

## Điều khiển tần số và điện áp lưới điện nhỏ trong chế độ tách đảo dựa trên hệ nguồn lai ghép DFIG-BESS

Nguyễn Văn Hùng<sup>1,2</sup>, Chu Thanh Bình<sup>1</sup>, Phan Hồng Quang<sup>1</sup>,  
Trịnh Trọng Chương<sup>1\*</sup>, Đào Huy Du<sup>3</sup>, Nguyễn Đức Huy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội;

<sup>2</sup>Khoa Điện, Trường Điện – Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội;

<sup>3</sup>Khoa Điện tử, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên.

\*Email: chuongtt@hau.edu.vn

Nhận bài: 08/8/2023; Hoàn thiện: 28/9/2023; Chấp nhận đăng: 12/12/2023; Xuất bản: 25/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.92.2023.3-11>

### TÓM TẮT

Nguồn điện gió sử dụng máy phát điện cảm ứng kích từ kép (DFIG) được sử dụng phổ biến do mang nhiều tính năng ưu việt. Tuy nhiên, trong lưới điện nhỏ (MG) ở chế độ tách lưới, máy phát điện DFIG cần sự hỗ trợ từ các nguồn khác để có thể làm việc ổn định. Bài báo đề xuất một mô hình máy điện DFIG kết hợp bộ lưu điện có khả năng tự duy trì điện áp và tần số lưới điện nhỏ trong quá trình tách khỏi lưới hệ thống. Hệ thống điều khiển bộ biến đổi gắn với bộ lưu điện được xây dựng theo hướng tăng cường sự linh hoạt của mô hình đề xuất có xét tới trạng thái của lưới điện hệ thống, nhu cầu của phụ tải, dung lượng cho phép của bộ biến đổi cũng như vận tốc của gió. Bài báo cũng đã tiến hành mô phỏng và phân tích các kết quả khi lưới điện nhỏ ngắt kết nối với lưới hệ thống trên công cụ Matlab/Simulink. Đáp ứng tần số và điện áp của mô hình đề xuất khi xảy ra tách đảo hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép.

**Từ khóa:** Lưới điện nhỏ; Máy phát điện cảm ứng kích từ kép; Bộ lưu điện; Điều khiển tần số và điện áp.

### 1. GIỚI THIỆU

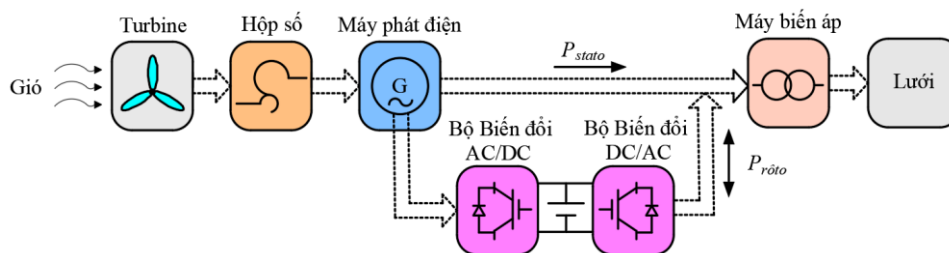
Nguồn điện gió DFIG có cuộn dây stato được nối trực tiếp với lưới điện, trong khi cuộn dây rôto được kết nối thông qua các vòng trượt và bộ chuyển đổi nối tiếp. Hệ thống bộ chuyển đổi công suất phía rôto bao gồm bộ chuyển đổi ở phía rôto (RSC) làm nhiệm vụ biến đổi dòng xoay chiều về dòng một chiều và bộ chuyển đổi ở phía lưới (GSC) làm nhiệm vụ biến đổi dòng một chiều về dòng xoay chiều kết nối lưới điện [1-3]. Đặc tính hoạt động của máy phát nguồn gió dạng DFIG giúp hoạt động tốt trong chế độ nối lưới hệ thống, tuy nhiên, trong lưới điện nhỏ ở chế độ tách lưới để máy phát nguồn gió DFIG hoạt động được cần sự hỗ trợ từ các nguồn phân tán lân cận. Quá trình kết hợp nguồn điện gió DFIG với các hệ thống lưu trữ năng lượng như BESS, hệ thống bánh đà (FESS), tụ điện hai lớp (EDLC), kho lưu trữ năng lượng từ tính siêu dẫn (SMES) đang ngày càng phổ biến do mức tăng hiệu quả sử dụng nguồn năng lượng này [4-6]. Trong đó, BESS đã được triển khai rộng rãi do mật độ năng lượng cao, hiệu quả và tính linh hoạt [7]. Vai trò của BESS đối với sự ổn định của DFIG cũng như MG thay đổi tùy thuộc vào chế độ hoạt động của MG. Khi MG ở chế độ nối lưới, các thông số chế độ như tần số và điện áp được duy trì bởi lưới hệ thống, BESS đơn thuần đóng vai trò tích trữ năng lượng và có thể đóng vai trò hỗ trợ lưới như một nút PQ trong các thời điểm phụ tải cao điểm. Vai trò của BESS trong việc cải thiện độ tin cậy cung cấp điện cũng như duy trì tần số được thể hiện rõ nét trong chế độ tách đảo MG. Khi đó, vấn đề cân bằng công suất giữa nguồn gió trong điều kiện tốc độ gió thay đổi ngẫu nhiên với nhu cầu phụ tải thay đổi là bài toán điều khiển cần được cần phải được giải quyết. Các thông số chế độ như tần số và điện áp lưới MG trong trường hợp này được định hình bởi quá trình điều khiển kết hợp bộ biến đổi gắn với BESS cũng như bộ biến đổi gắn với nguồn điện gió DFIG.

Xu hướng sử dụng các nguồn điện gió đóng vai trò định hình lưới điện được thể hiện trong [8, 9]. Các nghiên cứu đã công bố liên quan tới điều khiển nguồn điện gió DFIG kết hợp BESS qua đó

điều khiển tần số và điện áp trong lưới điện được công bố tập trung vào việc gia tăng quán tính hệ thống dựa trên các bộ điều khiển độ dốc [10-12]. Để tăng được khả năng đáp ứng với các thay đổi công suất diễn ra nhanh, [13, 14] đã đề một bộ lưu điện lai ghép giữa bộ lưu điện truyền thống và siêu tụ để quản lý công suất tác dụng nguồn điện gió khi tách đảo. Trong đó, bộ lưu điện BESS được nối với phía phụ tải, trong khi siêu tụ được kết nối tại phía điện áp một chiều DC của bộ biến đổi kép của nguồn điện gió DFIG. Nghiên cứu [15] đã đề xuất một phương pháp cho phép thay đổi thông số độ dốc bộ điều khiển trong thời gian điều khiển sơ cấp nhằm hạn chế sự ảnh hưởng trực tiếp vào tốc độ gió. Các nghiên cứu trên đã phân nào bao trùm các giải pháp như sử dụng bộ điều khiển độ dốc, bộ điều khiển quán tính cũng như điều khiển phụ tải để điều khiển tần số, điện áp trong MG ở chế độ độc lập, máy phát điện gió DFIG và bộ lưu điện BESS đóng vai trò định hình lưới. Tuy nhiên, khả năng đáp ứng tần số của lưới điện tại thời điểm tách lưới, cũng như các thông số phụ tải cùng tốc độ gió liên tục thay đổi còn nhiều điều cần được nghiên cứu. Bài báo này đề xuất sử dụng mô hình DFIG kết hợp với BESS để giữ tần số và điện áp trong quá trình lưới hệ thống có sự cố và MG tách khỏi lưới hệ thống. Để đạt được mục tiêu đó, phương thức điều khiển bộ biến đổi công suất nối giữa BESS và lưới cần có khả năng hoạt động linh hoạt dựa trên sự thay đổi trạng thái của điểm kết nối lưới (PCC). Hiệu quả của phương pháp đề xuất được xác minh bằng mô phỏng trên công cụ Matlab/Simulink.

## 2. MÔ HÌNH MÁY PHÁT ĐIỆN CẢM ỨNG KÍCH TỪ KÉP

Phía rôto của DFIG được kết nối với lưới điện thông qua bộ chuyển đổi AC-DC, cuộn dây stato được nối với lưới điện qua máy biến áp. Do stato và rôto được cấp điện độc lập, máy phát điện này có hai chế độ hoạt động. Ở chế độ trên đồng bộ, có nguồn điện đưa vào mạng thông qua cuộn dây rôto và stato. Ở chế độ dưới đồng bộ, năng lượng chỉ được cung cấp qua stato, phía rôto tiêu thụ năng lượng thông qua bộ biến đổi DC-AC [16, 17]. Khi bắt đầu có gió, tốc độ quay của trục nối máy phát được tăng tốc thông qua hộp số, sau khi chuyển đổi được đưa vào máy phát điện có tốc độ tiêu chuẩn và ổn định thông qua trục truyền. Sơ đồ khối tổng thể của hệ thống DFIG được trình bày trong hình 1. Hệ thống bộ biến đổi gồm hai khối chính là: khối điều khiển cho bộ chuyển đổi phía máy phát (RSC) và khối điều khiển cho bộ chuyển đổi phía lưới (GSC).



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống DFIG.

### 2.1. Mô hình toán học của tuabin gió

Các tuabin gió tương tác với gió, hấp thụ một phần năng lượng động học của gió và biến nó thành năng lượng sử dụng được. Công suất của luồng gió được tính như sau:

$$P_m = 0,5\rho R^2 C_p (\beta, \lambda) V_w^3 \quad (1)$$

Trong đó:  $P_m$  là công suất cơ của tuabin (W),  $\rho$  là mật độ không khí ( $\text{kg/m}^3$ ) ( $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ ),  $V_w$  tốc độ gió (m/s),  $R$  bán kính cánh quạt tuabin,  $C_p (\lambda, \beta)$  là hệ số công suất của tuabin,  $\lambda$  là tỷ lệ tốc độ đầu cánh,  $\beta$  là góc lật cánh.

Với  $\omega_m$  là vận tốc góc của tuabin thì momen cơ trên trục tuabin được xác định như sau:

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_m} \quad (2)$$

## 2.2. Mô hình máy phát DFIG

Công suất tác dụng và công suất phản kháng phía stator của DFIG được xác định như sau:

$$Q_s = \frac{3}{2} u_s i_{sq} \quad (3)$$

$$P_s = \frac{3}{2} u_s i_{sd} \quad (4)$$

Việc mô tả quan hệ điện từ trong máy phát trong hệ quy chiếu  $dq$  được sử dụng để thiết kế hệ thống điều khiển của RSC. Mô hình toán học bộ điều khiển được đưa ra bởi [18]:

$$v_{rq} = \frac{L_m}{L_s} u_s - \frac{L_m}{L_s} \left( \frac{R_s}{L_s} \psi_{sq} + \omega_r \psi_{sd} \right) + \omega_{sl} \left( L_s - \frac{L_m^2}{L_s} \right) \quad (5)$$

$$v_{rd} = \frac{L_m}{L_s} \left( \frac{R_s}{L_s} \psi_{sd} + \omega_r \psi_{sq} \right) + \omega_{sl} \left( L_r - \frac{L_m^2}{L_s} \right) i_{rq} \quad (6)$$

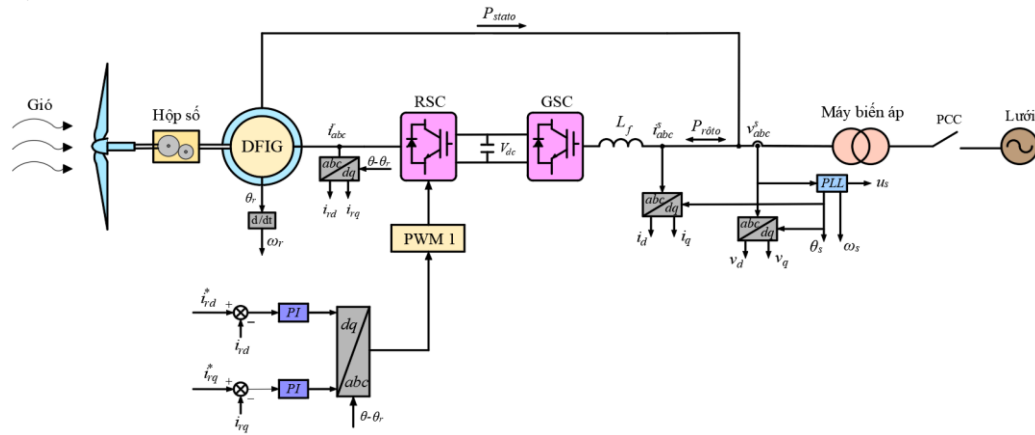
Phương trình momen điện trong máy phát DFIG:

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot (i_{rd} i_{sq} - i_{rq} i_{sd}) \quad (7)$$

Trong đó:  $\psi_{sq}$ ,  $\psi_{sd}$ ,  $\psi_{rq}$ ,  $\psi_{rd}$  là liên kết từ thông rôto trục  $dq$ ;  $u_{rd}$ ,  $u_{rq}$  là điện áp rôto trục  $dq$ ;  $v_{rd}$ ,  $v_{rq}$  là điện áp dọc trục và ngang trục phía rôto;  $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$  là dòng điện dọc trục và ngang trục phía stator;  $\omega_s$ ,  $\omega_r$  lần lượt là tần số góc đồng bộ và rôto;  $p$ ,  $u_s$ ,  $L_s$ ,  $L_r$ ,  $L_m$  lần lượt là số cặp cực, điện áp stator của máy phát, điện cảm stator, điện cảm rôto và điện cảm từ hóa

## 2.3. Điều khiển bộ biến đổi phía máy phát RSC

Bộ biến đổi phía máy phát được điều khiển chính bởi vòng lặp điều khiển dòng điện được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ điều khiển cho RSC

Với các tín hiệu đầu vào là các sai lệch dòng điện đo được so với dòng tham chiếu, tín hiệu đầu ra là các tín hiệu điện áp được đưa vào bộ tạo xung điều khiển PWM được tính toán như sau:

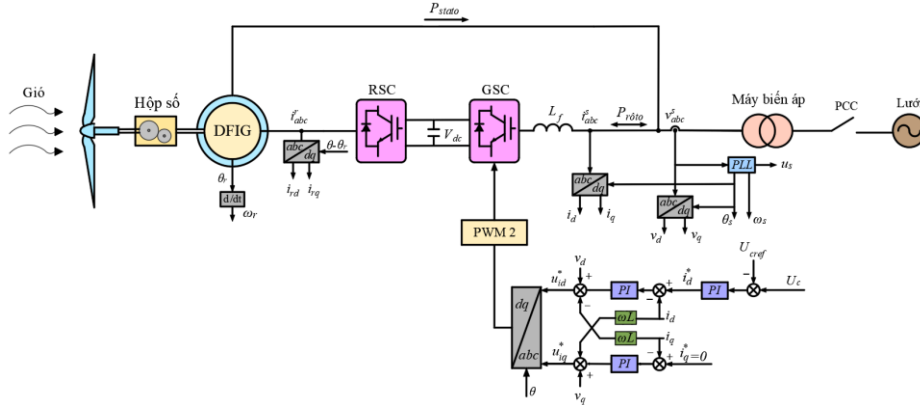
$$v_{rqc}^* = \left( K_{iP} + \frac{K_{iI}}{s} \right) (i_{rq}^* - i_{rq}) + u_{rq} \quad (8)$$

$$v_{rdc}^* = \left( K_{iP} + \frac{K_{iI}}{s} \right) (i_{rd}^* - i_{rd}) - u_{rd} \quad (9)$$

Trong đó,  $K_{iP}$  và  $K_{iI}$  lần lượt là hệ số tỉ lệ và hệ số tích phân của bộ điều khiển PI.

### 2.4. Điều khiển bộ chuyển đổi phía lưới GSC

Mục tiêu chính của bộ chuyển đổi phía lưới là điều khiển điện áp một chiều DC. Các vòng lặp điều khiển của bộ biến đổi phía lưới bao gồm vòng điều khiển dòng bên trong, điều khiển dòng điện qua bộ lọc lưới và vòng điều khiển chậm hơn bên ngoài điều khiển điện áp liên kết DC. Sơ đồ khối điều khiển bộ biến đổi GSC được mô tả trong hình 3.



Hình 3. Sơ đồ điều khiển cho GSC.

Vòng lặp điều khiển điện áp với biến trạng thái là điện áp trên điện dung đầu ra bộ biến đổi và biến đầu ra là dòng điện tham chiếu đưa vào vòng lặp điều khiển dòng điện.

$$i_d^* = k_{pv}(U_c - U_{cref}) + k_{iv} \int (U_c - U_{cref}) \quad (10)$$

Giả thiết quá trình động học của vòng lặp điều khiển dòng điện phía trong diễn ra nhanh hơn nhiều lần quá trình động học vòng lặp điện áp phía ngoài, do đó, với vòng lặp điện áp có thể chấp nhận  $i_d \approx i_d^*$  và  $i_q \approx i_q^*$ . Khi đó, vòng lặp điều khiển dòng điện với biến trạng thái là dòng trên điện kháng đầu ra bộ biến đổi được mô tả như phương trình (11) và (12):

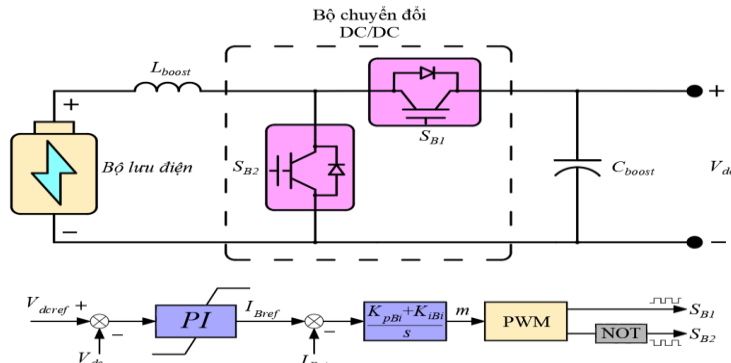
$$u_{id}^* = k_{pc}(i_d^* - \omega L i_d) + k_{ic} \int (i_d^* - \omega L i_d) + v_d - \omega L i_q \quad (11)$$

$$u_{iq}^* = k_{pc}(i_q^* - \omega L i_q) + k_{ic} \int (i_q^* - \omega L i_q) + v_q + \omega L i_d \quad (12)$$

## 3. MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN BỘ LƯU ĐIỆN

### 3.1. Điều khiển bộ biến đổi DC-DC bộ lưu điện

Mô hình BESS được kết nối với lưới điện siêu nhỏ được cho trong hình 4.



Hình 4. Hệ thống của BESS.

Mô hình BESS bao gồm: bộ lưu điện, bộ chuyển đổi điện áp một chiều DC/DC và bộ chuyển

đổi điện áp xoay chiều DC/AC. Mô hình này có thể áp dụng cho cả chế độ sạc và xả của BESS, do cấu hình của bộ biến đổi dựa trên điều chế độ rộng xung [19]. Bộ điều khiển đảm bảo chế độ nạp, xả của bộ lưu điện các mô hình đã được xác thực trong [20].

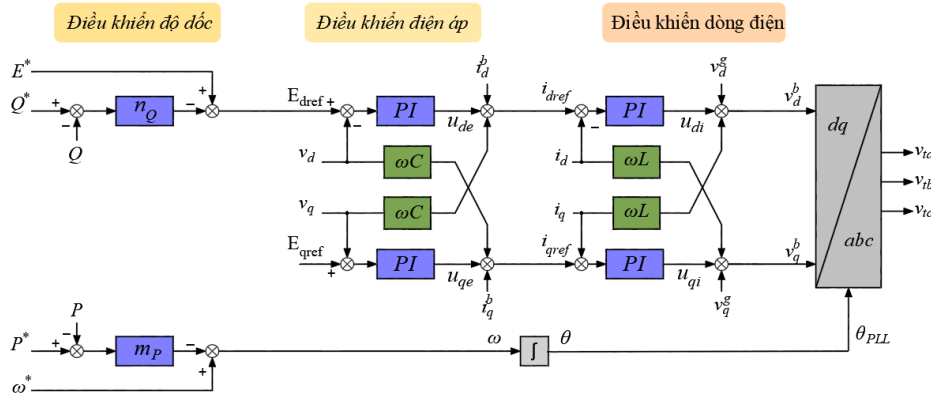
$$I_{Bref} = k_{pb}(V_{dcref} - V_{dc}) + k_{ib} \int (V_{dcref} - V_{dc}) \quad (13)$$

$$m = k_{pBi}(I_{Bref} - I_{Bat}) + k_{iBi} \int (I_{Bref} - I_{Bat}) \quad (14)$$

Trong đó:  $V_{dcref}$ ,  $V_{dc}$  – Điện áp một chiều đặt và điện áp một chiều đo của bộ lưu điện;  
 $I_{bref}$ ,  $I_{bat}$  – Dòng điện một chiều đặt và dòng điện một chiều của bộ lưu điện;  
 $m$  – Tín hiệu bộ điều khiển đưa vào bộ tạo xung.

### 3.2. Bộ điều khiển biến đổi DC/AC bộ lưu điện

Trong chế độ tách đảo, điểm PCC được mở ra, bộ biến đổi công suất của bộ lưu điện đóng vai trò giữ lưới, duy trì điện áp và tần số. Bộ điều khiển bên trong BESS được thiết kế theo hướng đảm bảo các yêu cầu về tần số và điện áp. Vòng lặp điều khiển dòng điện nằm bên trong với các thông số đầu vào được tạo bởi bộ điều khiển điện áp ở phía ngoài [21]. Vòng lặp điều khiển độ dốc được thiết kế phía ngoài dựa trên hệ số phân bổ công suất giữa các BESS và nguồn điện gió DFIG. Bộ điều khiển dòng điện với biến trạng thái là dòng trên điện kháng đầu ra bộ biến đổi được thiết kế trên hệ trục quay vuông góc  $dq$  được thể hiện trong hình 5.



Hình 5. Sơ đồ điều khiển hệ thống ở chế độ tách lưới.

Bộ điều khiển dòng điện với biến trạng thái là dòng trên điện kháng đầu ra bộ biến đổi được thiết kế trên hệ trục quay vuông góc  $dq$ . Vector tín hiệu đầu ra bộ điều khiển  $[u_{di}, u_{qi}]$  có giá trị:

$$u_{di} = v_d^b + \omega L i_q - v_d^g \quad (15)$$

$$u_{qi} = v_q^b + \omega L i_d - v_q^g \quad (16)$$

Giả thiết quá trình động học của vòng lặp điều khiển dòng điện phía trong diễn ra nhanh hơn rất nhiều lần quá trình động học vòng lặp điện áp phía ngoài, do đó, với vòng lặp điện áp có thể chấp nhận. Khi đó, vector tín hiệu đầu ra bộ điều khiển  $[u_{de}, u_{qe}]$  được mô tả như sau:

$$u_{de} = i_d - i_d^b + \omega C v_q \quad (17)$$

$$u_{qe} = i_q - i_q^b - \omega C v_d \quad (18)$$

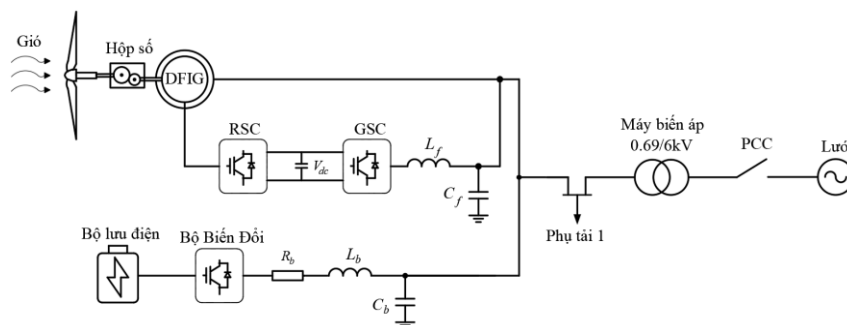
Bộ điều khiển droop control với vector biến đầu vào công suất tác dụng và phản kháng phát ra  $[P, Q]$  và vector biến đầu ra  $[\omega, E]$  được xác định theo (19, 20):

$$\omega = \omega^* - m_p(P^* - P) \quad (19)$$

$$E_{dref} = E^* - n_Q(Q^* - Q) \quad (20)$$

#### 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Quá trình mô phỏng trường hợp lưới điện cụ thể nhằm đánh giá tính hiệu quả của mô hình máy phát điện gió DFIG kết hợp với bộ lưu điện trong các điều kiện hoạt động khác nhau. Các điều kiện cần kiểm tra bao gồm lưới hệ thống ngắt kết nối, tốc độ gió thay đổi và thay đổi cân bằng công suất trong lưới. Thông số các phần tử trong sơ đồ được cho trong bảng 1.



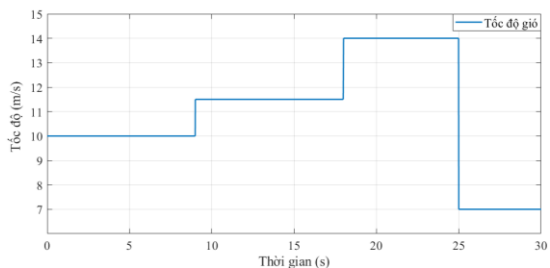
Hình 6. Sơ đồ lưới điện nghiên cứu.

Bảng 1. Thông số mô phỏng.

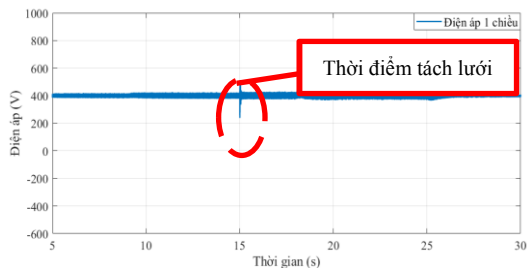
Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
$L_f$	0,2 mH	<b>Tuabin</b>	
$C_f$	0,1 mF	$P_{dm}$ (MW)	1,5
$V_{dc}$	400 V	$S_{dm}$ (MA)	1,6
$L_b$	0,53 mH	$V_{base}$ (m/s)	10
$R_b$	1,7 mΩ	<b>DFIG: <math>S_n = 1,6</math> MVA; <math>U_n = 690</math> V; <math>f = 50</math> Hz</b>	
$C_b$	1 mF		
<b>Bộ lưu điện</b>		$R_s$	0,0084 pu
Điện áp bộ lưu điện	1035 V	$Ll_s$	0,16 pu
Dung lượng định mức	500 Ah	$R_r$	0,0082 pu
<b>Phụ tải</b>		$Ll_r$	0,14 pu
Công suất	1,5+j0,5 MVA	$L_m$	5,1 pu
<b>Bộ điều khiển VSC của DFIG</b>		<b>Bộ điều khiển VSC của BESS</b>	
$K_{pv}$	5	$K_{pv}$	10
$K_{iv}$	10	$K_{iv}$	25
$K_{pc}$	0.4	$K_{pc}$	4
$K_{ic}$	12	$K_{ic}$	10

Hai kịch bản điều khiển lưới điện sử dụng hệ thống DFIG kết hợp với bộ lưu điện là lưới điện ở chế độ nối lưới và chế độ tách lưới. Hiệu quả của mô hình điều khiển được kiểm chứng thông qua các thông số: công suất, tần số và điện áp. Quá trình mô phỏng diễn ra khi bộ lưu điện nối lưới tại thời điểm ban đầu với tốc độ gió 10 m/s (hình 7), phụ tải 1 có công suất: 1,5 MW. Tại thời điểm 15s hệ thống xảy ra sự cố trên lưới điện và điểm PCC được mở ra. Cụm lưới nhỏ bao gồm DFIG, BESS và phụ tải địa phương vẫn tiếp tục hoạt động trong chế độ tách lưới. Điện áp một chiều giữa hai bộ biến đổi của DFIG phản ánh phần nào tình trạng hoạt động của máy phát. Ở đây, điện áp một chiều  $V_{dc}$  bộ biến đổi phía Roto (hình 8) cho thấy điện áp này được giữ vững khi xảy ra sự cố trên lưới lớn dẫn đến tách lưới, cho dù có dao động điện áp xuất hiện. Kết quả này khẳng định quá trình phối hợp điều khiển trên các bộ biến đổi của hệ thống đề xuất đáp ứng được khi hệ thống điện lớn gặp sự cố và lưới MG cần chuyển sang chế độ độc lập. Tần số lưới điện là thông số quan trọng hàng đầu được quan tâm trong các nghiên cứu về tách lưới khi lưới hệ thống gặp sự cố, do tần số là thông số toàn cục ảnh hưởng tới toàn bộ các phụ tải tron lưới.

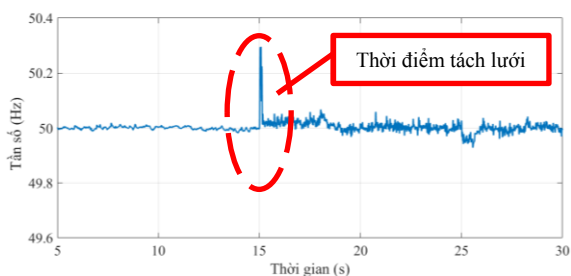
Kết quả tần số lưới điện ở hình 9 cho thấy: mô hình đề xuất có khả năng giữ tần số tốt khi có biến động lớn. Tuy nhiên, khi tần số lớn hơn 50,2 trong thời gian quá độ sẽ là vấn đề cần được điều chỉnh trong các bộ điều khiển để giảm biến động về tần số. Các biến động công suất tác dụng và công suất phản kháng tại đầu ra nguồn điện gió DFIG đề xuất được thể hiện trong hình 10 và hình 11.



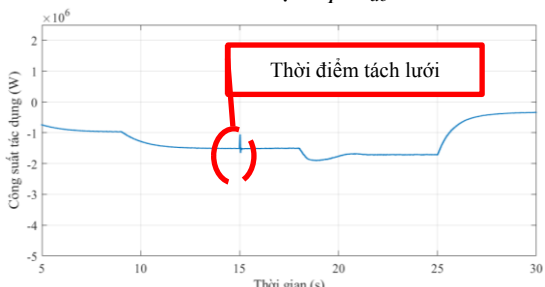
**Hình 7. Tốc độ gió.**



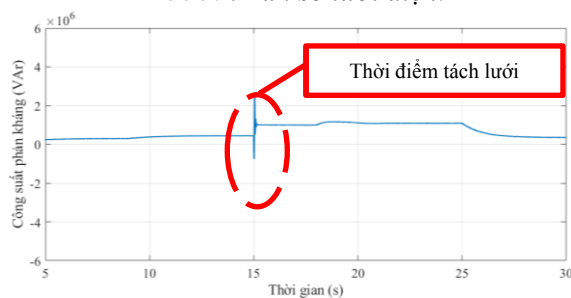
**Hình 8. Điện áp  $V_{dc}$ .**



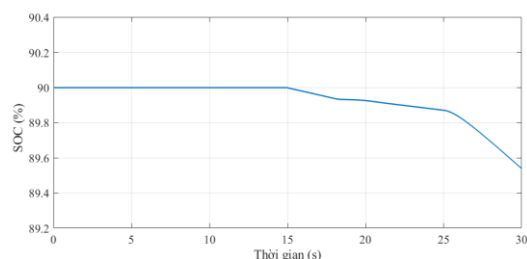
**Hình 9. Tần số lưới điện.**



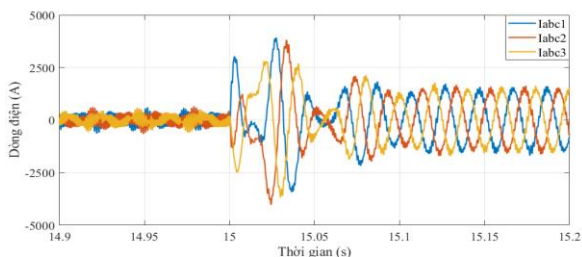
**Hình 10. Công suất tác dụng.**



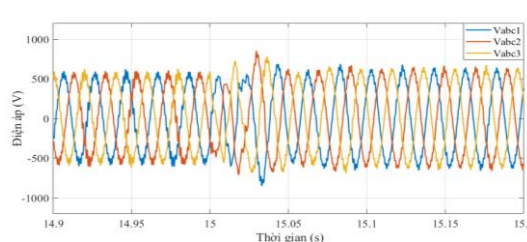
**Hình 11. Công suất phản kháng.**



**Hình 12. Chế độ sạc xả của bộ lưu điện.**



**Hình 13. Dòng điện lưới khi tải thay đổi.**



**Hình 14. Điện áp lưới khi tải thay đổi.**

Kết quả cho thấy, khi xảy ra hiện tượng tách lưới DFIG có sự thay đổi khác nhau giữa hai dạng công suất này. Công suất tác dụng có xu hướng giữ nguyên trước và sau khi tách lưới, điều này có thể giải thích được dựa trên công suất tác dụng đưa vào lưới điện được bổ sung thay thế kịp thời từ BESS. Công suất phản kháng thay đổi tương đối lớn, điều này khẳng định đặc tính đặc thù của máy phát dạng cảm ứng DFIG tiêu thụ một lượng lớn công suất phản kháng và cũng là một nhược điểm của hệ này. Để có thể ổn định lượng công suất phản kháng tiêu hao bởi các nguồn này có thể dùng các bộ bù công suất phản kháng nhằm sản sinh ra một nguồn công suất

phản kháng ngay tại vị trí đó. Tình trạng sạc và xả bộ lưu điện được thể hiện trong hình 12 cho thấy sự phản ứng nhanh chóng của BESS, khi có biến động mất cân bằng công suất trong lưới xuất hiện BESS chuyển sang trạng thái xả nhằm nhanh chóng lấy lại cân bằng công suất. Nhờ đó, điện áp và tần số của lưới điện được kiểm soát ổn định trong phạm vi cho phép. Với sự tham gia của vòng lặp điều khiển điện áp kết hợp với điều khiển độ dốc giữ điện áp lưới trong giới hạn trước khi có sự can thiệp của các cấp điều khiển cao hơn. Hình 13, hình 14 thể hiện quá trình thay đổi dòng điện, điện áp lưới khi thay đổi công suất phụ tải.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo này đã tiến hành xây dựng mô hình điều khiển chung cho nguồn điện gió sử dụng máy phát DFIG kết hợp cùng bộ lưu điện. Mô hình điều khiển được xây dựng nhằm đáp ứng các kinh bản bất lợi cho lưới điện như khi lưới hệ thống tách ra do sự cố, tốc độ gió thay đổi khó đoán và sự thay đổi nhu cầu phụ tải theo thời gian. Sự thay đổi trạng thái đóng cắt của điểm kết nối chung PCC cũng như sự thay đổi các thông số chế độ như tần số và điện áp được xem xét đưa vào mô hình điều khiển. Mô hình điều khiển đã được mô phỏng trên Matlab/Simulink. Kết quả cho thấy, khi lưới hệ thống sự cố và tách kết nối lưới điện, tần số và điện áp trong lưới điện nhỏ vẫn được duy trì trong giới hạn cho phép. Khi có sự cố trên lưới điện, BESS đóng vai trò định hình lưới để duy trì ổn định tần số và điện áp của lưới điện. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình đề xuất đã đáp ứng tốt về duy trì điện áp và tần số lưới điện nhỏ trong quá trình tách khỏi lưới hệ thống.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. E. Hossain, "Improvement of transient stability of DFIG based wind generator by using of resistive solid state fault current limiter," Ain Shams Engineering Journal, vol. 9, no. 4, pp. 2557–2570, (2018).
- [2]. J. J. Justo, et al, "Doubly-fed induction generator based wind turbines: A comprehensive review of fault ride-through strategies," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 45. Elsevier Ltd, pp. 447–467, (2015). doi: 10.1016/j.rser.2015.01.064.
- [3]. E. Bekiroglu and M. D. Yazar, "MPPT Control of Grid Connected DFIG at Variable Wind Speed," Energies (Basel), vol. 15, no. 9, (2022), doi: 10.3390/en15093146.
- [4]. Cardenas, Roberto, et al. "Control Strategies for Enhanced Power Smoothing in Wind Energy Systems Using a Flywheel Driven by a Vector-Controlled Induction Machine." IEEE Transactions on Industrial Electronics. Institute of Electrical and Electronics Engineers, (2001). <https://doi.org/10.1109/41.925590>.
- [5]. C. Abbey and G. Joos, "Supercapacitor energy storage for wind energy applications," IEEE Trans Ind Appl, vol. 43, no. 3, pp. 769–776, (2007), doi: 10.1109/TIA.2007.895768.
- [6]. Q. Li, S. S. Choi, Y. Yuan, and D. L. Yao, "On the determination of battery energy storage capacity and short-term power dispatch of a wind farm," IEEE Trans Sustain Energy, vol. 2, no. 2, pp. 148–158, (2011), doi: 10.1109/TSSTE.2010.2095434.
- [7]. T. T. Nguyen, H. J. Yoo, and H. M. Kim, "Application of model predictive control to bess for microgrid control," Energies (Basel), vol. 8, no. 8, pp. 8798–8813, (2015), doi: 10.3390/en8088798.
- [8]. L. Huang et al, "Challenges and potential solutions of grid-forming converters applied to wind power generation system—An overview," Front Energy Res, vol. 11, (2023), doi: 10.3389/fenrg.2023.1040781.
- [9]. T.-T. Nguyen, T. Vu, S. Paudyal, F. Blaabjerg, and T. L. Vu, "Grid-Forming Inverter-based Wind Turbine Generators: Comprehensive Review, Comparative Analysis, and Recommendations," (2022), [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2203.02105>
- [10]. Gholamrezaie, et al. "An Optimal Frequency Control Method Through a Dynamic Load Frequency Control (LFC) Model Incorporating Wind Farm." IEEE Syst. J., 12, 392–401, (2018).
- [11]. Shahabi, M.; Haghifam, M.R.; Mohamadian. "Microgrid Dynamic Performance Improvement Using a Doubly Fed Induction Wind Generator." IEEE Trans. Energy Convers, 24, 137–145, (2009).

- [12]. Han, Y.; Ha, J. “*Droop Control Using Impedance of Grid-Integrated DFIG within Microgrid*”. IEEE Trans. Energy Convers, 34, 88–97, (2019).
- [13]. Mendis, N.; Muttaqi, K.M.; Perera, S. “*Active power management of a super capacitor-battery hybrid energy storage system for standalone operation of DFIG based wind turbines*”. In proceedings of the 2012 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Las Vegas, NV, USA, 7–11; pp. 1–8, (2012).
- [14]. Mendis, N.; Muttaqi, K.M.; Perera, S. “*Management of Low- and High-Frequency Power Components in Demand-Generation Fluctuations of a DFIG-Based Wind-Dominated RAPS System Using Hybrid Energy Storage*”. IEEE Trans. Ind. Appl. 50, 2258–2268, (2014).
- [15]. Fakhari Moghaddam Arani et al. “*Dynamic Droop Control for Wind Turbines Participating in Primary Frequency Regulation in Microgrids*”. IEEE Trans. Smart Grid, 9, 5742–5751. TSG.2017.2696339, (2018).
- [16]. M. G. Molina and J. Manuel Gimenez Alvarez, “*Technical and Regulatory Exigencies for Grid Connection of Wind Generation*.” [Online]. Available: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- [17]. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE).
- [18]. M. Alibeik and E. C. dos Santos, “*High-Torque Electric Machines: State of the Art and Comparison*,” Machines, vol. 10, no. 8. MDPI, (2022). doi: 10.3390/machines10080636.
- [19]. T. Tigerprints and P. Hazra, “*Enhancement of Inertial Response of Inverter Based Energy Enhancement of Inertial Response of Inverter Based Energy System and Its Application for Dynamic Performance System and Its Application for Dynamic Performance Improvement of a Microgrid Improvement of a Microgrid*,” (2020). [Online]. Available: [https://tigerprints.clemson.edu/all\\_theses](https://tigerprints.clemson.edu/all_theses)
- [20]. Tremblay, O.; Dessaint, L.-A. Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications. **World Electr. Veh. J.**, 3, 289-298, (2009). <https://doi.org/10.3390/wevj302028>
- [21]. A. Yazdani and R. Iravani, “*A unified dynamic model and control for the voltage-sourced converter under unbalanced grid conditions*,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, no. 3, pp. 1620–1629, (2006).

## **ABSTRACT**

### **Frequency and voltage control in microgrid-based hybrid DFIG -BESS in island mode**

*Wind power using a Doubly Fed Induction Generator (DFIG) is widely used due to its many outstanding features. However, in the microgrid (MG) in off-grid mode, the DFIG needs support from other sources to be able to work stability. This paper proposes a model of DFIG combined with a battery energy storage system capable of self-maintaining grid voltage and frequency during isolation from the system grid. The converter control system attached to the BESS is built to increase the flexibility of the proposed model, taking into account the state of the system grid, local load needs, and allowable capacity of the BESS, as well as the wind speed. This paper also simulated and analyzed the results when the microgrid disconnected from the system grid on the tool Matlab/Simulink. The frequency and voltage response of the proposed model, when isolation occurs, are completely within the allowable limits.*

**Keywords:** Microgrid; Doubly Fed Induction Generator; Battery Energy Storage System; Frequency and voltage control.