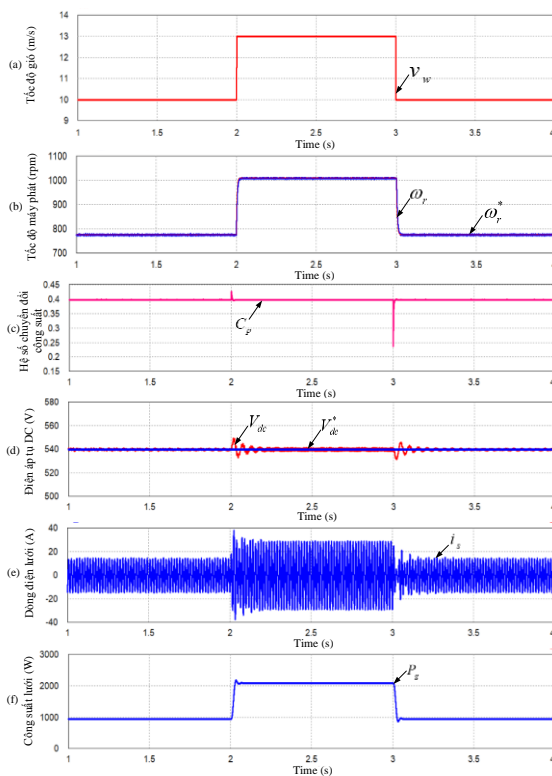
**Hình 7.** Kết quả vận hành vòng khóa pha (PLL) khi có méo dạng và sụt áp lưới

Hình 8 thể hiện kết quả vận hành hệ thống khi tốc độ gió thay đổi dạng bậc thang. Do tốc độ gió tăng từ 10 m/s đến 13 m/s và giảm từ 13 m/s xuống 10 m/s như Hình 11(a) nên dạng sóng tốc độ máy phát như Hình 8(b) cũng có dạng giống như tốc độ gió.

Theo phương pháp tối ưu hóa công suất trong MPPT, hệ số chuyển đổi công

suất được giữ ở giá trị 0,4 trong trạng thái xác lập như Hình 8(c). Điện áp tụ DC đo được vẫn bám sát giá trị điện áp DC tham chiếu (540V) cả trong trạng thái quá độ lẫn trạng thái xác lập, như Hình 8(d). Khi tốc độ gió thay đổi, dòng điện cung cấp cho lưới và công suất máy phát cũng thay đổi, lần lượt được minh họa như trong Hình 8(e) và Hình 8(f).





**Hình 8.** Kết quả vận hành hệ thống khi tốc độ gió thay đổi dạng bậc thang

**6. Kết luận**

Chiến lược điều khiển mới cho bộ chuyển đổi công suất một pha phía lưới với bộ lọc LCL kết nối tua-bin gió PMSG nhỏ với lưới điện đã được trình bày trong nghiên cứu này. Theo đó, vận hành kết nối lưới được cải thiện trong các điều kiện điện áp lưới bị méo dạng và dòng điện lưới

được điều khiển gần như hình sin. Để thực hiện điều này, các bộ điều khiển PR được dùng để triệt tiêu các thành phần họa tần bậc 3, 5 và 7 của dòng điện lưới mà được phân tách một cách chính xác thông qua các bộ quan sát tổng hợp. Hiệu quả của phương pháp theo đề xuất đã được kiểm chứng bằng các kết quả mô phỏng.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Katsumi Nishida, Tarek Ahmed, Mutsuo Nakaoka, “A cost-effective high-efficiency power conditioner with simple MPPT control algorithm for wind-power grid integration”, *IEEE Transactions on Industry Application*, 47(2), 893-900, 2011.

[2] Joerg Dannehl, ChristianWessels, and Friedrich Wilhelm Fuchs, “Limitations of voltage-oriented PI current control of grid-connected PWM rectifiers with LCL filters”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(2), 380-388, 2009.

[3] Yasser Abdel-Rady Ibrahim Mohamed, “Mitigation of dynamic, unbalanced, and harmonic voltage disturbances using grid-connected inverters with LCL filter”, *IEEE*

- Transactions on Industrial Electronics*, 58(9), 3914-3924, 2011.
- [4] Kamakshy Selvajyothi and Panappakkam Janakiraman, "Reduction of voltage harmonics in single phase inverters using composite observers", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(2), 1045-1057, 2010.
- [5] Thanh Hai Nguyen, Dong-Choon Lee, and Suk-Gyu Lee, "Sinusoidal current control of single-phase PWM converters under voltage source distortion using composite observer", *Transaction of Korean Institution of Power Electronics (KIPE)*, 16(5), 466-476, 2010.
- [6] Carlos Lumbreras, Juan Manuel Guerreo, Pablo Garcia, Fernando Briz, David Diaz Reigoza, "Control of a small wind turbine in the high wind speed region", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(10), 6980-6990, 2016.
- [7] Lenos Hadjidemetriou, Elias Kyriakides, Yongheng Yang, Frede Blaabjerg, "A synchronization method for single-phase grid-tied inverters", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(3), 2139-2149, 2016.
- [8] Lenos Hadjidemetriou, Yongheng Yang, Elias Kyriakides, Frede Blaabjerg, "A synchronization scheme for single-phase grid-tied inverters under harmonic distortion and grid disturbances", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32(4), 2784-2793, 2016.
- [9] Quoc-Nam Trinh and Hong-Hee Lee, "Advanced Repetitive Controller to Improve the Voltage Characteristics of Distributed Generation with Nonlinear Loads", *Journal of Power Electronics*, 13(3), 409-418, 2013.
- [10] Radu Iustin Bojoi, Leonardo Rodrigues Limongi, Daniel Ruiu, Alberto Tenconi, "Enhanced power quality control strategy for single-phase inverters in distributed generation systems", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(3), 798-806, 2011.
- [11] Thanh Hai Nguyen, Suk-Ho Jang, Hong-Geuk Park, Dong-Choon Lee, "Sensorless control of PM synchronous generators for micro wind turbines," *2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference*, 936-941, 2008.
- [12] Dong-Choon Lee and Young-Sin Kim, "Control of single-phase-to-three-phase AC/DC/AC PWM converters for induction motor drives", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54(2), 797-804, 2007.
- [13] Timothy Thacker, Dushan Boroyevich, Rolando Burgos, Fei Wang, "Phase-locked loop noise reduction via phase detector implementation for single-phase systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(6), 2482-2490, 2011.

Ngày nhận bài: 18/8/2019

Biên tập xong: 15/5/2020

Duyệt đăng: 20/5/2020