



## NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG HỆ THỐNG TRUYỀN TẢI ĐIỆN MỘT CHIỀU CAO ÁP CHO HỆ THỐNG ĐIỆN GIÓ XA BỜ

Nguyễn Thị Thùy Dương, Nguyễn Thị Vân Anh,  
Nguyễn Thị Thùy Dung, Đoàn Văn Điện  
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 10/01/2019

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 22/01/2019

Ngày bài báo được duyệt đăng: 05/02/2019

### Tóm tắt:

Việc xây dựng các trang trại phát điện gió ngoài khơi là bước tiếp theo đối với việc sử dụng điện gió ở các nước ven biển trên thế giới. Sự kết nối giữa các trang trại gió ngoài khơi với lưới điện trên bờ có khoảng cách trên 50 km công suất lắp đặt trên 100 MW thì công nghệ truyền tải điện áp một chiều HVDC (High Voltage Direct Current) có nhiều lợi ích hơn công nghệ truyền tải bằng dòng xoay chiều HVAC (High Voltage Alternating Current). Bài báo này trình bày việc kết nối các hệ thống ngoài khơi với lưới điện trên bờ thông qua công nghệ truyền tải HVDC. Các nghiên cứu cụ thể được thực hiện ở cả chế độ xác lập và chế độ quá độ của hệ thống nhằm đánh giá khả năng truyền tải bằng dòng một chiều đối với các hệ thống điện gió xa bờ.

**Từ khóa:** Điện gió ngoài khơi, HVDC, Bộ biến đổi nguồn dòng, Bộ biến đổi nguồn áp.

### 1. Giới thiệu

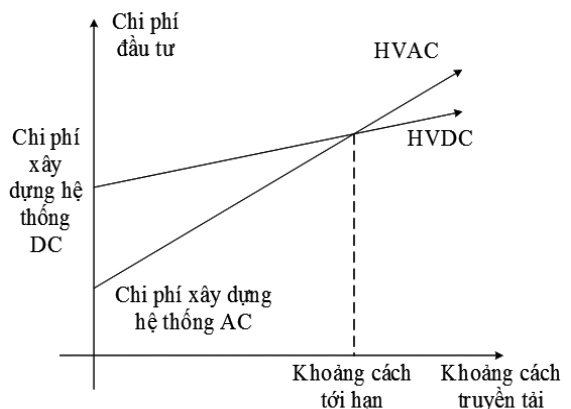
Năng lượng gió được xem xét là một trong những nguồn năng lượng tái tạo hứa hẹn, đang được phát triển mạnh mẽ, đặc biệt ở châu Âu và ở Mỹ. Năng lượng gió trên thực tế, là nguồn năng lượng tái tạo phát triển nhanh nhất: từ năm 1996, công suất lắp đặt từ 23900 MW lên 486749 MW [1]. Sự phát triển nhanh chóng của năng lượng gió trên khắp thế giới đã mở ra các môi trường mới trong việc tạo ra năng lượng gió dưới dạng các trang trại gió ngoài khơi. Việc tính tới đặt các turbine gió trên biển đã trở thành hiện thực, vì các vị trí trên bờ có gió tốt nhất để phát điện đã không còn nhiều. Gió ngoài khơi có tốc độ cao và ổn định hơn, tốt hơn cho việc phát điện, các khu vực lắp đặt rộng hơn, cũng như vấn đề di chuyển turbine gió ra xa khỏi khu dân cư là những lý do chính thúc đẩy đầu tư vào năng lượng gió ngoài khơi.

Sự kết nối các trang trại gió ngoài khơi và mạng lưới điện trên bờ có thể được thực hiện bằng công nghệ truyền tải HVAC hoặc HVDC. Hệ thống truyền tải HVAC là hệ thống truyền tải phổ biến nhất từ đầu thế kỷ 20 trên toàn thế giới, cho đến nay công nghệ truyền tải HVAC là công nghệ truyền tải có chi phí và tổn hao thấp ở khoảng cách ngắn.

Do những ưu điểm này mà HVAC là công nghệ truyền tải được sử dụng phổ biến để kết nối các trang trại gió ngoài khơi (offshore) với mạng lưới điện trên bờ (onshore). Tuy nhiên, nếu các trang trại gió nằm ngoài khơi cách xa đất liền và sử dụng cáp ngầm để truyền tải dòng xoay chiều với khoảng cách dài thì sẽ sinh ra công suất phản

kháng chạy trên đường dây. Điều này sẽ làm hạn chế khả năng truyền tải của cáp ngầm và gây ra tổn thất điện áp, tổn thất công suất trong cáp. Vì vậy trong phạm vi của bài báo này, nhóm nghiên cứu chỉ tập trung nghiên cứu và đề xuất việc truyền tải cho các trang trại gió xa bờ bằng công nghệ truyền tải một chiều HVDC. Các tính toán phân tích cụ thể được thực hiện ở cả chế độ xác lập và chế độ quá độ để đánh giá những ưu và nhược điểm của các công nghệ truyền tải.

### 2. Phương pháp nghiên cứu

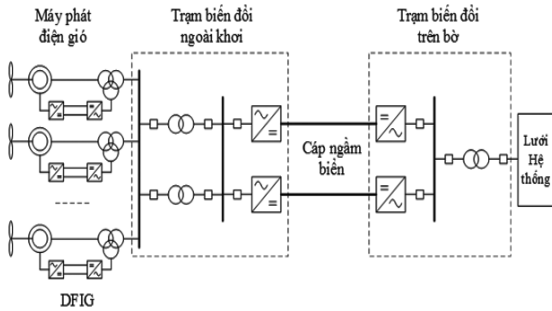


Hình 1. Chi phí đầu tư xây dựng đường dây HVDC và HVDC

Hình 1 cho thấy sự thay đổi chi phí của truyền tải xoay chiều và truyền tải một chiều với cùng khoảng cách. HVAC có xu hướng tiết kiệm hơn so với HVDC với khoảng cách nhỏ hơn khoảng

cách tối hạn nhưng lại đắt tiền hơn với khoảng cách xa hơn. Khoảng cách tối hạn có thể khác nhau trong khoảng từ 400-800km đối với đường dây trên không (tùy thuộc vào điện áp truyền tải). Với hệ thống dùng cáp khoảng cách tối hạn nằm trong khoảng 25-50km.

Hình 2 mô tả sơ đồ kết nối hệ thống với mạng lưới trên bờ bằng các ngầm một chiều.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý kết nối hệ thống

Hệ thống truyền tải HVDC sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất lớn ở hai đầu cấp truyền tải. Hiện nay công nghệ truyền tải HVDC được sử dụng rộng rãi trong:

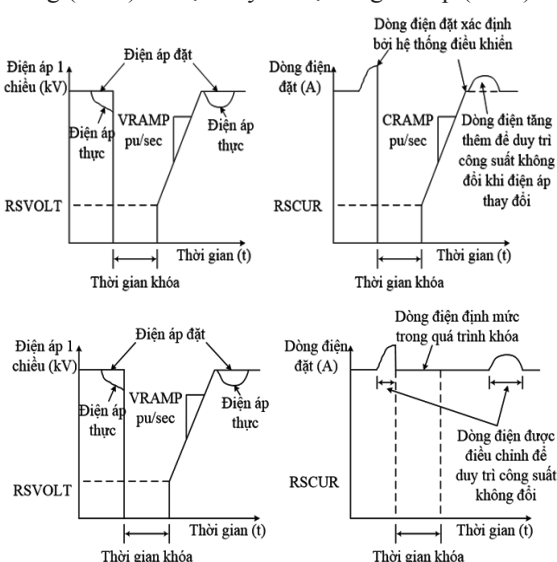
Hệ thống điện có liên kết yếu hoặc hệ thống điện tách biệt;

Hệ thống trao đổi công suất liên khu vực hay liên kết giữa các quốc gia;

Kết nối với các phụ tải tách biệt ở khoảng cách xa như các giàn khoan dầu, nhà giàn hay các trạm khai thác khí đốt;

Kết nối với các hệ thống điện gió ngoài khơi xa bờ.

Trong số đó, các bộ biến đổi điện tử công suất có thể được chia làm 2 loại: bộ chuyển mạch nguồn dòng (LCC) và bộ chuyển mạch nguồn áp (VSC).

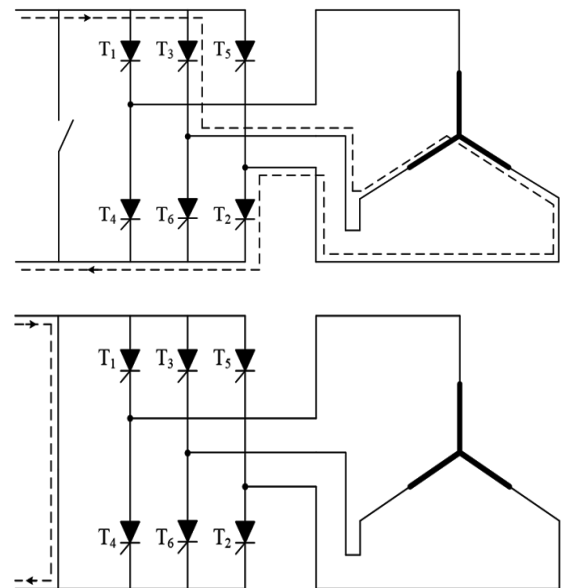


Hình 3. Nguyên lý hoạt động của bộ biến đổi HVDC

Thiết bị biến đổi nguồn dòng LCC chủ yếu sử dụng các van điện tử Thyristor có khả năng truyền tải công suất lên đến hàng trăm MW, hệ thống biến đổi công suất lớn này cần phải trang bị thêm các bộ lọc sóng hài.

Thiết bị biến đổi nguồn áp VSC có thể điều khiển đồng thời công suất tác dụng và công suất phản kháng và sinh ra ít sóng hài hơn ở phía xoay chiều. Tuy nhiên nhược điểm chính của VSC là công suất truyền tải bị giới hạn, ngay cả khi quá dòng trong thời gian ngắn cũng có thể dẫn tới quá nhiệt và phá hủy hoàn toàn các phần tử chuyển mạch. Trong trường hợp hệ thống có sự cố ngắn mạch, điện áp bị giảm đột ngột, các van công suất được điều khiển để duy trì công suất truyền tải trên đường dây một chiều là định mức.

Cấu trúc cơ bản của hệ thống HVDC có thể được chia làm 3 phần: Chính lưu, Nghịch lưu và Cấp truyền tải. Hệ thống chính lưu và nghịch lưu công nghệ LCC sử dụng Thyristor được mô tả như trong Hình 4.



Hình 4. Hệ thống chuyển mạch LCC

Công suất tác dụng và phản kháng của bộ biến đổi HVDC được xác định từ dòng điện và điện áp đầu vào phía xoay chiều AC, các giá trị này được tính toán thông qua module Power flow của phần mềm PSS/E. Điện áp một chiều của hệ thống HDVC được xác định theo phương trình (1):

$$U_{dc} = N_c \left( \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \cdot \cos \alpha - \frac{3X_{cc} I_{dc}}{\pi} - 2R_{cc} I_{dc} \right) \quad (1)$$

trong đó:  $\alpha$  là góc điều khiển các van bán dẫn công suất,  $\alpha$  được xác định thông qua chế độ điều khiển. Góc trùng dẫn  $\mu$  cũng được xác định thông qua góc

mở  $\alpha$  theo phương trình (2)

$$\mu = \arccos\left(\cos\alpha - \frac{\sqrt{2}I_{dc}X_{cc}}{U}\right) - \alpha \quad (2)$$

Công suất tác dụng, công suất phản kháng và hệ số công suất sau đó được tính toán theo các phương trình (3), (4) và (5)

$$P_{AC} = \frac{3N_c U^2}{4\pi X_{cc}} (\cos(2\alpha) - \cos(2(\mu + \alpha))) \quad (3)$$

$$Q_{AC} = \frac{3N_c U^2}{4\pi X_{cc}} (2\mu + \sin(2\alpha) - \sin(2(\mu + \alpha))) \quad (4)$$

$$\tan(\varphi) = \frac{2\mu + \sin(2\alpha) - \sin(2(\mu + \alpha))}{\cos(2\alpha) - \cos(2(\mu + \alpha))} \quad (5)$$

$$U_{dc} = N_c \left( \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \cdot (\cos(\alpha - 30) + \cos(\delta + 30)) \right) \quad (6)$$

$$I_{dc} = \frac{1}{\sqrt{6} \left( X_{cc} + \frac{2\pi}{9} R_{cc} \right)} U \cdot (\cos(\alpha - 30) - \cos(\delta + 30)) \quad (7)$$

$$U_{dc} = N_c \left( \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \cdot \cos(\alpha - 30) - \frac{9X_{cc}I_{dc}}{\pi} - 2R_{cc}I_{dc} \right) \quad (8)$$

$$\gamma = \arccos\left(\cos(\alpha - 30) - \frac{\sqrt{6}I_{dc}X_{cc}}{U}\right) - 30 \quad (9)$$

$$\tan(\varphi) = \frac{2\mu + \sin(2(\alpha - 30)) - \sin(2(\gamma + \alpha))}{\cos(2(\alpha - 30)) - \cos(2(\gamma + 30))} \quad (10)$$

$$P_{AC} = \frac{3N_c U^2}{4\pi X_{cc}} (\cos(2(\alpha - 30)) - \cos(2(\gamma + 30))) \quad (11)$$

$$Q_{AC} = \frac{3N_c U^2}{4\pi X_{cc}} (2\mu + \sin(2(\alpha - 30)) - \sin(2(\gamma + 30))) \quad (12)$$

**3. Sơ đồ mô phỏng**

PSS/E là một phần mềm phân tích được sử dụng rộng rãi cho các mô phỏng hệ thống điện. Công cụ tính toán phân bố công suất của PSS/E chỉ có thể được sử dụng trực tiếp cho các hệ thống xoay chiều. Bài báo này sử dụng phương pháp AC tương đương của PSS/E để tính toán lưu lượng tải AC nhằm tính toán gián tiếp dòng tải DC của lưới điện DC, tức là sử dụng các thành phần AC để xây dựng một hệ thống lưới điện DC tương đương và tính các dòng điện tương ứng. Các kết quả tính toán dòng điện AC tương ứng phản ánh các phân bố dòng điện DC của lưới điện DC. Hệ thống điện sử dụng để phân tích và mô phỏng được sử dụng từ sơ đồ lưới có sẵn và tích hợp thêm các hệ thống điện gió được mô phỏng cho các hệ thống điện gió xa bờ. Hệ thống mô phỏng được xây dựng gồm có 33 nút

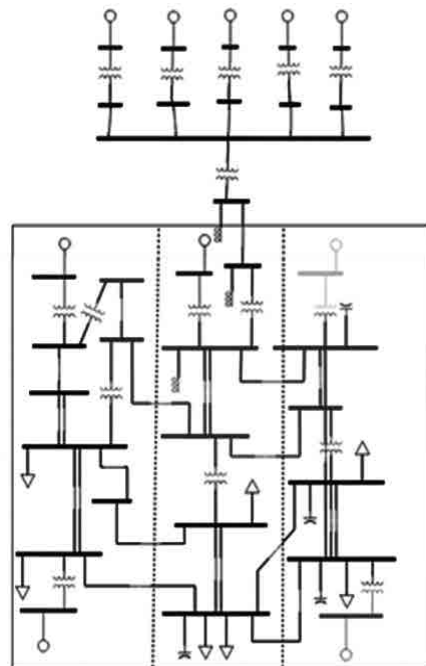
với các cấp điện áp truyền tải là 500kV và 220kV. Thông số của các nguồn phát và các phụ tải được cho trong Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Số liệu nguồn phát

| TT | Bus   | Nguồn phát | P   | Q     |
|----|-------|------------|-----|-------|
| 1  | 101   | NUC-A      | 750 | 105.8 |
| 2  | 206   | URBGEN     | 800 | 600   |
| 3  | 211   | HYDRO_G    | 900 | 600   |
| 4  | 3011  | MINE_G     | 897 | 170   |
| 5  | 3018  | CATDOG_G   | 100 | 80    |
| 6  | 90001 | CLR_1      | 24  | 18    |
| 7  | 90002 | CLR_2      | 21  | 15    |
| 8  | 90003 | CLR_3      | 24  | 18    |
| 9  | 90004 | CLR_4      | 21  | 15    |
| 10 | 90005 | CLR_5      | 24  | 18    |

Bảng 2. Số liệu phụ tải

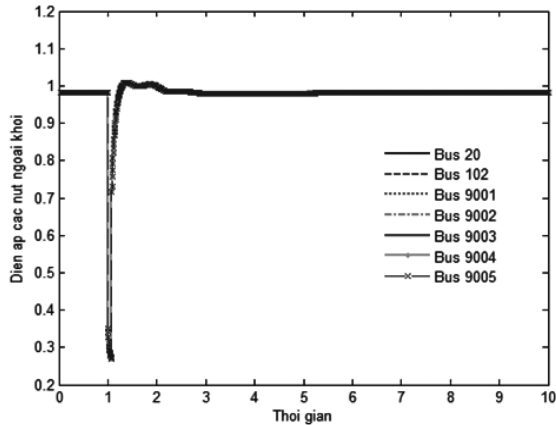
| TT | Bus  | Phụ tải | P    | Q   |
|----|------|---------|------|-----|
| 1  | 153  | MID230  | 200  | 100 |
| 2  | 154  | DOWNTN  | 600  | 450 |
| 3  | 154  | DOWNTN  | 400  | 350 |
| 4  | 203  | EAST230 | 300  | 150 |
| 5  | 205  | SUB230  | 1200 | 700 |
| 6  | 3005 | WEST    | 100  | 50  |
| 7  | 3007 | RURAL   | 200  | 75  |
| 8  | 3008 | CATDOG  | 200  | 75  |



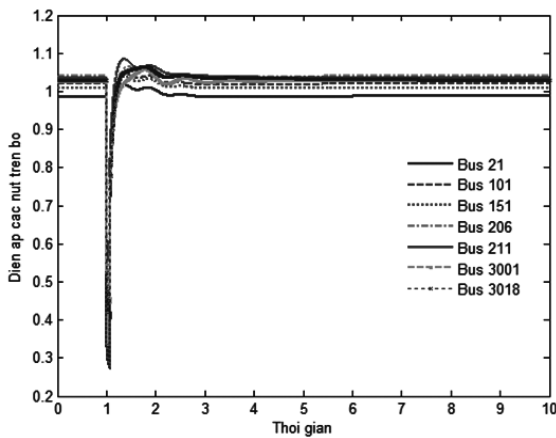
Hình 5. Sơ đồ mô phỏng kết nối hệ thống

**4. Kết quả mô phỏng**

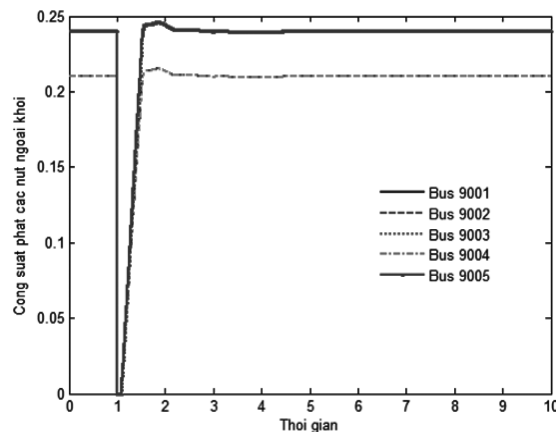
Kịch bản mô phỏng ổn định động được xem xét với giả định ngắn mạch xảy ra trên thanh góp 220kV tại bus 3004 ở cả hai trường hợp HVAC và HVDC. Sự cố xảy ra ở thời điểm giây thứ nhất và kéo dài trong khoảng 80ms. Quan sát các kết quả mô phỏng ở các hình vẽ ta có một số kết luận về các đáp ứng của các máy phát turbine gió, cụ thể là các máy phát DFIG.



Hình 6. Dao động điện áp các máy phát điện gió

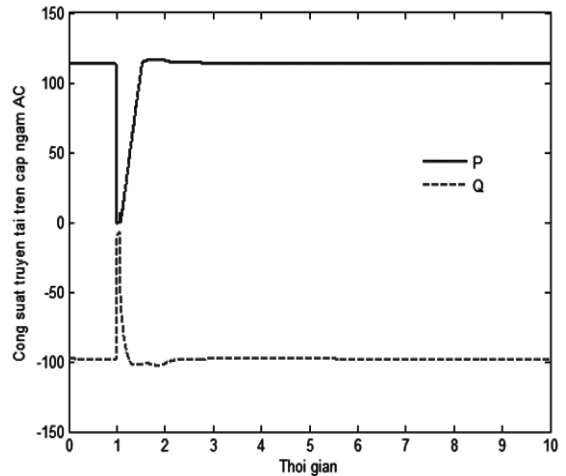


Hình 7. Điện áp tại các nút trên bờ

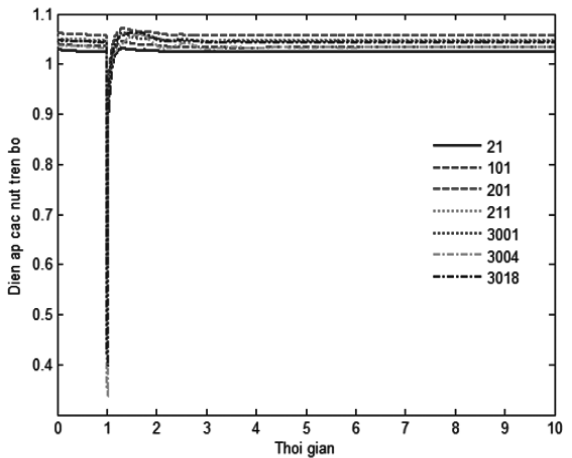


Hình 8. Công suất phát của các máy phát điện gió

Các hình 6, 7, 8 mô tả biên độ điện áp của các nút ngoài khơi, trên bờ cũng như công suất truyền tải trên cáp ngầm xoay chiều AC. Từ Hình 8 thấy rằng khi xảy ra kích động trong hệ thống, công suất truyền tải gần như bị gián đoạn, hay mối liên kết giữa hệ thống điện ngoài khơi với hệ thống điện chính trên bờ là không còn. Điều này có thể dẫn tới sụp đổ hệ thống do gây ra sự cố xếp chồng tức là vừa xảy ra ngắn mạch tại một điểm bất kỳ trong hệ thống vừa mất công suất của một nhóm hay tổ máy phát có công suất lớn.

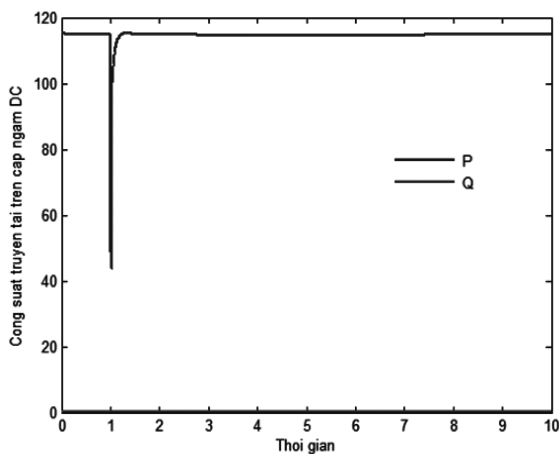


Hình 9. Công suất tác dụng và phản kháng trên cáp ngầm HVAC



Hình 10. Điện áp các nút trên bờ

Hình 10 mô tả dao động điện áp của các nút điện áp điển hình có biên độ rất nhỏ. Điều này chứng tỏ là khi xảy ra kích động trong hệ thống, công suất trên đường dây liên kết 1 chiều giữa hệ thống điện chính và hệ thống điện ngoài khơi dao động không đáng kể, dẫn tới điện áp tại các nút phụ tải cũng được giữ ổn định.



Hình 11. Công suất tác dụng và phản kháng trên cáp ngầm HVDC

Hình 11 mô tả công suất tác dụng và phản kháng trên đường dây HVDC. Như vậy trong khi xảy ra kích động, mối liên lạc giữa hệ thống điện gió ngoài khơi vẫn được duy trì nhưng công suất truyền tải bị suy giảm hơn 50% giá trị, đồng thời lúc này công suất phản kháng trên đường dây HVDC xấp xỉ bằng không. Chứng tỏ, so với truyền tải bằng HVAC, HVDC cho tổn thất công suất thấp hơn, thời gian và biên độ dao động điện áp, dao động công suất nhỏ hơn so với hệ thống truyền tải bằng cáp HVAC.

Như vậy, với hệ thống truyền tải HVAC khi

xảy ra các kích động trong hệ thống điện, nó ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động bình thường của các turbine, nếu sử dụng hệ thống HVDC thì khi tốc độ gió thay đổi, điện áp và công suất có thể được duy trì ổn định. Công nghệ truyền tải này cũng có thể cô lập một cách hiệu quả các ảnh hưởng khi vận hành hệ của thống điện gió tới hệ thống điện chính.

## 5. Kết luận

Bài báo thảo luận vấn đề truyền tải điện năng từ các trang trại phát điện bằng sức gió ngoài khơi bằng cáp ngầm xoay chiều và cáp ngầm một chiều. Kết quả nghiên cứu cho thấy, giải pháp sử dụng HVDC để kết nối các trang trại gió ngoài khơi với các lưới hiện có trên bờ đã giảm tổn thất công suất, hạn chế dao động công suất. Mục tiêu chính của nghiên cứu được thực hiện là đánh giá đáp ứng của các máy phát điện gió và các tác động qua lại khi xảy ra kích động trong hệ thống có sử dụng các giải pháp truyền tải một chiều cao áp HVDC. Điều này đặc biệt quan trọng vì theo dự báo, công suất lắp đặt của các trang trại phát điện bằng sức gió ngoài khơi sẽ chiếm một phần đáng kể trong tương lai. Việc mất một lượng năng lượng công suất sau khi xảy ra sự cố và thiếu công suất phản kháng trong quá trình xảy ra sự cố có thể dẫn đến mất ổn định và sụp đổ hoàn toàn hệ thống điện. Bài báo cũng mới chỉ dừng lại xem xét ở vấn đề ổn định quá độ trong hệ thống, chưa xem xét đến các vấn đề chi phí.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. GWEC - Global Wind Energy Council. [www.gwec.net](http://www.gwec.net).
- [2]. Manwell, James F., McGowan, Jon G. and Rogers, Anthony L. *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. s.l.: Wiley, 2002.
- [3]. Delivering offshore wind power in Europe - EWEA Report. [www.ewea.org](http://www.ewea.org).
- [4]. Xu, Lie and Andersen, Bjarne R. *Grid Connection of Large Offshore Wind Farms Using HVDC*. s.l.: Wiley Interscience, 2005.
- [5]. Lazaridis, Lazaros P. *Economic Comparison of HVAC and HVDC Solutions for Large Offshore Wind Farms under Special Considerations of Reliability* - Master's Thesis. s.l.: Royal Institute of Technology, 2005.
- [6]. Negra, N. Barberis, Todorovic, J. and Ackermann, T. *Loss Evaluation of HVAC and HVDC transmission solutions for large offshore wind farms*. s.l.: Elsevier, 2006.
- [7]. Zubiaga, M., et al. *Evaluation and selection of AC transmission lay-outs for large offshore wind farms*. s.l.: IEEE, 2009.
- [8]. Wiechowski, W. and Eriksen, P. *Selected Studies on Offshore Wind Farm Cable Connections - Challenges and Experience of the Danish TSO*. s.l.: IEEE, 2008.
- [9]. Wright, Sally D., et al. *Transmission Options for Offshore Wind Farms in the United States*. s.l.: AWEA, 2002.
- [10]. Kirby, N. M., et al. *HVDC Transmission for Large Offshore Wind Farms*. s.l.: IEEE, 2002.
- [11]. Siemens PTI, *User Manual PSS/E V34*, 2016.

**STUDY ON HDVC INTERCONNECTION OF OFFSHORE WIND FARMS****Abstract:**

*The construction of offshore wind farms is the next step for wind power use in coastal countries around the world. The connection between offshore wind farms and onshore grids with a distance of more than 50 km over capacity of offshore 100 MW installed, the HVDC (High Voltage Direct Current) technology has more benefits than the Transmission technology by AC current HVAC (High Voltage Alternating Current). This paper presents the connection of offshore systems to onshore grids via HVDC transmission technology. Specific studies are carried out in both the steady-state mode and the transient mode of power system.*

**Keywords:** *Offshore wind power, HVDC, Line commutated converters, Voltage source converters.*