

# CHIẾN LƯỢC ĐIỀU KHIỂN TUABIN GIÓ SỬ DỤNG MÁY PHÁT ĐIỆN NAM CHÂM VĨNH CỬU KHI CÓ SỰ CỐ TRONG LƯỚI ĐIỆN

## CONTROL STRATEGIES OF PMSG-BASED WIND TURBINES WHEN THE FAULT OCCURS ON THE ONSHORE AC GRID

Nguyễn Thị Hồng Yến<sup>1\*</sup>, Lê Xuân Sanh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Điện lực

\*Tác giả liên hệ: yennth@epu.edu.vn

(Nhận bài: 26/10/2020; Chấp nhận đăng: 28/4/2021)

**Tóm tắt** - Năng lượng gió ngày càng được chú trọng và phát triển. các trang trại gió đã và đang được xây dựng nhiều để kết nối vào lưới điện. Sự xâm nhập của năng lượng gió vào hệ thống điện tiếp tục tăng có nghĩa là tỷ lệ điện năng từ các nguồn điện truyền thống ngày càng giảm, mang lại một số lo ngại về vận hành của hệ thống điện. Khi xảy ra sự cố, yêu cầu bắt buộc được đưa ra là các trang trại gió cần có chiến lược điều khiển để góp phần thực hiện kiểm soát các thông số trong hệ thống. Bài báo trình bày chiến lược điều khiển không cần liên kết truyền thông để cho phép hệ thống truyền tải cao áp một chiều kết nối trang trại gió ngoài khơi với lưới điện trên bờ đảm bảo khả năng vượt qua điện áp thấp bằng cách kết hợp sử dụng chiến lược điều khiển giảm điện áp ngoài khơi và điện trở chopper.

**Từ khóa** - Năng lượng gió ngoài khơi; vượt qua điện áp thấp; hệ thống truyền tải điện cao áp một chiều; bộ chuyển đổi nguồn áp; máy phát điện nam châm vĩnh cửu

### 1. Đặt vấn đề

Năng lượng tái tạo ngày càng phát triển giúp đáp ứng nhu cầu năng lượng, giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch, cải thiện môi trường và làm cho nền sản xuất năng lượng bền vững hơn. Trong các nguồn năng lượng tái tạo, năng lượng gió đang dẫn đầu về chi phí, hiệu suất, độ tin cậy và giá cả. Cả trên đất liền và ngoài khơi, năng lượng gió là chìa khóa để mở ra một tương lai năng lượng bền vững.

Trong tương lai, quy mô của các trang trại gió ngoài khơi sẽ tăng lên, cũng như khoảng cách từ trang trại tới bờ sẽ lớn hơn. Do đó, cần có một công nghệ truyền tải điện tốt để kết nối các trang trại gió lớn ngoài khơi tới lưới điện trên đất liền. Với sự xuất hiện của các thiết bị điện tử có thể điều khiển điện áp và công suất cao như IGBT, GTO và IGCT, việc truyền tải điện năng từ ngoài khơi về đất liền bằng hệ thống truyền tải điện cao áp một chiều (HVDC) mang tới nhiều ưu điểm hơn so với truyền tải điện cao áp xoay chiều (HVAC) [1].

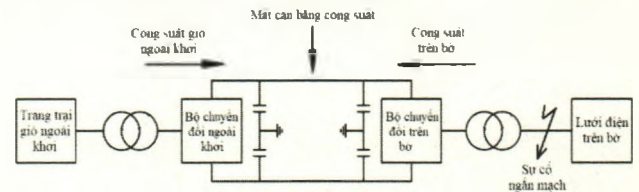
Tuy nhiên, việc truyền tải bằng công nghệ HVDC làm cho nguồn điện gió gần như tách biệt hoàn toàn với hệ thống điện trên bờ, dẫn đến nguồn điện gió không thể phát hiện và có đáp ứng kịp thời khi xảy ra sự cố. Bài báo sẽ đề xuất chiến lược điều khiển tuabin gió sử dụng máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG) để hệ thống điện gió ngoài khơi có thể đáp ứng được các yêu cầu đề ra.

Khi một trang trại gió ngoài khơi (OWF) được kết nối với lưới điện chính thông qua HVDC sử dụng bộ chuyển đổi nguồn áp (VSC), việc truyền tải công suất được điều

**Abstract** - Wind energy is increasingly focused and developed, more and more wind farms are being built to connect to the grid. The increased continuous penetration of wind power into the electrical network system makes the decreased continuous proportion of electricity from traditional electricity sources which brings some concerns about the operation of the electrical network system. The incident which occurs the electrical grid, requires to follow that the wind farms, however its need to have the control strategies to contribute to the control of the electrical parameters in the system. This article evaluate the communication free control strategy to allow the high voltage direct current system connecting the offshore wind farm and the onshore alternating current networks and to ensure respectively fault ride through capability using combine the voltage reduction method and chopper resistor.

**Key words** - Offshore wind farm; Fault Ride-through; HVDC; VSC; PMSG

kiểm bởi các bộ chuyển đổi. Khi sự cố xảy ra ở lưới điện trên bờ (Hình 1), bộ chuyển đổi trên bờ không thể truyền tải cả năng lượng điện do tuabin gió tạo ra vào lưới, nhưng OWF vẫn bơm công suất cho bộ chuyển đổi ngoài khơi, dẫn đến mất cân bằng công suất giữa hai đầu bộ chuyển đổi. Nếu không có bất kỳ chiến lược kiểm soát nào sẽ làm gia tăng nhanh chóng điện áp một chiều, có thể làm quá tải cho các van bán dẫn, tụ điện, cáp và thậm chí làm hỏng chúng. Vì vậy một số chiến lược cần được thực hiện để điều chỉnh sự mất cân bằng công suất.



Hình 1. Sự cố ở lưới điện trên bờ

Trong phạm vi bài báo này chỉ đề cập đến sự cố giảm điện áp đột ngột. Với sự cố này, hệ thống điện yêu cầu nguồn điện gió phải có khả năng vượt qua điện áp thấp (FRT) để tránh mất mát đáng kể sản lượng điện gió. Điều này có nghĩa là các tuabin gió có thể chịu được thời gian điện áp thấp để duy trì kết nối với lưới điện. Điện năng từ tuabin gió phải ngay lập tức cung cấp công suất tác dụng và phản kháng để phục hồi tần số và điện áp khi sự cố đã kết thúc.

Những nghiên cứu hiện nay [2-5] chủ yếu sử dụng thêm các thiết bị bên ngoài như FACT, STATCOM, điện trở hãm

<sup>1</sup> Electric Power University (Nguyen Thi Hong Yen, Le Xuan Sanh)

(brake chopper) để đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật. Đây là giải pháp đáp ứng các yêu cầu tiêu chuẩn vận hành của lưới điện, nhưng nó làm tăng chi phí tổng thể. Bên cạnh đó, một số tác giả khác cho rằng, phương pháp giảm công suất điện gió truyền qua bộ chuyển đổi ngoài khơi bằng cách giảm công suất do chính tuabin gió tạo ra là một giải pháp phù hợp. Tuy nhiên, tốc độ thay đổi của góc nghiêng cánh tuabin (pitch angle) là một thách thức lớn [6]. Như vậy, các kết quả đã nghiên cứu cho thấy vẫn còn nhược điểm về kỹ thuật hoặc kinh tế.

**2. Các thành phần của lưới điện có kết nối với hệ thống điện gió ngoài khơi**

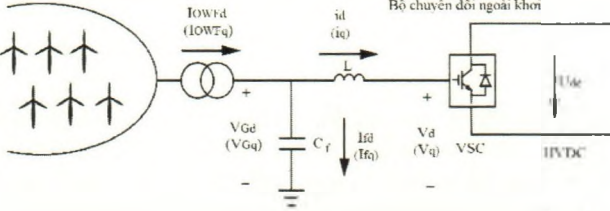
**2.1. Hệ thống truyền tải điện cao áp một chiều**

Quyết định lựa chọn cách thức truyền tải điện năng từ trang trại gió vào lưới điện trên bờ bằng HVDC hay HVAC phụ thuộc vào một số yếu tố, đặc biệt là khoảng cách của dự án điện gió đến bờ. Với khoảng cách trên 80km nên sử dụng HVDC [7]. HVDC gồm bộ chuyển đổi ngoài khơi, bộ chuyển đổi trên bờ và dây dẫn.

**2.1.1. Bộ chuyển đổi ngoài khơi**

VSC hoạt động dựa trên hai mạch vòng điều khiển. Vòng trong để kiểm soát dòng điện. Vòng ngoài để điều khiển điện áp xoay chiều và cung cấp giá trị dòng điện cho mạch vòng điều khiển dòng điện vòng trong. Bộ điều khiển được sử dụng là bộ điều khiển tích phân tỷ lệ (PI).

Trang trại gió ngoài khơi



**Hình 2.** Trang trại gió ngoài khơi kết nối với bộ chuyển đổi ngoài khơi

Áp dụng định luật Kirchoff về điện áp và cường độ dòng điện cho đoạn mạch ở hình 2 theo tọa độ dq, sau đó sử dụng điều khiển tầng bao gồm vòng lặp bên trong và vòng lặp bên ngoài, ta có các phương trình sau:

$$v_d^* = v_{Gd} + \omega L i_q - k_{p1}(i_d^* - i_d) - k_{i1} \int (i_d^* - i_d) \quad (1)$$

$$v_q^* = v_{Gq} - \omega L i_d - k_{p1}(i_q^* - i_q) - k_{i1} \int (i_q^* - i_q) \quad (2)$$

$$i_d^* = i_{OWFd} + \omega C_f v_{Gq} - k_{p2}(v_{Gd}^* - v_{Gd}) - k_{i2} \int (v_{Gd}^* - v_{Gd}) \quad (3)$$

$$i_q^* = i_{OWFq} - \omega C_f v_{Gd} - k_{p2}(v_{Gq}^* - v_{Gq}) - k_{i2} \int (v_{Gq}^* - v_{Gq}) \quad (4)$$

Trong đó:

$v_{Gd}$  và  $v_{Gq}$ : tương ứng là thành phần d và q của điện áp hệ thống điện gió ngoài khơi, V;

$i_{OWFd}$  và  $i_{OWFq}$ : tương ứng là thành phần d và q của dòng điện từ hệ thống điện gió ngoài khơi, A;

$v_d$  và  $v_q$ : tương ứng là thành phần d và q của điện áp tại đầu vào bộ chuyển đổi, V;

$i_d$  và  $i_q$ : tương ứng là thành phần d và q của dòng điện đi vào bộ chuyển đổi, A;

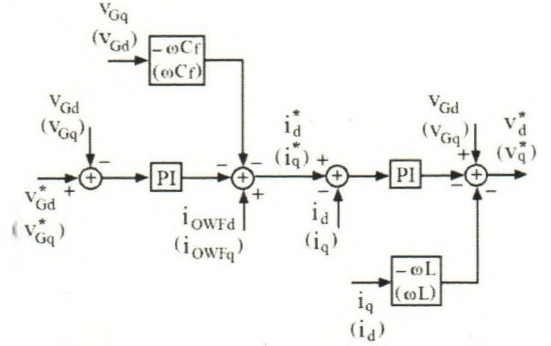
$C_f$ : là điện dung, F;

$L$ : là độ tự cảm, H;

$\omega$ : là tần số của lưới điện ngoài khơi, rad/s;

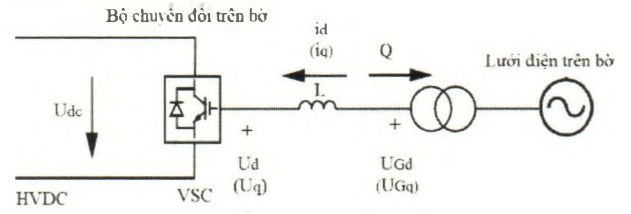
$k_{p1}$ ,  $k_{i1}$  và  $k_{p2}$ ,  $k_{i2}$ : là tham số của các bộ điều khiển PI.

Sơ đồ điều khiển của bộ chuyển đổi ngoài khơi được tổng hợp và thể hiện trên Hình 3.



**Hình 3.** Sơ đồ điều khiển bộ chuyển đổi ngoài khơi

**2.1.2. Bộ chuyển đổi trên bờ**



**Hình 4.** Bộ chuyển đổi trên bờ kết nối với lưới điện trên bờ

Tương tự như phần 2.1.1, ta có các phương trình sau:

$$U_d^* = U_{Gd} + \omega L i_q - k_{p3}(I_d^* - I_d) - k_{i3} \int (I_d^* - I_d) \quad (5)$$

$$U_q^* = U_{Gq} - \omega L i_d - k_{p3}(I_q^* - I_q) - k_{i3} \int (I_q^* - I_q) \quad (6)$$

$$I_d^* = k_{p4}(V_{dc}^* - V_{dc}) + k_{i4} \int (V_{dc}^* - V_{dc}) \quad (7)$$

$$I_q^* = k_{p5}(Q^* - Q) + k_{i5} \int (Q^* - Q) \quad (8)$$

Trong đó:

$U_d$  và  $U_q$ : tương ứng là thành phần d và q của điện áp tại đầu vào bộ chuyển đổi, V;

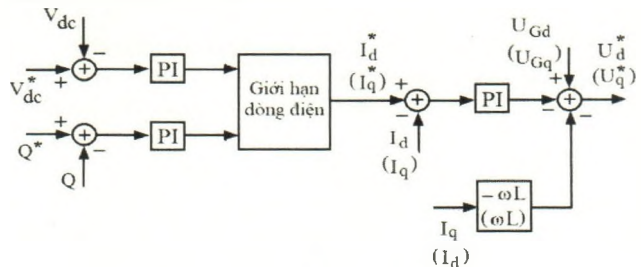
$U_{Gd}$  và  $U_{Gq}$ : tương ứng là thành phần d và q của điện áp lưới điện trên bờ, V;

$I_d$  và  $I_q$ : tương ứng là thành phần d và q của dòng điện đi vào bộ chuyển đổi, A;

$\omega$ : là tần số của lưới điện trên bờ, rad/s;

$k_{p3}$ ,  $k_{i3}$ ;  $k_{p4}$ ,  $k_{i4}$  và  $k_{p5}$ ,  $k_{i5}$ : là tham số của các bộ điều khiển PI.

Sơ đồ điều khiển của bộ chuyển đổi trên bờ được tổng hợp và thể hiện trên Hình 5.

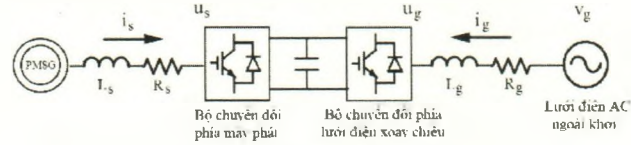


**Hình 5.** Sơ đồ điều khiển bộ chuyển đổi trên bờ

2.2. Tuabin gió

Hiện nay, hai loại tuabin gió chiếm thị phần nhiều nhất là máy phát điện cảm ứng kép (DFIG) và máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG). Dựa trên những ưu điểm và xu hướng sử dụng hiện nay [8], bài báo nghiên cứu mô hình tuabin gió PMSG.

Bộ điều khiển tuabin gió bao gồm hai phần: Bộ chuyển đổi phía máy phát (GSC) và bộ chuyển đổi phía lưới điện xoay chiều (ACGSC) được thể hiện như Hình 6.



Hình 6. Tuabin gió PMSG

2.2.1. Bộ chuyển đổi phía máy phát

Mô hình động của máy phát PMSG có thể được viết dưới dạng quan hệ giữa thành phần d và q của điện áp và dòng điện. Từ đó, sử dụng điều khiển tầng bao gồm vòng lặp bên trong và vòng lặp bên ngoài, ta có các phương trình sau:

$$u_{sd} = -R_s i_{sd} - L_s \frac{di_{sd}}{dt} + \omega L_s i_{sq} \tag{9}$$

$$u_{sq} = -R_s i_{sq} - L_s \frac{di_{sq}}{dt} - \omega L_s i_{sd} + \omega \psi \tag{10}$$

$$i_{sd}^* = \omega L_s i_{sq} + k_{p6} (i_{sd}^* - i_{sd}) + k_{i6} \int (i_{sd}^* - i_{sd}) \tag{11}$$

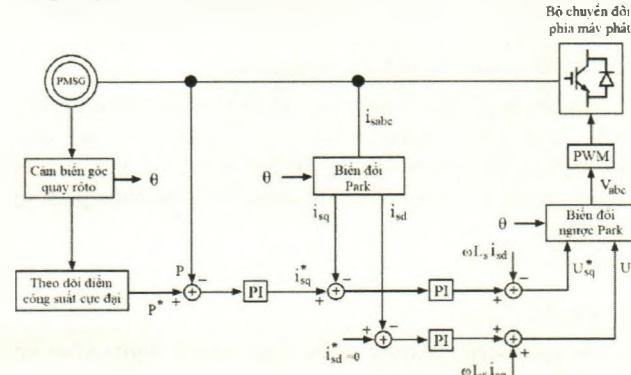
$$i_{sq}^* = \omega \psi - \omega L_s i_{sd} + k_{p6} (i_{sq}^* - i_{sq}) + k_{i6} \int (i_{sq}^* - i_{sq}) \tag{12}$$

$$i_{sq}^* = k_{p7} (P^* - P) + k_{i7} \int (P^* - P) \tag{13}$$

Trong đó:

- $i_{sd}$  và  $i_{sq}$ : tương ứng là thành phần d và q của dòng điện stato, A;
- $u_{sd}$  và  $u_{sq}$ : tương ứng là thành phần d và q của điện áp stato, V;
- $R_s$ : là điện trở của máy phát,  $\Omega$ ;
- $L_s$ : là điện cảm của máy phát, H;
- $\omega$ : là tốc độ của máy phát, rad/s;
- $\psi$ : là từ thông, Wb;
- $k_{p6}$ ,  $k_{i6}$  và  $k_{p7}$ ,  $k_{i7}$ : là tham số của các bộ điều khiển PI.

Sơ đồ điều khiển của bộ chuyển đổi phía máy phát được tổng hợp và thể hiện trên Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ điều khiển bộ chuyển đổi phía máy phát

2.2.2. Bộ chuyển đổi phía lưới

Tương tự như phần 2.2.1, ta có các phương trình sau:

$$u_{gd} = v_{gd} - R_g i_{gd} - L_g \frac{di_{gd}}{dt} + \omega L_g i_{gq} \tag{14}$$

$$u_{gq} = v_{gq} - R_g i_{gq} - L_g \frac{di_{gq}}{dt} - \omega L_g i_{gd} \tag{15}$$

$$i_{gd}^* = v_{gd} + \omega L_g i_{gq} - k_{p8} (i_{gd}^* - i_{gd}) - k_{i8} \int (i_{gd}^* - i_{gd}) \tag{16}$$

$$i_{gq}^* = v_{gq} - \omega L_g i_{gd} - k_{p8} (i_{gq}^* - i_{gq}) - k_{i8} \int (i_{gq}^* - i_{gq}) \tag{17}$$

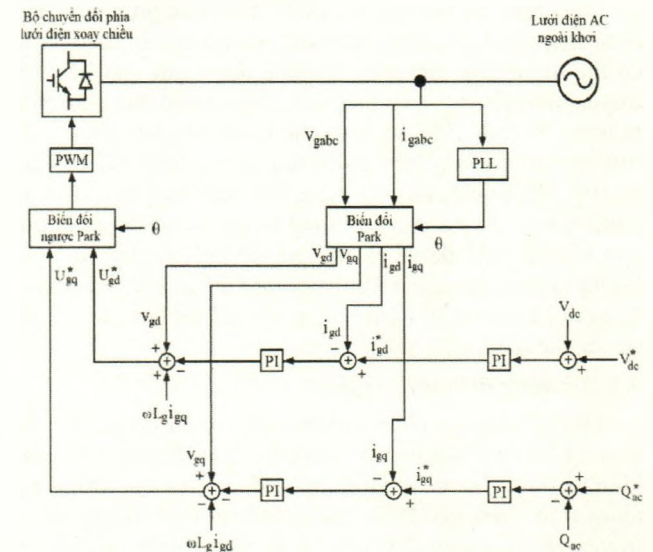
$$i_{sd}^* = k_{p9} (V_{dc}^* - V_{dc}) + k_{i9} \int (V_{dc}^* - V_{dc}) \tag{18}$$

$$i_{gq}^* = k_{p10} (Q_{ac}^* - Q_{ac}) + k_{i10} \int (Q_{ac}^* - Q_{ac}) \tag{19}$$

Trong đó:

- $u_{gd}$  và  $u_{gq}$ : tương ứng là thành phần d và q của điện áp tại đầu vào bộ chuyển đổi, V;
- $v_{gd}$  và  $v_{gq}$ : tương ứng là thành phần d và q của điện áp hệ thống điện gió ngoài khơi, V;
- $i_{gd}$  và  $i_{gq}$ : tương ứng là thành phần d và q của dòng điện đi vào bộ biến đổi, A;
- $R_g$ : là điện trở ở giữa bộ chuyển đổi và hệ thống điện gió ngoài khơi,  $\Omega$ ;
- $L_g$ : là điện cảm ở giữa bộ chuyển đổi và hệ thống điện gió ngoài khơi, H;
- $\omega$ : là tần số của lưới điện ngoài khơi, rad/s;
- $k_{p8}$ ,  $k_{i8}$ ;  $k_{p9}$ ,  $k_{i9}$  và  $k_{p10}$ ,  $k_{i10}$ : là tham số của các bộ điều khiển PI.

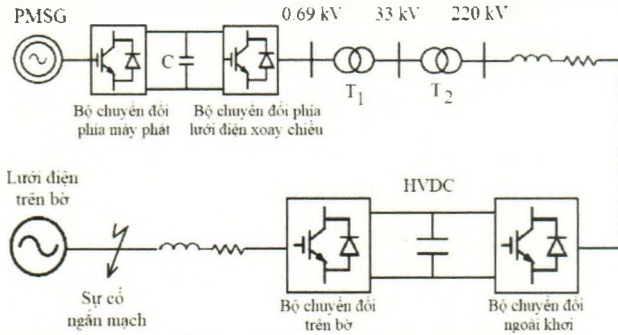
Sơ đồ điều khiển của bộ chuyển đổi phía lưới được tổng hợp và thể hiện trên Hình 8.



Hình 8. Sơ đồ điều khiển bộ chuyển đổi phía lưới

2.3. Mô hình tổng thể của hệ thống điện gió nối lưới

Xét mô hình dự án điện gió ngoài khơi như Hình 9. Hệ thống HVDC có chiều dài 100km; Điện áp lưới  $U = 220\text{kV}$ ; Máy biến áp T1: 220/33, T2: 33/0,69; Vận tốc gió  $v = 12\text{m/s}$ ; Tổng công suất 300MW, điện áp đầu ra từ máy phát ở mỗi tuabin là 690V.



**Hình 9.** Mô hình tổng thể của hệ thống điện gió kết nối với lưới điện xoay chiều trên bờ

**3. Khả năng vượt qua điện áp thấp của hệ thống truyền tải điện cao áp một chiều**

Có một số cách tiếp cận để giải quyết là:

- (1) Lựa chọn tụ điện có kích cỡ lớn hơn;
- (2) Giảm công suất của tuabin gió theo tín hiệu được đặt tại VSC-HVDC;
- (3) Tiêu tán công suất truyền tải trên mạch một chiều;
- (4) Giảm công suất truyền từ trang trại gió qua bộ biến đổi ngoài khơi không cần liên kết truyền thông.

Ở phương án thứ nhất, khi có sự cố nghiêm trọng trong lưới xoay chiều trên bờ, trong một thời gian ngắn tụ điện phải hấp thụ năng lượng rất lớn (sự cố diễn ra trong vài trăm ms, công suất trang trại gió vài trăm MW). Yêu cầu này đòi hỏi tụ điện phải có khả năng lưu trữ năng lượng lớn, tương đương với điện dung của tụ điện phải vài Fara. Trên thực tế việc thỏa mãn yêu cầu này cả về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế là khó khăn. Vì vậy trong bài báo này không xét đến phương án giải quyết vấn đề bằng cách sử dụng tụ điện.

Ở phương án thứ hai, để giảm công suất phát được tạo ra từ trang trại gió, điều đặt công suất của mỗi tuabin gió có thể được tính dựa trên tín hiệu được gửi qua liên kết truyền thông trong sự cố lưới điện. Biện pháp đơn giản nhất là trang bị cho OWF và lưới các kênh liên lạc trên bờ để truyền các phép đo điện áp và tần số của lưới AC trên bờ [9-10]. Tuy nhiên, việc sử dụng các kênh này sẽ gây ra sự phức tạp và độ trễ của hệ thống trong giao tiếp, phải đối mặt với các vấn đề về chi phí và độ tin cậy. Lý do là số lượng tuabin gió ngoài khơi rất lớn và các kết nối điểm - điểm đòi hỏi một số lượng điểm rất lớn để liên lạc với tất cả các địa điểm liên quan.

**3.1. Sử dụng điện trở chopper**

Đây là phương pháp truyền thống. Khi có sự cố trên lưới, phần công suất chênh lệch giữa trạm chuyển đổi ngoài khơi và trạm chuyển đổi trên bờ sẽ được tiêu tán dưới dạng nhiệt trên điện trở. Phần công suất này sẽ không được truyền vào hệ thống điện trên bờ, điều này giúp các thiết bị trên hệ thống HVDC không bị quá tải. Để tiêu tán năng lượng này, phương pháp dễ dàng nhất là điện trở được kết nối song song với đường dây một chiều gần trạm chuyển đổi trên bờ.

Điện trở chopper được điều khiển trực tiếp thông qua một van bán dẫn (GTO hoặc IGBT) như sơ đồ Hình 11. Để đảm bảo rằng hệ thống vẫn có thể duy trì hoạt động bình

thường, công thức tính toán của điện trở chopper là:

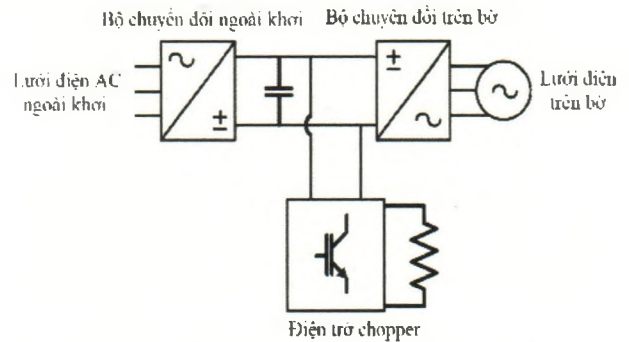
$$R_{chopper} = \frac{(1.1 \cdot V_{dcratc})^2}{P_{dcratc}} \tag{20}$$

Trong đó:

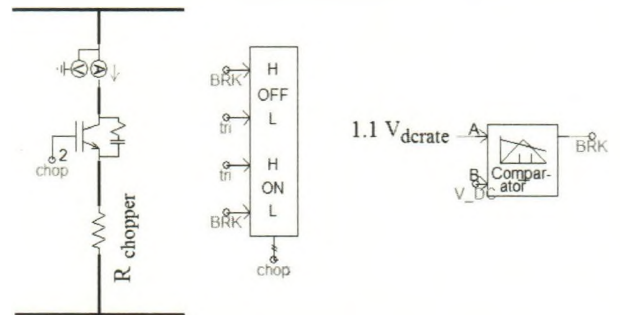
$V_{dcratc}$ : Điện áp định mức mạch HVDC;

$P_{dcratc}$ : Công suất định mức được truyền từ trang trại gió qua hệ thống VSC-HVDC;

$1,1V_{dcratc}$ : Điện áp giới hạn cho phép trong mạch một chiều (thường lấy bằng  $1,1V_{dcratc}$ ).



**Hình 10.** Điện trở chopper đặt gần trạm chuyển đổi trên bờ



**Hình 11.** Sơ đồ điều khiển điện trở chopper

Chiến lược này đơn giản, có độ tin cậy cao. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của nó là cần trang bị điện trở có khả năng tản nhiệt rất lớn, không có điện trở dự phòng, cần một thiết bị làm mát cực lớn [11-12].

**3.2. Phương pháp giảm điện áp ngoài khơi**

Một cách tiếp cận khác, để đối phó với việc tăng điện áp DC trong mạch HVDC thì phải điều khiển ngăn chặn công suất tuabin gió sinh ra đi qua bộ biến đổi ngoài khơi. Trang trại gió ngoài khơi hoàn toàn tách biệt với lưới điện AC trên đất liền. Vì vậy, cần một sơ đồ kiểm soát xếp tầng để cho phép các trang trại gió này kịp thời phản ứng khi xảy ra lỗi ở lưới điện AC trên đất liền.

Chiến lược điều khiển này là điều chỉnh điện áp lưới điện xoay chiều ngoài khơi dựa trên sự biến đổi điện áp một chiều (Hình 12). Điện áp lưới điện xoay chiều ngoài khơi ( $V_{AC}$ ) khi có sự cố được thiết lập theo phương trình sau:

$$V_{AC} = V_{ACref} + k_{DC-AC}(V_{DCref} - V_{DC}) \tag{21}$$

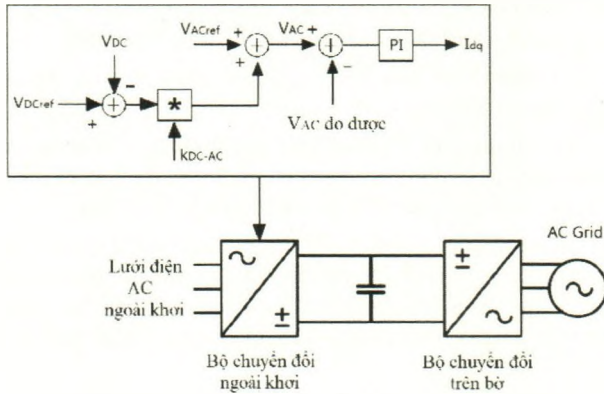
Trong đó:

$V_{ACref}$ : Điện áp xoay chiều định mức ở ngoài khơi khi ổn định;

$k_{DC-AC}$ : Hệ số khuếch đại điều chỉnh điện áp DC thành điện áp AC;

$V_{DCref}$ : Điện áp một chiều định mức ở ngoài khơi khi ổn định;

$V_{DC}$ : Điện áp một chiều thực tế tại mạch một chiều.



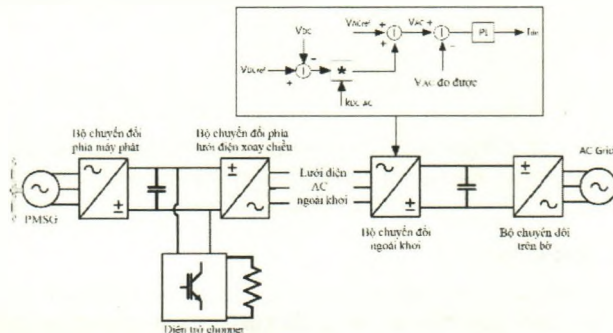
**Hình 12.** Chiến lược điều khiển để kiểm soát việc tăng điện áp DC bằng cách giảm điện áp ngoài khơi

Điện áp lưới điện xoay chiều ngoài khơi trong thời gian xảy ra sự cố được tính toán, giá trị này sẽ được so sánh với giá trị điện áp xoay chiều ngoài khơi đo được, tín hiệu vi sai sẽ là đầu vào cho bộ điều khiển PI và tạo ra tham chiếu dòng điện đầu ra.

Thông qua chiến lược điều khiển này, tuabin gió ngoài khơi sẽ phải giảm điện áp xoay chiều tại các thiết bị đầu cuối của nó, do đó sẽ giảm công suất của nguồn điện gió truyền tới bộ chuyển đổi ngoài khơi, giới hạn giá trị tăng điện áp một chiều khi xảy ra lỗi trên bờ. Tuy nhiên, việc giảm công suất nhanh ngoài khơi dẫn đến hiện tượng tương tự như khi có sự cố trên lưới xoay chiều ngoài khơi. Kết quả là, công suất do tuabin gió tạo ra không thể được truyền tới lưới ngoài khơi dẫn đến sự gia tăng điện áp một chiều tại bộ chuyển đổi hai chiều của tuabin gió PMSG, tạo ra ứng suất điện trên trục truyền động tuabin gió. Đây là nhược điểm lớn nhất của chiến lược điều khiển này.

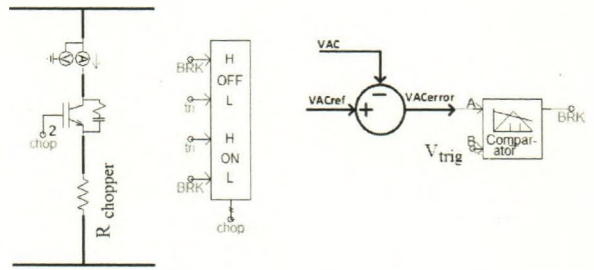
**3.3. Chiến lược điều khiển kết hợp giảm điện áp và sử dụng điện trở đặt tại tuabin gió**

Để khắc phục nhược điểm của phương án giảm điện áp ngoài khơi và tận dụng ưu điểm tản năng lượng nhanh của điện trở chopper, bài báo đề xuất chiến lược điều khiển kết hợp giảm điện áp và sử dụng điện trở. Sơ đồ điều khiển được thể hiện như Hình 13.



**Hình 13.** Chiến lược điều khiển kết hợp giảm điện áp và sử dụng điện trở đặt tại tuabin gió

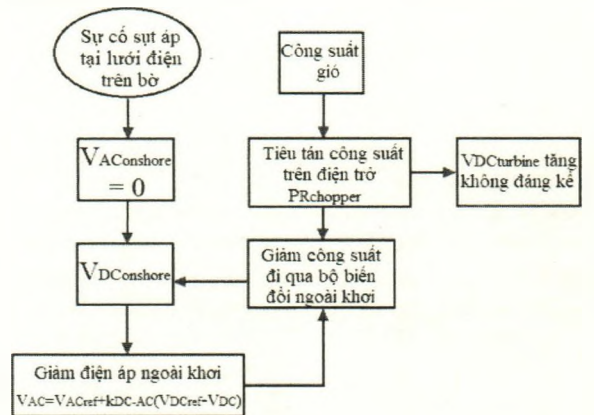
Điểm mới của chiến lược điều khiển này là không đặt điện trở chopper theo cách thông thường. Ở đây, điện trở chopper đặt tại bộ chuyển đổi hai chiều của tuabin gió PMSG. Các điện trở chopper ngoài việc giảm công suất tác dụng còn kiểm soát cường độ tăng điện áp DC tại thanh cái DC.



**Hình 14.** Sơ đồ điều khiển điện trở chopper

Điện trở chopper được điều khiển trực tiếp thông qua một van bán dẫn (GTO hoặc IGBT). Sơ đồ điều khiển như Hình 14.

Sơ đồ khối của chiến lược điều khiển kết hợp giảm điện áp ngoài khơi và sử dụng điện trở chopper được thể hiện trong Hình 15.



**Hình 15.** Sơ đồ khối của chiến lược điều khiển kết hợp giảm điện áp và sử dụng điện trở

**3.4. Mô phỏng**

Để đánh giá hiệu quả của các chiến lược điều khiển đã trình bày ở trên, mô phỏng được thực hiện trên phần mềm PSCAD. Sự cố ngắn mạch 3 pha xảy ra trong lưới điện trên bờ tại  $t = 6s$  và kéo dài 200ms, hệ số khuếch đại điều chỉnh điện áp DC thành điện áp AC là  $k_{DC-AC} = 3$ .

Các thông số đưa ra bao gồm: Điện áp xoay chiều ở lưới trên bờ ( $V_{onshore}$ ), điện áp liên kết dc gần bộ chuyển đổi trên bờ ( $V_{dcconshore}$ ), công suất tiêu hao trên điện trở chopper ( $P_{rchop}$ ), điện áp xoay chiều ngoài khơi ( $V_{acoffshore}$ ), điện áp một chiều của bộ chuyển đổi hai chiều tại tuabin gió ( $V_{dcturbine}$ ).

**3.4.1. Chiến lược điều khiển sử dụng điện trở chopper**

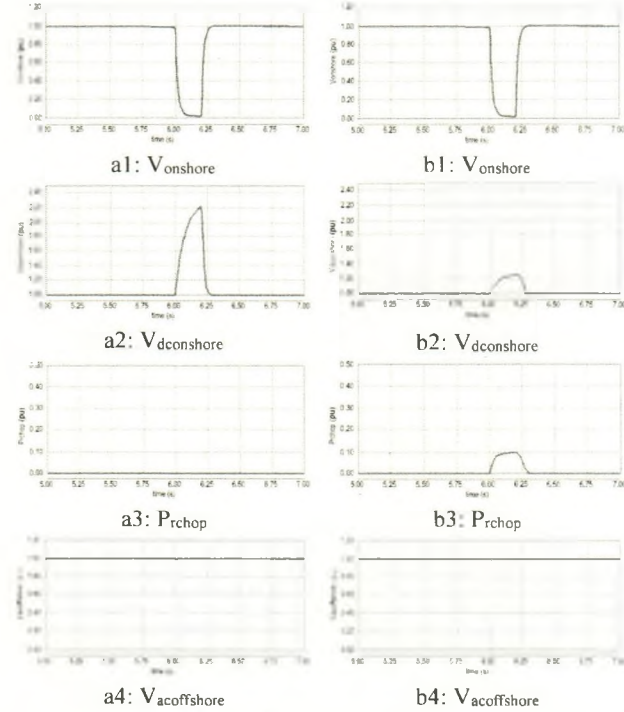
Khi xảy ra sự cố ba pha, điện áp trên bờ giảm xuống gần như bằng 0 như Hình 16a1, 16b1.

Nếu không có điện trở chopper, điện áp liên kết dc gần bộ chuyển đổi trên bờ tăng lên 2,2 pu như Hình 16a2. Nếu sử dụng điện trở chopper, nó được giữ dưới 1,22 pu như Hình 16b2.

Từ Hình 16a4, 16b4 có thể thấy, điện áp xoay chiều ngoài khơi và hoạt động của OWF sẽ không bị ảnh hưởng bởi việc sử dụng điện trở chopper. Đây là một lợi thế rất lớn của điện trở chopper nhằm đảm bảo FRT.

Không sử dụng chiến lược điều khiển nào

Sử dụng điện trở đặt gần trạm chuyển đổi trên bờ

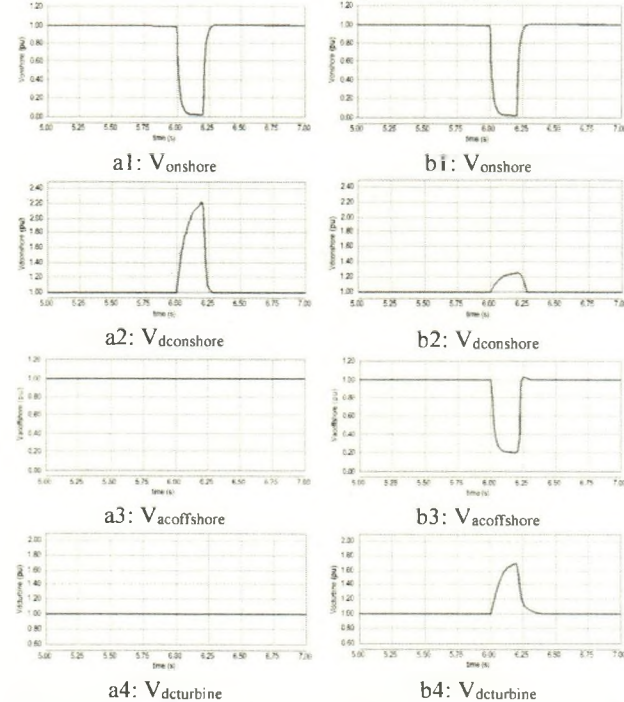


**Hình 16.** Kết quả mô phỏng trong 2 trường hợp: (a) không sử dụng chiến lược điều khiển nào, (b) sử dụng điện trở chopper

**3.4.2. Chiến lược điều khiển giảm điện áp ngoài khơi**

Không sử dụng chiến lược điều khiển nào

Chiến lược điều khiển giảm điện áp ngoài khơi



**Hình 17.** Kết quả mô phỏng khi: (a) không có chiến lược điều khiển nào, (b) sử dụng chiến lược điều khiển giảm điện áp ngoài khơi

Nếu sử dụng chiến lược điều khiển giảm điện áp ngoài khơi, điện áp liên kết dc gần bộ chuyển đổi trên bờ được giữ khoảng 1,2pu như Hình 17b2.

Từ Hình 17b3, điện áp xoay chiều ngoài khơi giảm xuống còn 0,2pu và điện áp một chiều trong bộ chuyển đổi hai chiều của WT tăng lên đáng kể, bằng 1,7pu có thể gây hư hỏng cho tụ điện và các thiết bị điện tử công suất.

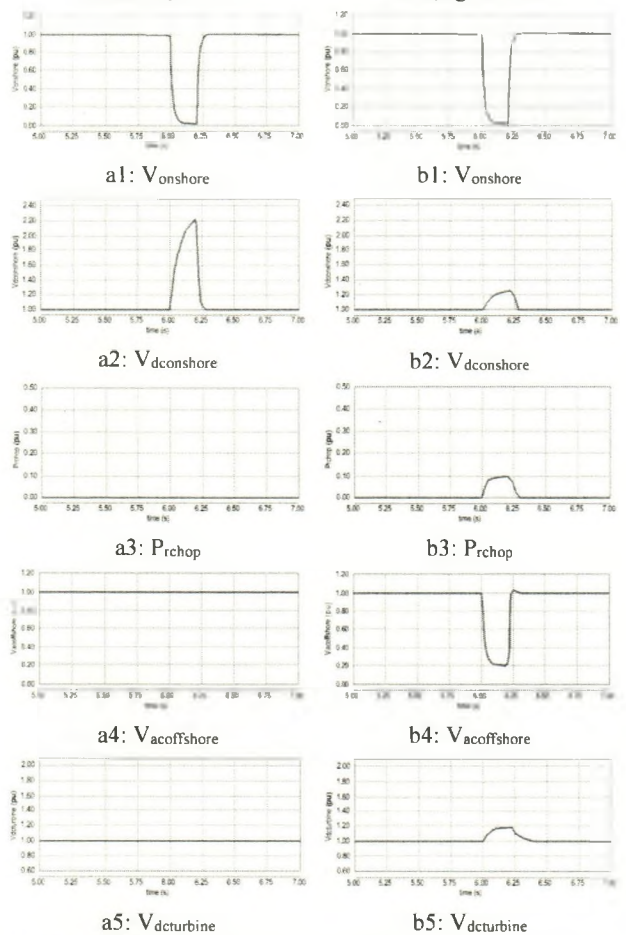
**3.4.3. Chiến lược điều khiển kết hợp giảm điện áp và sử dụng điện trở đặt tại tuabin gió**

Nếu sử dụng chiến lược điều khiển giảm điện áp ngoài khơi và điện trở chopper đặt tại tuabin gió, điện áp liên kết dc gần bộ chuyển đổi trên bờ được giữ dưới 1,2 pu.

Điện áp xoay chiều ngoài khơi giảm xuống còn 0,2pu và điện áp một chiều trong bộ chuyển đổi hai chiều của tuabin gió PMSG tăng lên không đáng kể là 1,2 pu, đảm bảo các thiết bị vẫn có thể hoạt động trong giới hạn cho phép.

Không sử dụng chiến lược nào

Kết hợp giảm điện áp và sử dụng điện trở



**Hình 18.** Kết quả mô phỏng khi: (a) không sử dụng chiến lược nào, (b) sử dụng chiến lược điều khiển kết hợp giảm điện áp ngoài khơi và dùng điện trở

**4. Kết luận**

Tất cả các mô phỏng được thực hiện cho thấy hiệu quả của chiến lược điều khiển đã đề xuất.

Tại Việt Nam, hầu hết các dự án phát triển điện gió đều được kết nối với lưới điện truyền tải, vì vậy, chất lượng

lưới điện truyền tải ảnh hưởng rất lớn đến hoạt động của hệ thống điện gió. Do lưới điện truyền tải của Việt Nam là lưới điện yếu nên việc nghiên cứu các chiến lược điều khiển lưới điện nối nguồn điện gió khi có sự cố rất quan trọng. Bài báo đã đề xuất chiến lược kiểm soát để giải quyết nhược điểm của các chiến lược truyền thống. Chiến lược mới này không cần bổ sung thêm các thiết bị đắt tiền mà vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, phù hợp với thực trạng tại Việt Nam hiện nay.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vahid Behraves, Nahid Abbaspour. "New Comparison of HVDC and HVAC Transmission system". *International Journal of Engineering Innovation & Research*. Volume 1, Issue 3. 2012.
- [2] M. Fischer. M. Schellschmidt. "Fault ride through performance of wind energy converters with facts capabilities in response to up-to-date german grid connection requirements". *Power Systems Conference and Exposition (PSCE)*. 2011 IEEE/PES.
- [3] Z. Saad-Saoud. M. L. Lisboa. J. B. Ekanayake. N. Jenkins. and G. Strbac. "Application of STATCOMs to wind farms". *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib.*, vol. 145, no. 5, 1998, pp. 511–516.
- [4] S. M. Muyeen. M. A. Mannan. M. H. Ali. R. Takahashi. T. Murata. and J. Tamura. "Stabilization of wind turbine generator system by STATCOM". *IEEJ Trans. PE*. vol. 126-B. no. 10. 2006, pp. 1073–1082.
- [5] S. M. Muyeen. Rion Takahashi. Toshiaki Murata. Junji Tamura. "A Variable Speed Wind Turbine Control Strategy to Meet Wind Farm Grid Code Requirements". *IEEE Transactions on Power Systems*. Volume: 25, Issue: 1, Feb. 2010.
- [6] J.F. Conroy, R. Watson, "Low voltage ride through of a full converter wind turbine with permanent magnet generator". *IET Renewable Power Generation*. Volume: 1, Issue: 3. September 2007.
- [7] Yuanze Zhang, Jayashri Ravishankar, John Fletcher. "Review of modular multilevel converter based multi-terminal HVDC systems for offshore wind power transmission". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 61. August 2016. pp. 572–586.
- [8] Anca D. Hansen. Florin Iov. Frede Blaabjerg and Lars H. Hansen. "Review of Contemporary Wind Turbine Concepts and their Market Penetration". *Wind engineering* Volume 28. No.3. 2004. pp. 247–263.
- [9] G. Ramtharan. Arulampalam, J.B. Ekanayake, F. M. Hughes, N. Jenkins. "Fault ride through of fully rated converter wind turbines with AC and DC transmission systems". *IET Trans. Renewable Power Generation*, vol. 3, no.4. 2009, pp. 426–438.
- [10] Asimonia Korompili, Qiuwei Wu, Haoran Zhao, "Review of VSC HVDC connection for offshore wind power integration". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59 (2016) 1405–1414.
- [11] G. Ramtharan, O. Anya-Lara, and N. Jenkins. "Modelling and control of synchronous generators for wide-range variable-speed wind turbines". *Wind Energy*, vol. 10, no. 3, 2007, pp. 231–246.
- [12] V. Akhmatov, A. Nielsen, J.K. Pedersen, O. Nymann. "Variable speed wind turbines with multi-pole synchronous permanent magnet generators. Part I: modelling in dynamic simulation tools". *Wind Eng.* vol. 27, 2003, pp. 531–548.