

PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN LINH HOẠT ÁP DỤNG CHO HỆ THỐNG VSC-HVDC KẾT NỐI TRANG TRẠI ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI

A FLEXIBLE CONTROL METHOD APPLIED TO A VSC-HVDC INTEGRATING TO OFFSHORE WIND FARMS

Nguyễn Hữu Đức^{1,*}

TÓM TẮT

Hiện nay, Việt Nam đang phát triển mạnh các trang trại gió ngoài khơi. Hệ thống VSC-HVDC là một giải pháp nhằm kết nối các trang trại gió ngoài khơi vào lưới điện xoay chiều hiện hữu. Bài báo này trình bày hệ thống điều khiển cho bộ biến đổi nguồn áp (Voltage source converter) giúp nâng cao khả năng ổn định điện áp xoay chiều đối với các hệ thống VSC-HVDC kết nối các trang trại gió ngoài khơi. Ưu điểm nổi bật của phương pháp điều khiển này là nó cho phép tự động thay đổi các giới hạn dòng điện tác dụng và phản kháng, qua đó có thể giúp nâng cao khả năng hỗ trợ công suất phản kháng khi lưới điện xoay chiều xảy ra các sự cố nghiêm trọng dẫn đến sụt giảm điện áp lớn. Mô hình hệ thống nghiên cứu được mô phỏng các quá trình động trên lưới điện xoay chiều trên phần mềm PSCAD. Các kết quả mô phỏng kiểm chứng sự hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Từ khóa: Bộ biến đổi nguồn áp (VSC); truyền tải điện một chiều (HVDC); điều khiển linh hoạt; trang trại gió ngoài khơi; ổn định điện áp.

ABSTRACT

Currently, offshore wind farms are strongly developing in Vietnam. The VSC-HVDC system is a promising solution to connect offshore wind farms to an existing AC grid. This paper presents a control system for a voltage source converter that improves AC voltage stability for the hybrid AC/DC with VSC-HVDC links connecting offshore wind farms. The main advantage of this control method is that it allows the automatic change of active and reactive current limits, which in turn can help improve reactive power support when the ac grid occurs leading to a large drop in voltage. A hybrid AC/DC network considering dynamic processes on AC grid is modeled in PSCAD software. The simulation results verify the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Voltage Source Converter (VSC); High Voltage Direct Current (HVDC); control system; offshore wind energy; voltage stability.

¹Trường Đại học Điện Lực

*Email: ducnh@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 17/8/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/9/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/10/2021

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay và trong tương lai gần, Việt Nam sẽ phát triển rất nhiều các trang trại gió ngoài khơi. Vấn đề đặt ra khi triển khai các trang trại gió ngoài khơi như vấn đề thi công, truyền

dẫn,... Trong đó vấn đề truyền dẫn năng lượng điện từ các trang trại gió ngoài khơi vào đất liền, nơi đặt các trung tâm phụ tải là vấn đề cần giải quyết. Đối với công nghệ truyền dẫn hiện nay thì có hai công nghệ chính đó là dùng đường dây cáp xoay chiều truyền tải điện, hoặc công nghệ sử dụng đường dây truyền tải một chiều điện áp cao (HVDC). Công nghệ truyền tải điện HVDC là công nghệ có nhiều ưu điểm và là lựa chọn khả dĩ trong nhiều trường hợp.

Hệ thống VSC-HVDC có khả năng điều khiển linh hoạt theo các mục tiêu điều khiển khác nhau như điều khiển công suất tác dụng, điều khiển công suất phản kháng, điều khiển điện áp và tần số xoay chiều [2-4]. Đặc biệt, trong các trường hợp sự cố nghiêm trọng xảy ra tại lưới điện xoay chiều dẫn đến sự sụt giảm lớn điện áp và có khả năng gây mất ổn định điện áp toàn hệ thống thì hệ thống VSC-HVDC có thể điều khiển điện áp xoay chiều [5-6]. Một số nghiên cứu chỉ ra khả năng tham gia điều chỉnh điện áp của hệ thống HVDC như các tài liệu [7-13]. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu sử dụng mô hình đơn giản để mô phỏng lưới điện xoay chiều. Trong tài liệu [2], hệ thống VSC-HVDC được mô phỏng bằng một nguồn áp mắc nối tiếp với điện kháng, do vậy mô hình này chưa xét được các tương tác động giữa hệ thống VSC-HVDC và lưới điện xoay chiều. Trong tài liệu [3], tải điện được mô phỏng bằng tải tính hàm lũy thừa và động cơ không đồng bộ. Tuy nhiên trong nghiên cứu này thì các thay đổi động trong lưới điện xoay chiều cũng chưa được xem xét.

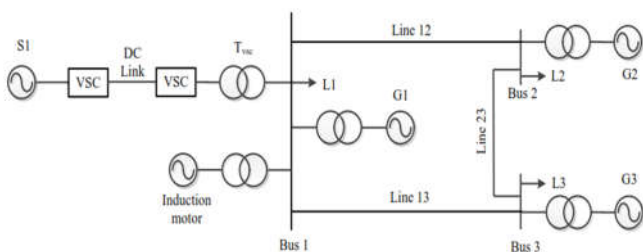
Trong các nghiên cứu ở trên, việc hệ thống VSC-HVDC tham gia điều khiển điện áp xoay chiều chưa xem xét tới các giới hạn về dung lượng của bộ biến đổi VSC. Như vậy ta có thể thấy được vai trò của hệ thống điều khiển VSC trong việc nâng cao ổn định điện áp của lưới điện xoay chiều [5-6]. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu trên thì các giới hạn dòng điện tác dụng và dòng điện phản kháng thường được đặt cố định. Điều này dẫn đến làm giảm khả năng hỗ trợ của VSC-HVDC trong việc nâng cao ổn định điện áp [14, 28]. Do vậy, trong bài báo này, tác giả đề xuất phương pháp điều khiển linh hoạt trong việc lựa chọn các giá trị giới hạn dòng điện tác dụng và phản kháng, qua đó giúp nâng cao khả năng ổn định điện áp khi xảy ra các sự cố nghiêm trọng trong lưới xoay chiều như sự cố chạm đất 3 pha.

Nghiên cứu này trình bày một phương pháp điều khiển linh hoạt cho hệ thống VSC-HVDC nhằm nâng cao khả năng ổn định điện áp. Hệ thống điều khiển này có thể tự động điều chỉnh giới hạn đặt của dòng điện tác dụng và phản kháng tùy theo điều kiện tần số cho phép. Trong bài báo này, hệ thống nghiên cứu gồm đường dây VSC-HVDC truyền tải điện gió ngoài khơi cung cấp cho tải điện xoay chiều. Lưới điện xoay chiều thay vì sử dụng mô hình nguồn áp lý tưởng sẽ được mô hình bằng máy phát đồng bộ. Tải điện sẽ được mô hình gồm tải tĩnh và tải động là các động cơ không đồng bộ. Mô hình tải điện này sẽ giúp nghiên cứu đánh giá được ảnh hưởng động của hiện tượng sụt giảm điện áp. Các kết quả mô phỏng cho lưới điện nghiên cứu sẽ kiểm chứng phương pháp đề xuất.

Cấu trúc của bài báo được trình bày như sau: Phần 2 mô tả mô hình hệ thống nghiên cứu gồm đường dây VSC-HVDC truyền tải năng lượng từ trang trại gió ngoài khơi vào kết nối với lưới điện xoay chiều. Phương pháp và hệ thống điều khiển sẽ được giới thiệu trong phần 3. Phần 4 là các kết quả mô phỏng kiểm chứng. Các kết luận được trình bày trong phần 5.

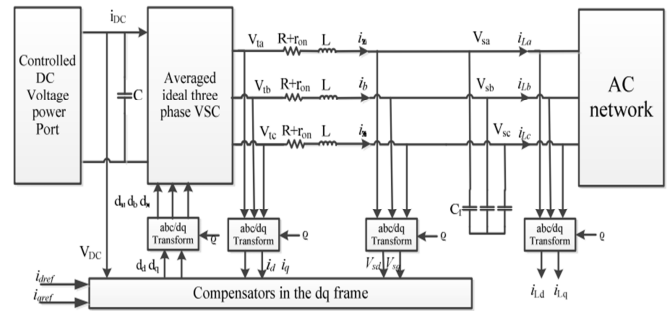
2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Sơ đồ hệ thống nghiên cứu được mô tả trên hình 1. Hệ thống gồm một đường dây VSC-HVDC truyền tải năng lượng từ trang trại gió ngoài khơi vào lưới điện xoay chiều. Lưới điện xoay chiều gồm 3 Bus, tại các Bus là các máy phát điện đồng bộ G1, G2, G3. Phụ tải điện tại các Bus 2, Bus 3 được mô phỏng là tải tĩnh. Phụ tải điện tại nút 1 gồm tải tĩnh và tải động là động cơ không đồng bộ.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống VSC-HVDC truyền tải công suất từ trang trại gió ngoài khơi kết nối lưới điện xoay chiều

Hệ thống VSC-HVDC được mô tả trên hình 2, bao gồm bộ biến đổi VSC, máy biến áp và dây cáp dc. Trên hình 2, bộ biến đổi VSC được điều khiển theo phương pháp điều khiển dòng điện. Trong nghiên cứu này thì bộ VSC là bộ VSC hai mức (two-level VSC). Bộ nguồn áp một chiều (dc voltage source) đại diện cho đường dây DC. Phía đầu ra dc của VSC được mắc nối tiếp với bộ lọc phía AC trước khi kết nối qua lưới điện xoay chiều. Bộ lọc này bao gồm một điện trở mắc nối tiếp với điện kháng và tụ điện mắc song song C_f . Bộ lọc này giúp lọc các sóng hài dòng điện gây ra bởi quá trình đóng cắt VSC lan truyền ra lưới điện xoay chiều. Công suất tác dụng và phản kháng của bộ VSC và bộ lọc tương ứng là (P_s, Q_s) and $(0, Q_c)$. Do vậy, công suất tác dụng và phản kháng thực tế trao đổi giữa bộ VSC và lưới điện xoay chiều là: $(P_s, Q_s + Q_c)$.



Hình 2. Mô hình bộ VSC kết nối với lưới điện xoay chiều

3. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN VSC-HVDC

Trong phần này, hệ thống điều khiển linh hoạt cho VSC áp dụng trong bài toán truyền tải điện từ các trang trại gió ngoài khơi vào đất liền được đề xuất. Hệ thống điều khiển gồm 3 vòng chính: (1) Vòng điều khiển vector dòng điện; (2) Vòng điều khiển ngoài và (3) Bộ điều khiển giới hạn dòng linh hoạt. Hình 2 mô tả sơ đồ khối của bộ VSC và hệ thống điều khiển. Vòng điều khiển ngoài sẽ cung cấp tín hiệu dòng điện tham chiếu cho vòng điều khiển vector dòng điện. Vòng điều khiển vector dòng điện được thực hiện trên hệ tọa độ dq0 gồm dòng điện tác dụng (i_d) và dòng điện phản kháng (i_q), các dòng điện này được điều khiển độc lập với nhau. Bộ PLL làm nhiệm vụ giữ tần số đồng bộ với tần số của lưới điện xoay chiều [20]. Hình 5 mô tả hệ thống điều khiển áp dụng cho VSC trên hệ tọa độ dq0.

3.1. Vòng điều khiển vector dòng điện

Một trong các nhiệm vụ chính của hệ thống điều khiển của VSC là điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng tại điểm kết nối hệ thống điện PCC ($P_s(t)$ và $Q_s(t)$).

Hai phương pháp điều khiển chính hiện nay là phương pháp điều khiển dựa trên điều khiển điện áp và phương pháp điều khiển dòng điện [21]. Phương pháp điều khiển điện áp áp dụng chính cho các bộ điều khiển thiết bị FACTS [22-23]. Đối với phương pháp này, việc điều khiển công suất tác dụng và phản kháng được thực hiện bằng điều khiển góc pha và giá trị hiệu dụng giữa điện áp xoay chiều đầu ra của bộ VSC và điện áp tại điểm PCC [24]. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản và có ít vòng điều khiển [23]. Tuy nhiên dòng điện của bộ VSC không được điều khiển trực tiếp, do vậy bộ VSC không được bảo vệ quá dòng điện, đặc biệt là trong các sự cố ngắn mạch xảy ra trên lưới điện xoay chiều. Để khắc phục hạn chế đó, thì phương pháp điều khiển dựa trên điều khiển dòng điện được sử dụng như mô tả trên hình 2. Đối với phương pháp này thì góc pha và giá trị hiệu dụng của dòng điện được dùng để điều khiển công suất tác dụng và phản kháng trao đổi giữa VSC và lưới điện ac tại điểm PCC. Ngoài ra, phương pháp thứ 2 còn có ưu điểm là phù hợp và chính xác hơn với sự thay đổi các tham số của bộ VSC và lưới điện ac [25]. Hình 5 mô tả phương pháp điều khiển bộ VSC dựa trên điều khiển dòng điện trên hệ tọa độ dq0. Trong điều kiện

vận hành bình thường, $V_{sq} = 0$, do vậy phương trình công suất được viết như sau:

$$P_s(t) = 1,5V_{sd}(t)i_d(t) \tag{1}$$

$$Q_s(t) = -1,5V_{sd}(t)i_q(t) \tag{2}$$

Theo phương trình (1), (2) cho thấy công suất tác dụng và phản kháng được điều khiển bằng điều khiển trực tiếp dòng điện i_d và i_q . Như vậy, các dòng điện tham chiếu cho vòng điều khiển dòng điện được tính theo các công thức sau:

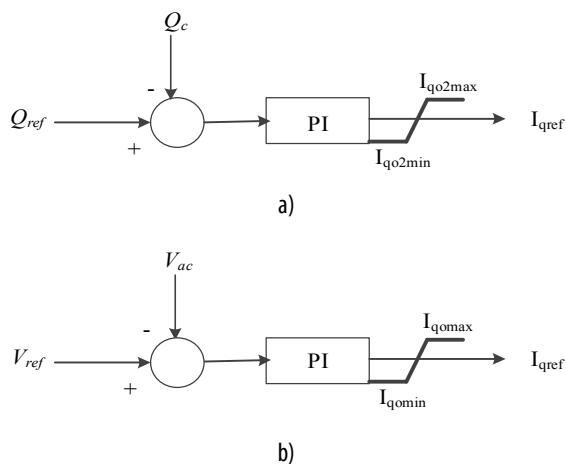
$$i_{dref}(t) = \frac{2}{3V_{sd}}P_{sref}(t) \tag{3}$$

$$i_{qref}(t) = \frac{2}{3V_{sd}}Q_{sref}(t) \tag{4}$$

trong đó: i_{dr} , i_{qr} và V_{dr} , V_{qr} lần lượt là các dòng điện và điện áp phía xoay chiều của bộ VSC trên các trục tọa độ d và q.

3.2. Vòng điều khiển ngoài

Nhiệm vụ của vòng điều khiển này là cung cấp giá trị dòng điện tham chiếu cho vòng điều khiển dòng điện. Tùy thuộc vào các chiến lược điều khiển khác nhau thì các dòng điện tác dụng và phản kháng tham chiếu được tính toán như điều khiển công suất tác dụng, điều khiển điện áp một chiều, điều khiển công suất phản kháng và điều khiển điện áp xoay chiều như trên hình 3. Trong hệ thống VSC-HVDC, thì một bộ VSC sẽ làm nhiệm vụ điều khiển điện áp một chiều, một bộ sẽ điều khiển công suất tác dụng hoặc công suất phản kháng tùy thuộc chế độ điều khiển [26].



Hình 3. Sơ đồ hệ thống điều khiển điều khiển theo a) công suất phản kháng và b) theo điện áp xoay chiều

3.3. Bộ giới hạn dòng điện

Nhiệm vụ của bộ giới hạn dòng điện là bảo vệ VSC khỏi quá dòng điện, thông thường các dòng điện tham chiếu trước khi đi vào bộ điều khiển dòng điện sẽ được đưa qua bộ giới hạn dòng điện nhằm đảm bảo dòng điện điều khiển tham chiếu nằm trong giới hạn cho phép. Thông thường, trong sự cố thì bộ VSC cho phép dòng điện bằng 1,5 lần dòng định mức trong ngắn hạn giúp hỗ trợ sự cố [14]. Giá trị giới hạn dòng điện của bộ VSC được mô tả như phương trình sau:

$$i_{lim} = K_{lim}i_{rated} \tag{5}$$

trong đó: K_{lim} là tham số đặc trưng cho khả năng chịu quá tải của bộ VSC trong ngắn hạn, thông thường là 1,5; và i_{rated} là dòng điện định mức của VSC. Dòng điện giới hạn trên tọa độ dq0 bao gồm dòng điện tác dụng giới hạn và dòng điện phản kháng giới hạn được mô tả như sau:

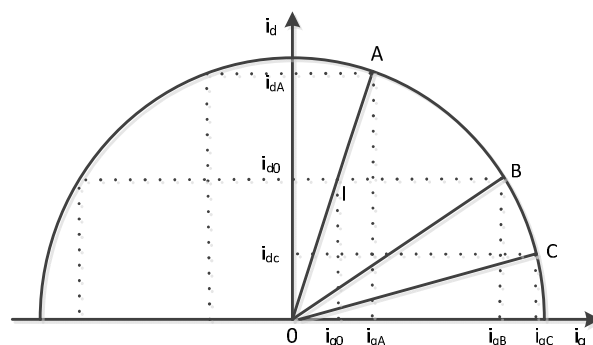
$$i_{lim} = \sqrt{i_{dlim}^2 + i_{qlim}^2} \tag{6}$$

trong đó: i_{dlim} và i_{qlim} là các giới hạn tương ứng dòng điện tác dụng và dòng điện phản kháng. Giá trị của chúng sẽ tùy thuộc và ứng dụng và hệ thống điều khiển cụ thể. Hình 4 mô tả giới hạn biên của VSC và các vector dòng điện I_{VSC} khi các điểm giới hạn i_{dlim} và i_{qlim} thay đổi. Ba điểm giới hạn khác nhau tương ứng với từng chiến lược điều khiển cụ thể của VSC-HVDC được mô tả trên hình 4 như sau:

i) Điểm giới hạn A, điểm giới hạn này tương ứng với hệ số công suất giữ nguyên với điều kiện bình thường tương ứng với điểm I.

ii) Điểm giới hạn B, tương ứng với việc toàn bộ công suất của VSC được sử dụng cho dòng công suất phản kháng.

iii) Điểm giới hạn C, là điểm được đề xuất của nghiên cứu này. Điểm C là điểm thay đổi động tùy thuộc vào điều kiện thực tế của lưới điện (được đặc trưng thông qua tham số tần số của lưới điện). Điểm C thay đổi trong phạm vi từ điểm B tới điểm D.

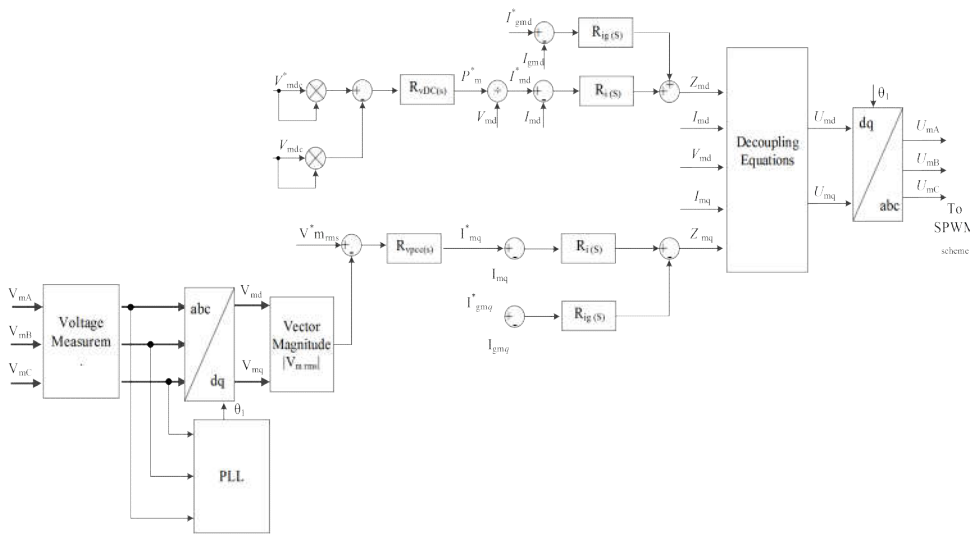


Hình 4. Mô hình các điểm làm việc bộ giới hạn dòng điện

Trong điều kiện vận hành bình thường thì VSC-HVDC có nhiệm vụ chính là truyền tải công suất tác dụng, do vậy giới hạn dòng điện tác dụng của bộ giới hạn dòng phải lớn hơn hoặc bằng dòng điện tác dụng danh định. Như vậy, trong các hệ thống điều khiển VSC thông thường thì giới hạn lớn nhất đối với dòng công suất phản kháng được xác định theo phương trình sau:

$$i_{qlim_max} = \sqrt{i_{lim}^2 - i_{rated}^2} = 1,12i_{rated} \tag{7}$$

Hình 4 mô tả giới hạn lớn nhất của dòng điện phản kháng tương ứng với các chiến lược điều khiển khác nhau. Như vậy, ta thấy với các phương pháp điều khiển thông thường thì giới hạn dòng công suất phản kháng là được lựa chọn cố định trước. Do đó, khi trong lưới điện có những sự cố bất thường dẫn đến giảm đột ngột điện áp xoay chiều thì khả năng hỗ trợ công suất phản kháng của bộ VSC bị giới hạn bởi các giá trị đặt cố định trước. Do vậy, bài báo



Hình 5. Sơ đồ hệ thống điều khiển của hệ thống VSC

này để xuất bộ giới hạn dòng điện động có khả năng tự động điều chỉnh giá trị đặt giới hạn theo điều kiện thực tế của lưới điện xoay chiều. Qua đó, với phương pháp điều khiển này giúp hỗ trợ sự suy giảm điện áp khi có sự cố trên lưới điện xoay chiều, giúp nâng cao khả năng ổn định điện áp của hệ thống.

3.4. Phương pháp đề xuất

Theo các phân tích ở trên, để có thể tận dụng được tối đa khả năng hỗ trợ công suất phản kháng của bộ VSC trong các trường hợp sự cố trên lưới điện xoay chiều thì giá trị giới hạn dòng điện sẽ được tự động thay đổi theo các điều kiện thực tế của lưới điện. Phương pháp đề xuất gồm 3 vòng điều khiển: (1) vòng điều khiển dòng điện; (2) vòng điều khiển ngoài và (3) bộ giới hạn thích nghi động được đề xuất. Bộ giới hạn thích nghi động được đề xuất sẽ được trình bày chi tiết như dưới:

Giá trị giới hạn dòng công suất phản kháng sẽ được xác định dựa vào điều kiện động thực tế của lưới điện (thông qua tín hiệu tần số):

$$i_{df} = i_{d0} - K_f(f - f_{min}) \tag{8}$$

$$i_{q_max} = \sqrt{i_{lim}^2 - i_{df}^2} \tag{9}$$

$$i_{q_min} = -i_{q_max} \tag{10}$$

Dòng điện phản kháng tham chiếu đi vào vòng điều khiển dòng được sẽ được xác định theo các phương trình sau:

$$i_{qref} = \begin{cases} i_{q0}, & i_{q_min} < i_{q0} < i_{q_max} \\ i_{q_max}, & i_{q0} \geq i_{q_max} \\ i_{q_min}, & i_{q0} \leq i_{q_min} \end{cases} \tag{11}$$

Dòng điện tác dụng tham chiếu được xác định theo phương trình sau:

$$i_{dref} = \begin{cases} i_{d0}, & i_{dlim} < i_{d0} < i_{d_comp} \\ i_{d_comp}, & i_{d_comp} \leq i_{d0} \\ i_{dlim}, & i_{d0} \leq i_{dlim} \end{cases} \tag{12}$$

trong đó, i_{d_comp} được xác định theo phương trình sau:

$$i_{d_comp} = \sqrt{i_{lim}^2 - i_{qref}^2} \tag{13}$$

trong đó: i_{d0} , i_{q0} là tín hiệu dòng điện được đưa ra bởi vòng điều khiển ngoài; i_{dref} , i_{qref} là các tín hiệu dòng điện thực được điều chỉnh bởi bộ giới hạn dòng điện thích nghi; i_{lim} là giới hạn dòng điện của bộ VSC; i_{dlim} là giới hạn dưới của dòng điện tác dụng; i_{q_max} là giới hạn trên của dòng điện phản kháng và thay đổi động tùy theo điều kiện thực tế

của lưới điện xoay chiều; và i_{d_comp} là tín hiệu dùng để so sánh với i_{d0} . Lưu ý rằng với các phương pháp điều khiển VSC thông thường thì dòng điện công suất phản kháng tham chiếu là thấp hơn giá trị $1,12i_{rated}$. Tuy nhiên đối với phương pháp đề xuất trong bài báo này thì dòng điện công suất phản kháng tham chiếu có thể đạt tới giá trị lớn nhất của bộ VSC là i_{lim} . Bộ giới hạn dòng điện thích nghi này sẽ tự động đưa ra được các giá trị tùy thuộc theo điều kiện động thực tế của lưới điện xoay chiều (thông qua tín hiệu tần số).

Thông thường khi có sự cố trên lưới điện AC dẫn đến sự sụt giảm đột ngột điện áp xoay chiều (như sự cố ngắn mạch 3 pha) thì phụ tải điện cũng sẽ giảm công suất do phụ tải phụ thuộc vào điện áp, vì vậy chúng ta có thể trong khoảng thời gian sự cố giảm công suất tác dụng truyền tải trên đường dây VSC-HVDC. Do đó, về nguyên lý ta có thể tăng giới hạn công suất phản kháng và qua đó hỗ trợ sự suy giảm điện áp xoay chiều trong ngắn hạn.

4. MÔ PHỎNG

4.1. Lưới điện và giả thiết mô phỏng

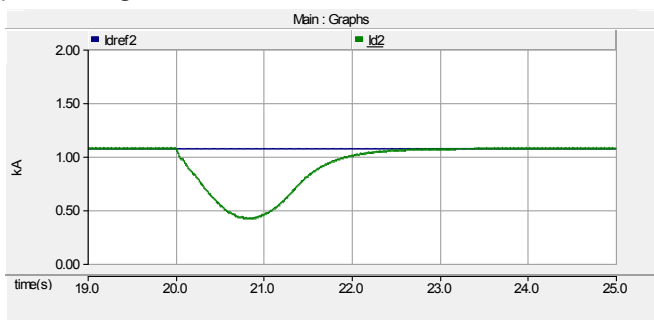
Để kiểm chứng phương pháp điều khiển đề xuất, lưới điện như trên hình 1 được sử dụng mô phỏng trên phần mềm PSCAD/EMTDC. Các tham số của lưới điện được cung cấp trong các bảng PL1, PL2. Điều kiện ban đầu khi mô phỏng được giả thiết như sau:

- Các máy phát điện đang phát công suất tác dụng ở mức 0,75p.u.
- Điện áp tại đầu cực máy phát điện là 1,05p.u.
- Hệ thống VSC-HVDC đang truyền tải công suất tác dụng tại mức 0,8p.u.
- Giới hạn dòng điện của VSC được chọn là 1,5 giá trị dòng định mức.
- Tại nút 1 phụ tải được mô phỏng bằng động cơ không đồng bộ.

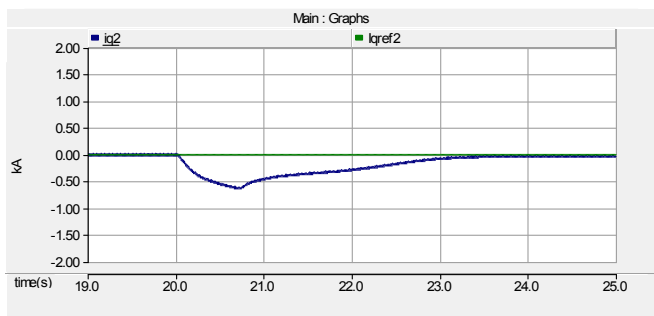
• Sự cố ngắn mạch 3 pha xảy ra tại đường dây truyền tải nút 2 và nút 3 ở thời điểm $t = 20s$ và được đưa ra khỏi hệ thống sau $0,1s$. Tại thời điểm $t = 20,7s$ thì đường dây 23 được kết nối lại hệ thống.

4.2. Kết quả mô phỏng

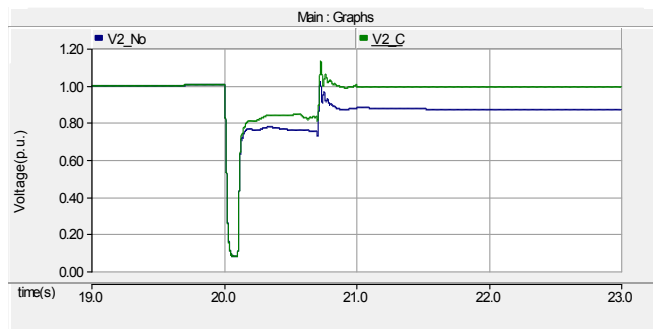
Các kết quả mô phỏng kiểm chứng so sánh giữa phương pháp điều khiển VSC thông thường (các giá trị của bộ giới hạn dòng điện được giữ cố định) và phương pháp đề xuất được thể hiện trên hình 6 ÷ 10. Hình 6 mô tả phản ứng quá độ của dòng điện tác dụng khi áp dụng phương pháp đề xuất. Hình 6 cho thấy khi có sự cố thì dòng điện tác dụng của bộ VSC sẽ sụt giảm do khi đó sẽ chuyển ưu tiên sang điều khiển dòng công suất phản kháng nhằm hỗ trợ điện áp suy giảm như hình 7. Hình 7 mô tả phản ứng quá độ của dòng điện phản kháng khi áp dụng điều khiển điện áp. Hình 8 mô tả hiện tượng quá độ khi xảy ra sự cố chạm đất 3 pha tại đường dây 23, khi đó điện áp xoay chiều tại nút 1 giảm đột ngột gần bằng 0. Từ kết quả mô phỏng trên hình 8 thấy khả năng hỗ trợ nâng điện áp xoay chiều của phương pháp đề xuất. Với phương pháp đề xuất thì sau một thời gian điện áp xoay chiều sẽ quay trở lại giá trị định mức. Trong khi, nếu bộ giới hạn dòng điện đặt giá trị cố định thì không có khả năng hỗ trợ sự suy giảm điện áp đột ngột khi có sự cố bất thường và không có khả năng đưa điện áp xoay chiều trở về giá trị định mức. Điều này có thể dẫn đến sự mất ổn định điện áp của toàn hệ thống. Hình 9 mô tả công suất tác dụng của bộ VSC khi truyền tải công suất từ trang trại gió đến lưới điện trong hai trường hợp sử dụng hệ thống điều khiển đề xuất và phương pháp thông thường. Hình 10 mô tả phản ứng quá độ của công suất phản kháng của bộ VSC-HVDC.



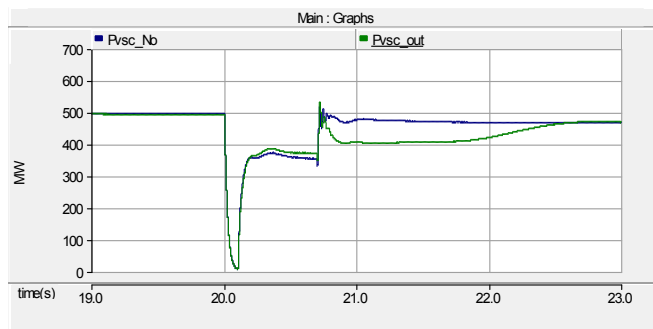
Hình 6. Quá độ dòng điện tác dụng khi áp dụng phương pháp điều khiển điện áp để xuất



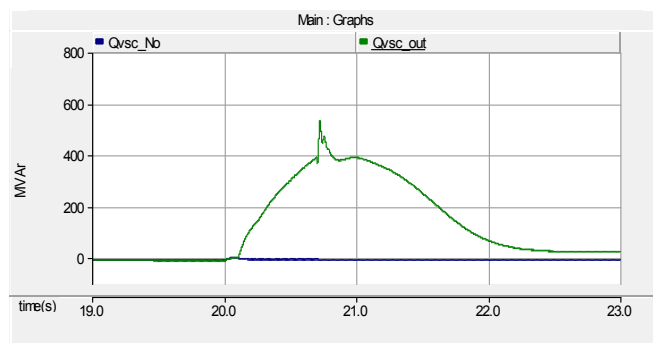
Hình 7. Phản ứng quá độ của dòng điện phản kháng khi áp dụng phương pháp điều khiển điện áp để xuất



Hình 8. Quá độ của điện áp xoay chiều tại nút 2 khi xảy ra sự cố trong trường hợp áp dụng điều khiển điện áp xoay chiều để xuất và không áp dụng



Hình 9. Công suất tác dụng của hệ thống VSC-HVDC truyền tải vào lưới khi xảy ra sự cố trong trường hợp áp dụng điều khiển điện áp xoay chiều để xuất và không áp dụng



Hình 10. Công suất phản kháng của hệ thống VSC-HVDC truyền tải vào lưới khi xảy ra sự cố trong trường hợp áp dụng điều khiển điện áp xoay chiều để xuất và không áp dụng

Như vậy, có thể thấy rằng từ các kết quả mô phỏng trong trường hợp sự cố nghiêm trọng này thì phương pháp đề xuất giúp khôi phục lại điện áp xoay chiều và qua đó giúp giảm nguy cơ gây mất ổn định điện áp trong lưới điện xoay chiều, qua đó hạn chế dẫn tới nguy cơ mất ổn định hệ thống.

5. KẾT LUẬN

Bài báo này giới thiệu phương pháp điều khiển bộ VSC giúp nâng cao khả năng hỗ trợ điện áp xoay chiều trong các sự cố nghiêm trọng. Qua đó giúp nâng cao ổn định điện áp của lưới điện xoay chiều. Với sự phát triển ngày càng nhiều các trang trại điện gió ngoài khơi và giải pháp truyền tải năng lượng gió bằng hệ thống VSC-HVDC thì sự đóng góp của hệ thống VSC-HVDC vào vận hành và nâng cao tính ổn định của hệ thống lai ghép DC-AC là đặc biệt quan trọng. Nghiên cứu này chỉ ra khả năng tham gia của

VSC-HVDC trong việc nâng cao ổn định điện áp của hệ thống trong các trường hợp sự cố nghiêm trọng. Qua đó, đóng góp vào nâng cao sự vận hành ổn định, tin cậy của toàn hệ thống. Hướng nghiên cứu tiếp theo là sự phối hợp các phương pháp điều khiển VSC khác nhau trong quá trình quá độ cũng như thiết kế, lựa chọn tham số điều khiển phù hợp với các tính huống bất thường xảy ra trong lưới điện lai ghép AC-DC trong tương lai.

PHỤ LỤC

Bảng PL1. Tham số lưới điện AC

Thông số	Giá trị	
Tần số	50Hz	
Điện áp danh định	380kV	
Công suất của Gen1, Gen2 and Gen3	1200MVA, 1000MVA, 1000MVA	
Tải tại thanh cái 1	680MW, 420MVar	
Tải tại thanh cái 2	600MW, 380MVar	
Tải tại thanh cái 3	650MW, 220MVar	
Khoảng cách	Line 12	100km
	Line 23	200km
	Line 31	150km

Bảng PL2. Tham số của bộ VSC-HVDC và tải động

Thông số	Động cơ không đồng bộ	VSC-HVDC	
Vị trí	Bus 1	Vị trí	Bus 2
Công suất danh định	680MVA	Công suất danh định	700MVA
Phần trăm tải	50%	Công suất tác dụng truyền tải	500MW
Quán tính	3,412s	Điện áp danh định	800kV

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. M. P. Bahrman, B. K. Johnson, 2007. *The ABCs of HVDC transmission technologies*. IEEE Power Energy Mag., vol. 5, no. 2, pp. 32–44.

[2]. C. Zhao, Y. Sun, 2006. *Study on control strategies to improve the stability of MULTI-INFEED HVDC systems applying VSC-HVDC*. in Proc. IEEE Electrical and Computer Engineering Conf., pp. 2253–2257.

[3]. C. Guo, C. Zhao, 2010. *Supply of an entirely passive AC network through a double-infeed HVDC system*. IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 11, pp. 2835–2841.

[4]. Q. Zhong, Y. Zhang, L. Lin et al., 2008. *Study of HVDC light for its enhancement of AC/DC interconnected transmission system*. in Proc IEEE PES General Meeting, pp. 1–6.

[5]. C. Feltes, H. Wrede, F. W. Koch, I. Erlich, 2009. *Enhanced fault ride-through method for wind farms connected to the grid through VSC based HVDC transmission*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 24, no. 3, pp. 1537–1546.

[6]. L. Xu, S. Li, 2010. *Analysis of HVDC light control using conventional decoupled vector control technology*. in Proc. IEEE PES General Meeting, pp. 1–8.

[7]. I. T. Fernando, K. L. Kent, J. B. Davies, E. Rahimi, A. M. Gole, 2007. *Parameters for planning and evaluation of Multi-infeedHVdc schemes*. in Proc. CIGRE 2007 Osaka Symp.

[8]. J. Reeve, S. P. Lane-Smith, 1993. *Multi-infeed HVDC transient response and recovery strategies*. IEEE Trans. Power Del., vol. 8, no. 4, pp. 1995–2001.

[9]. D. L. H. Aik, G. Andersson, 1997. *Voltage stability analysis of multiinfeed HVDC systems*. IEEE Trans. Power Del., vol. 12, no. 3, pp. 1309–1318.

[10]. Y. Shao, Y. Tang, 2010. *Voltage stability analysis of multi-infeed HVDC systems using small-signal stability assessment*. in Proc. IEEE/PES Transm. Distrib. Conf. Exhibition, pp. 1–6.

[11]. D. L. H. Aik, G. Andersson, 1998. *Use of participation factors in modal voltage stability analysis of multi-infeed HVDC systems*. IEEE Trans. Power Del., vol. 13, no. 1, pp. 203–211.

[12]. M. Szechtman, L.A. S. Pilotto, A. Way, W. F. Long, F. L. Alvaredo, 1992. *The behavior of several HVDC links terminating in the same load area*. in Proc. CIGRE Session, pp. 14–201, Group14.

[13]. W. Yuan, Y. Zhang, 2005. *Study of the static voltage stability in multi-infeed AC/DC system*. in Proc. IEEE/PES Transm. Distrib. Conf. Exhibition Asia and Pacific, pp. 1–5.

[14]. C. Du, E. Agneholm, G. Olsson, 2009. *VSC-HVDC system for industrial plants with onsite generators*. IEEE Trans. Power Del., vol. 24, no. 3, pp. 1359–1366.

[15]. M. B. Delghavi, A. Yazdani, 2011. *Island-Mode Control of Electronically Coupled Distributed-Resource Units Under Unbalanced and Nonlinear Load Conditions*. IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 26, No. 2.

[16]. T. M. Rowan, R. J. Kerkman, 2011. *A new synchronous current regulator and an analysis of current-regulated PWM inverters*. IEEE Trans. on Industry Applications, vol. IA-22, no. 4, pp. 678–690.

[17]. J. Peralta, S. Denneriere, J. Mahseredjian, 2011. *Average-values models for the simulation of VSC-HVDC Transmission system*. CIGRE International Symposium, Bologna.

[18]. <https://hvdc.ca/pscad/>

[19]. CIGRE WG B4.52, 2011. *HVDC Grid Feasibility Study - Interim Report*.

[20]. M. B. Delghavi, A. Yazdani, 2008. *A Control Strategy for Islanded Operation of a Distributed Resource (DR) Unit*. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 7 pp. July 20–24.

[21]. A. Yazdani, R. Iravani, 2010. *Voltage-Sourced Converters in Power Systems*. IEEE Press, A John Wiley & Sons, INC.

[22]. L. Angquist, L. Lindberg, 1991. *Inner Phase Angle Control of Voltage Source Converter in High Power Applications*. IEEE Power Electronics Specialists Conference PESC 91, pp. 293–298.

[23]. Xu, V. G. Agelidis, E. Acha, 2001. *Development Considerations of DSP Controlled PWM VSC-Based STATCOM*. IEEE Proceedings: Electric Power Application, vol. 148, no. 5, pp. 449–455.

[24]. A. R. Bergen, 1986. *Power System Analysis*. Prentice-Hall.

[25]. M. Kazmierkowski, L. Malesani, 1998. *Current-Control Techniques for Three Phase Voltage-Source PWM Converters: A survey*. IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. 45, no. 5, pp. 691–703.

[26]. L. Zhang, 2010. *Modeling and control of VSC-HVDC links connected to weak AC systems*. Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Royal Inst. Technol., Stockholm, Sweden.

[27]. Duc N.H, 2014. *State-Space Modelling and Voltage Control of AC-DC Networks*. PhD Thesis, TU Berlin.

[28]. Duc N.H, 2021. *A Novel Adaptive Control Approach Based on Available Headroom of the VSC-HVDC for Enhancement of the AC Voltage Stability*. Energies 2021, 14, 3222. <https://doi.org/10.3390/en14113222>.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Huu Duc
Electric Power University