

# NGHIÊN CỨU QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG TRANG TRẠI ĐIỆN GIÓ DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA DÒNG ĐIỆN SÉT

OVERVOLTAGE INVESTIGATION OF WIND FARM UNDER LIGHTNING STROKES

Hoàng Tiến Thành<sup>1,\*</sup>, Dương Duy Tiến<sup>1</sup>,  
Đổng Quốc Tú<sup>1</sup>, Ninh Văn Nam<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.036>

## TÓM TẮT

Năng lượng điện gió ngày càng phát triển để đáp ứng nhu cầu tăng nhanh của phụ tải, trong bối cảnh các nguồn năng lượng truyền thống ngày một hạn chế và không được khuyến khích phát triển. Tuy nhiên, điện gió cũng có nhiều nhược điểm, một trong các nhược điểm đó là các tuabin thường xuyên bị sét đánh gây ra quá điện áp (QĐA) ảnh hưởng tới vận hành của tuabin điện gió. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về QĐA trong trang trại điện gió khi xảy ra sét đánh vào tuabin gió, phân tích một số yếu tố ảnh hưởng đến QĐA sét trong trang trại điện gió như tham số của dòng điện sét, hệ thống nối đất của tua bin để từ đó đề xuất các giải pháp nhằm giảm QĐA trong trang trại điện gió. Ngoài ra cũng phân tích tác dụng và vai trò của bộ chống sét van (CSV) trong vấn đề chống sét lan truyền được lắp đặt phía hạ áp và trung áp của máy biến áp nối với máy phát tuabin gió. Kết quả cho thấy ứng dụng giải pháp này có thể giảm trị số QĐA do sét gây ra cao áp giảm 3 lần và phía hạ áp tới 56 lần. Kết quả nghiên cứu được thực hiện bằng chương trình mô phỏng quá độ điện từ EMT/ATP.

**Từ khóa:** Tua bin gió, quá điện áp, chống sét van, EMT/ATP.

## ABSTRACT

Wind power is increasingly developing to meet the rapidly increasing demand of loads, in the context that traditional energy sources are increasingly limited and not encouraged for development. However, wind power also has many disadvantages, one of which is that the turbines are often struck by lightning causing overvoltage affecting the operation of wind turbines. This paper presents the conclusion of the study on the overvoltage in the wind power farm when lightning strikes the wind turbine, analyzes some factors affecting the lightning overvoltage in the wind farm such as the parameter of lightning current, the system grounding system of the turbine to propose solutions to reduce overvoltage in wind farm. In addition, the effect and role of the surge arrester are also analyzed in the problem of surge protection installed on the low and medium voltage side of the transformer connected to the wind turbine generator. The results show that applying this solution can reduce the overvoltage value caused by lightning on the low voltage side by up to 56%. Research results are carried out by simulation program of electromagnetic transients EMT/ATP.

**Keywords:** Wind turbine, overvoltages, line surge arrester, overvoltages, EMT/ATP.

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: [duongduytien29@gmail.com](mailto:duongduytien29@gmail.com)

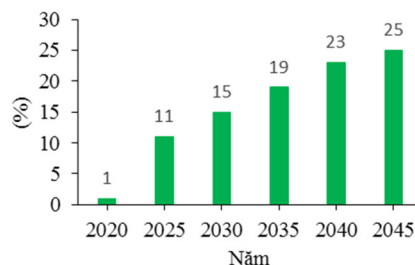
Ngày nhận bài: 20/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 03/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2023

## 1. GIỚI THIỆU

Năng lượng điện gió là một trong các nguồn năng lượng tái tạo ngày càng phát triển trên thế giới cũng như tại Việt Nam. Theo quy hoạch điện VII điều chỉnh [1] và dự báo các sự thay đổi cơ cấu công suất nguồn điện theo các mốc thời gian (kịch bản phụ tải cơ sở), điện gió tại Việt Nam ngày càng phát triển, năm 2021 công suất điện gió chỉ chiếm tỷ trọng 1% nhưng dự báo đến năm 2030 tăng tới 19% và đến năm 2045 tăng lên tới 35% tổng công suất các nguồn điện (hình 1). Công nghệ phát triển điện gió ngày càng mạnh, nên các tuabin hiện đại ngày càng được thiết kế với chiều cao bao gồm chiều cao trụ và chiều dài của cánh ngày càng lớn hơn để tối ưu hóa năng lượng khai thác từ gió, các tuabin gió có thể cao tới hơn 100m [2]. Tuy nhiên, các tuabin với chiều cao lớn như vậy đặt ra mối quan tâm lớn đối với việc chống sét. Bởi vì, các tuabin có chiều cao càng lớn nên càng dễ bị sét đánh, số lần sét đánh vào tua bin phụ thuộc vào chiều cao và mật độ giông sét tại khu vực lắp tuabin gió [2]. Việt Nam nằm trong khu vực có mật độ giông sét khá cao [3], mật độ sét từ 1,4 - 14,9 lần/km<sup>2</sup>.năm nên số lần sét đánh vào các tua bin rất lớn, số lần sét đánh vào tua bin có thể tới 30 lần/năm [4] và gây hư hỏng các thiết bị của tuabin. Do vậy, vấn đề chống sét cho tua bin phải được nghiên cứu cụ thể và toàn diện nhằm mục đích nâng cao độ tin cậy giảm thiểu thiệt hại do sét gây ra.

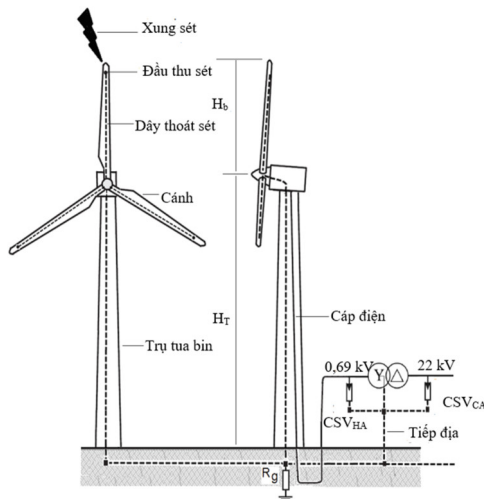


Hình 1. Tỷ trọng công suất điện gió dự báo đến 2045 [1]

Khi sét đánh trực tiếp vào cánh của một tuabin gió, dòng điện sét đi qua các đầu thu sét đã lắp trên các cánh của tuabin sau đó dòng điện sét dẫn qua dây thoát sét lắp đặt trong cánh và dẫn trên dây thoát sét lắp đặt trong trụ của tuabin gió xuống hệ thống nối đất (hình 2). Dòng điện sét này khi chạy trong dây dẫn thoát sét sẽ cảm ứng sang

các đường dây cáp điện lực gây ra QĐA. Trong trang trại điện gió có các tuabin gió nối điện với nhau để phát công suất lên hệ thống, do đó QĐA cũng sẽ ảnh hưởng tới các tua bin bên cạnh. Độ lớn QĐA này phụ thuộc vào rất nhiều các yếu tố như các tham số dòng điện sét, trị số điện trở của hệ thống nối đất tuabin gió, cách bố trí dây dẫn trong trụ tuabin gió [4].

Những năm gần đây CSV loại MOV được sử dụng để bảo vệ QĐA trong các tuabin gió ngày càng phổ biến. Hiệu quả của việc giảm QĐA khi lắp đặt CSV ở cấp điện áp trung áp đã được chỉ rõ trong [5-7]. Tuy nhiên, giải pháp lắp CSV chủ yếu thực hiện ở cấp điện áp trung áp của tuabin gió kết nối với lưới điện. Trong khi đó, có nhiều báo cáo chỉ ra rằng có ít nhất 50% sự cố do QĐA sét xảy ra ở cấp điện áp thấp [5, 8, 9]. Bài báo này sẽ trình bày kết quả nghiên cứu QĐA khi sét đánh vào một tuabin gió trong trang trại điện gió, phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến QĐA của tuabin gió bị sét đánh và các tuabin gió bên cạnh trong trang trại điện gió, để đánh giá mức độ nguy hiểm của QĐA do sét gây ra làm cơ sở để xuất và nghiên cứu biện pháp giảm thiểu. Kết quả nghiên cứu được thực hiện bằng chương trình mô phỏng quá độ điện từ EMTP/ATP. Trong bài báo này, cấu hình của một tuabin gió đang vận hành tại Việt Nam làm đối tượng nghiên cứu.



Hình 2. Các thành phần của tua bin điện gió

**2. THAM SỐ DÒNG ĐIỆN SÉT**

Sét là một hiện tượng vật lý tự nhiên, xảy ra ngẫu nhiên trong bầu khí quyển giữa các đám mây hoặc giữa mây và mặt đất [10]. Các cú sét đánh bao gồm cú sét đợt đầu tiên và các cú sét đợt tiếp theo, các cú sét đợt đầu có trị số lớn còn các đợt tiếp theo có trị số nhỏ hơn, hơn 90% phóng điện hướng xuống chủ yếu thuộc loại cực tính âm và 10% thuộc cực tính dương [10]. Mỗi tham số của dòng sét đều có một phân bố xác suất theo hàm xác suất log chuẩn. Trong bài báo này sử dụng phân bố xác suất được khuyến cáo bởi CIGRE [11]:

$$f(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma I} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(I/\bar{I})}{\sigma}\right)^2\right] \tag{1}$$

Trong đó:  $\sigma$  là độ lệch chuẩn;  $\bar{I}$  là biên độ dòng điện sét trung bình. Các tham số được trình bày trong bảng 1.

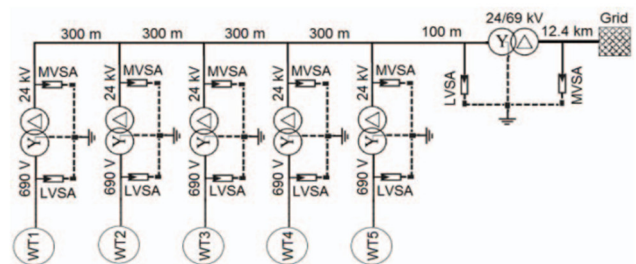
Bảng 1. Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn [11]

Tham số	Phân bố log chuẩn	
	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn $\sigma$
$\bar{I}$ (kA)	34	0,74
$t_r$ ( $\mu$ s)	2	0,494
$t_h$ ( $\mu$ s)	77,5	0,577

**3. TRANG TRẠI ĐIỆN GIÓ VÀ MÔ HÌNH MÔ PHỎNG**

Một trang trại gió được thể hiện trong hình 3 được sử dụng để nghiên cứu QĐA khi xảy ra sét đánh. Máy phát tuabin gió với công suất 2MW, điện áp 690V. Cột trụ tuabin có chiều cao 80m, cánh dài 40m. Đường kính ngoài phía trên của trụ là 5,4m đường kính ngoài của chân trụ là 8,6m.

Mỗi tuabin gió nối với một máy biến áp 2MVA-0,69/24kV đặt ở chân mỗi trụ tuabin. Trang trại điện gió được kết nối với lưới điện bởi dây cáp XLPE rồi qua máy biến áp 16MVA, 24/110kV. Các tuabin gió được đặt cách nhau khoảng 200m. Trang trại điện gió bị kết nối với lưới điện qua đường dây trên không dài 3km.



Hình 3. Trang trại điện gió trong nghiên cứu

**4. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG TRONG EMTP/ATP**

Để xác định QĐA sét trong trang trại điện gió khi sét đánh vào cánh của một tuabin, cần thiết phải mô hình hóa được các phần tử trên đường đi của dòng điện sét gồm cánh, cột trụ cùng các đường cáp đi trong cột trụ và hệ thống nối đất. Ngoài ra nguồn điện sét, CSV cũng cần phải được mô hình hóa. Sau đây sẽ trình bày mô tả các phần tử cơ bản của một tua bin:

a) Cánh: được mô tả bởi một tổng trở sóng xác định theo công thức [4]:

$$Z_b = 60 \ln \frac{2H_b}{r_b}, \Omega \tag{2}$$

Với  $H_b$  và  $r_b$  lần lượt là chiều dài và bán kính vật dẫn đặt trong cánh tua bin (m).

b) Cột trụ: được mô tả bởi một tổng trở sóng xác định theo công thức [4]:

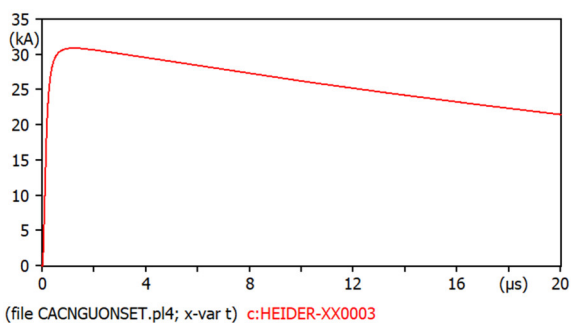
$$Z_b = 60 \ln \frac{\sqrt{2}H_T}{r_T}, \Omega \tag{3}$$

Với  $H_T$ ,  $r_T$  lần lượt là chiều cao và bán kính tương đương của cột trụ (m).

c) Hệ thống nối đất: Tùy theo mục đích nghiên cứu có thể lựa chọn mô hình hệ thống nối đất của tua bin khác

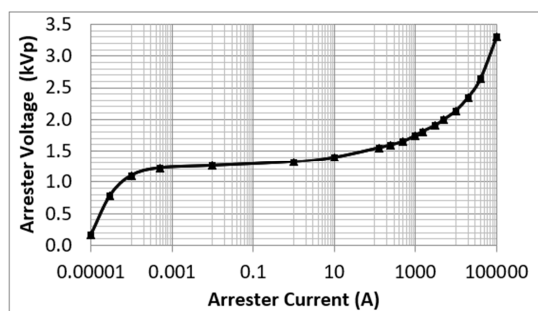
nhau. Trong bài báo này toàn bộ hệ thống nối đất của tua bin được mô hình bằng điện trở không đổi.

d) Nguồn điện sét được mô hình bằng một nguồn dòng lý tưởng biến thiên theo thời gian  $i(t)$  đầu song song với tổng trở sóng của kênh sét  $Z_s$ . Bài báo này sử dụng nguồn sét loại Slope- Ramp với 4 tham số chính đó là trị số biên độ dòng điện sét có dải từ 3kA đến 300kA [11], thời gian đầu sóng  $t_r$ . Trở kháng kênh sét là một tổng trở sóng có trị số là 400Ω [11]. Dạng sóng dòng điện sét như trên hình 4.

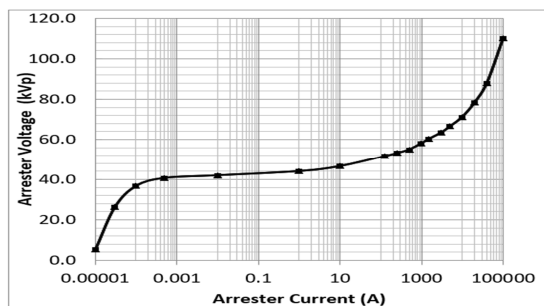


Hình 4. Dạng sóng dòng điện sét

e) Chống sét van (CSV): Trong bài báo này sử dụng mô hình đơn giản là CSV được thay thế bởi một điện trở phi tuyến có đặc tính như trên hình 5.



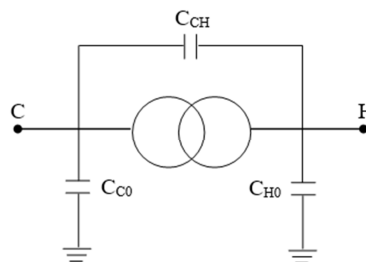
a)



b)

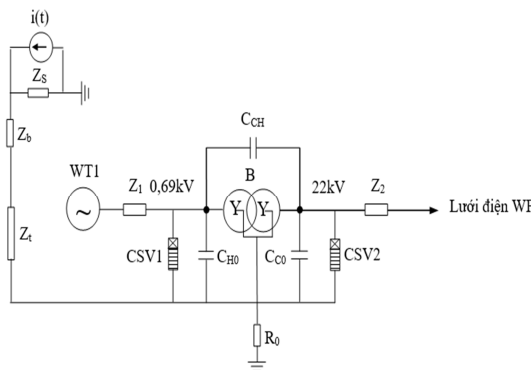
Hình 5. Đặc tính V-S của CSV a) phía 0,69kV, b) phía 22kV

f) Máy biến áp: Mô hình MBA cho nghiên cứu phân tích QĐA do sét có dạng mạch điện với thông số phụ thuộc tần số như trên hình 6 [4], trong đó điện dung giữa: cuộn dây hạ áp với đất là  $C_H$ , cuộn dây cao áp với đất là  $C_C$  và giữa cuộn dây hạ áp và cao áp của MBA là  $C_{CH}$ . Trị số của các điện dung này được các nhà sản xuất máy biến áp cho hoặc xác định bằng phương pháp đo lường trực tiếp, trong bài báo này  $C_H = 15nF$ ;  $C_C = 15nF$ ;  $C_{CH} = 18nF$  [4].



Hình 6. Mô hình MBA

h) Mô hình đường dây: Đường dây hạ áp tại các tuabin gió thường có chiều dài rất ngắn (chỉ từ vài mét đến trên 100m), nó được dùng để nối điện giữa máy phát điện và máy biến áp của một tuabin gió trong trang trại điện gió. Do đó trong mô phỏng nghiên cứu, đường dây hạ áp này được thay thế bằng mô hình mạch thông số hình  $\pi$  [4]. Đường dây trung áp dùng để kết nối MBA từ các tua bin trong trang trại điện gió với nhau sau đó kết nối với lưới điện. Các đường dây này có thể sử dụng mô hình sau: Đường dây trên không sử dụng mô hình J Marti, đường cáp sử dụng mô hình Bergeron [4]. Mô hình mô phỏng trong EMT/ATP của một tua bin điện gió mô tả trên hình 7.

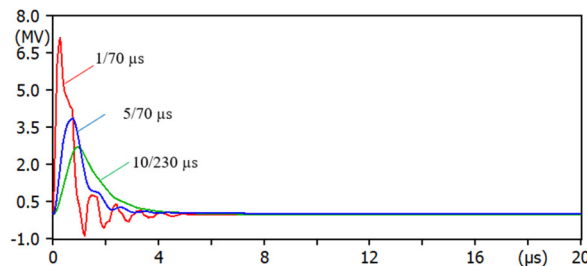


Hình 7. Mô hình mô phỏng của mỗi tuabin gió trong EMT/ATP

## 5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

### 5.1. Ảnh hưởng thời gian đầu sóng của dòng điện sét

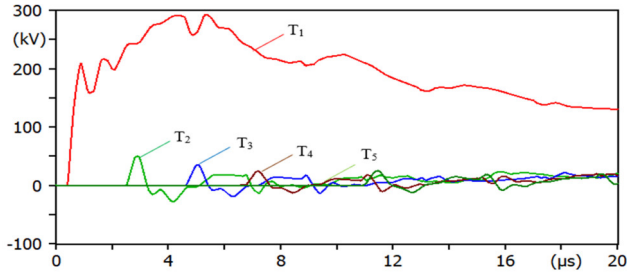
Hình 8 minh họa QĐA ở đầu cánh của tuabin gió 1 khi tuabin gió này bị sét đánh với biên độ 31kA và các tham số thời gian đầu sóng và độ dài sóng khác nhau. Tiếp địa các cột tuabin gió có trị số 10Ω. Có thể thấy rõ rằng khi độ dài đầu sóng  $t_r$  của dòng sét nhỏ nhất ( $1/70\mu s$ ) sẽ tạo ra QĐA lớn nhất. QĐA giảm mạnh khi độ dốc của sóng giảm, ở dạng sóng  $5/70\mu s$  cho QĐA thấp hơn nhiều so với  $1/70\mu s$ . Trong khi, dạng sóng  $10/230\mu s$  tạo ra QĐA nhỏ nhất.



Hình 8. Điện áp đầu cánh tua bin bị sét đánh với các dạng sóng sét khác nhau

**5.2. QĐA các tua bin bên cạnh**

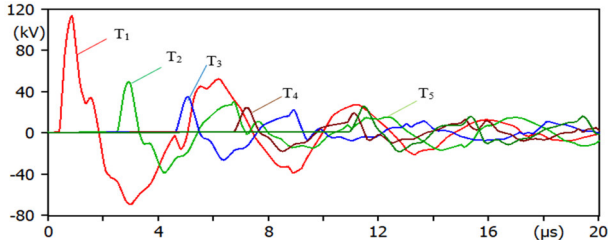
Khi sét đánh vào tua bin gió 1 sẽ gây QĐA, sóng QĐA lan truyền trong trang trại điện gió gây ra QĐA cho các tua bin gió bên cạnh, mức QĐA được trình bày trên hình 9 và 10. Hình 9 hiển thị các QĐA truyền tới các tua bin gió liền kề và được ghi lại tại tiếp địa của các tua bin gió (T<sub>1</sub> đến T<sub>5</sub>), khi cánh của T<sub>1</sub> bị sét sét đánh với dạng sóng sét là 1/70μs, R<sub>td</sub> các cột tua bin gió là 10Ω.



Hình 9. Điện áp trên tiếp địa các tuabin gió khi sét đánh vào cánh tua bin gió 1 với dòng sét 31kA (1/70μs)

Nhận thấy rằng khi sét đánh vào cánh của T<sub>1</sub> dòng sét lan truyền trên các cáp thoát sét và xuống đất qua tiếp địa của T<sub>1</sub>, các tua bin gió càng xa thì QĐA càng nhỏ.

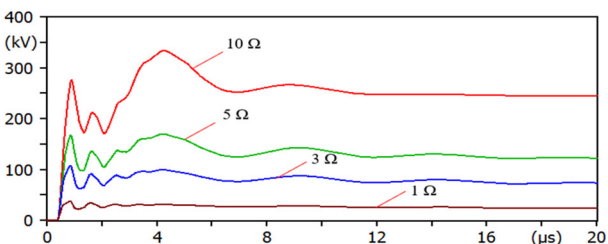
Hình 10 biểu thị QĐA phía hạ áp của các máy biến áp khi sét đánh vào cánh của tua bin gió 1, nhận thấy rằng sóng QĐA phía hạ áp của T<sub>1</sub> có trị số rất lớn gấp 15 mức điện áp xung (BIL) của thiết bị phía hạ áp 0,69kV nếu không có biện pháp sẽ gây hư hỏng cho các thiết bị phía hạ áp.



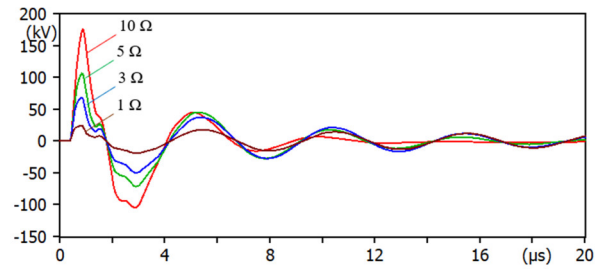
Hình 10. Điện áp phía hạ áp các tuabin gió khi sét đánh vào cánh tua bin 1 với dòng sét 31kA (1/70μs)

**5.3. Ảnh hưởng của điện trở tiếp địa**

Mô phỏng khi sét đánh đỉnh cột với dòng điện sét 31kA (1/70μs) khi điện trở tiếp địa tuabin gió lần lượt là 1, 3, 5, 10Ω, kết quả mô phỏng sóng QĐA trên tiếp địa và trên phía hạ áp của tuabin gió 1 được thể hiện trên hình 11. Kết quả cho thấy việc giảm trị số R<sub>td</sub> xuống càng làm giảm mức QĐA trên tiếp địa và trên phía hạ áp, mức giảm QĐA tuyến tính với mức giảm trị số R<sub>td</sub>.



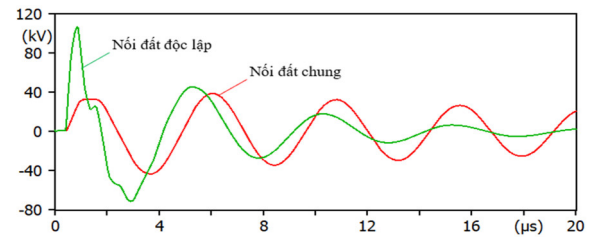
a)



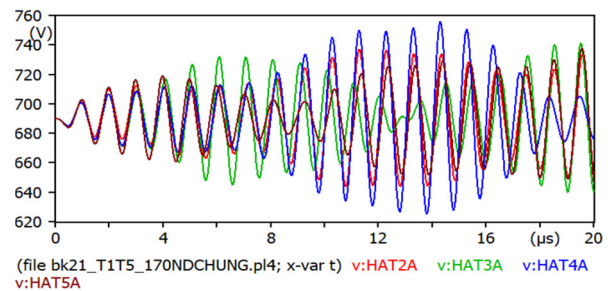
b)

Hình 11. Điện áp phía trên tiếp địa và phía hạ áp của tua bin bị sét đánh theo trị số điện trở tiếp địa khác nhau

**5.4. Ảnh hưởng của cấu hình nối đất**



Hình 12. Sóng QĐA phía hạ áp của T<sub>1</sub> theo hình thức nối đất độc lập và hình thức nối đất chung



Hình 13. Sóng QĐA phía hạ áp các T<sub>1</sub> đến T<sub>5</sub> theo hình thức nối đất chung

Trường hợp này xét sự ảnh hưởng của hình thức nối đất độc lập và hình thức nối đất chung của các tuabin gió đến QĐA lan truyền trong trang trại điện gió, so sánh QĐA sét lan truyền trong trang trại điện gió trong trường hợp sử dụng hình thức nối đất độc lập và hình thức nối đất chung với giả thiết: dạng sóng 31kA (1/70μs), hệ thống nối đất riêng của mỗi tuabin gió có trị số điện trở 5Ω, các tuabin gió kề nhau trong một hàng lần lượt được liên kết với nhau qua các điện cực chôn nằm ngang (dài 300m) tạo thành một hệ thống nối đất chung trong toàn trang trại điện gió. Điện cực ngang bằng thép phủ lớp kẽm bên ngoài, đường kính 22mm, chôn ở độ sâu 0,8m trong vùng đất có điện trở suất 600Ωm. Điện cực ngang nối hai tuabin gió kề nhau dài 300m chia thành 30 đoạn, mỗi đoạn 10m và thay thế bằng mô hình mạch tương đương như trong [4]. Kết quả mô phỏng so sánh dạng sóng QĐA xuất hiện phía hạ áp các T1 đến T5 trong trang trại điện gió theo hai hình thức nối đất (độc lập và nối đất chung) được trình bày trên hình 12. Kết quả mô phỏng cho thấy, hệ thống nối đất có ảnh hưởng rất lớn đến QĐA lan truyền trong trang trại điện gió. Khi sử dụng hệ thống nối đất chung, biên độ QĐA sét lan truyền trong lưới điện giảm đáng kể. Đối với tua bin

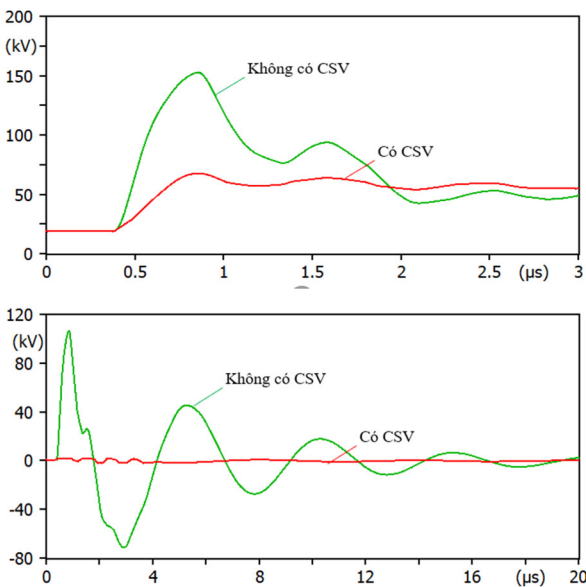


bị sét đánh mà sử dụng hình thức nối đất chung thì biên độ QĐA tại tua bin này giảm khoảng trên 3 lần so với trường hợp sử dụng hình thức nối đất độc lập. Ở các tuabin gió lân cận thì nối đất chung không làm giảm đáng kể trị số QĐA lan truyền ở phía hạ áp (hình 13).

**5.5. Ứng dụng lắp CSV**

Lắp CSV có tác dụng giảm trị số QĐA được sử dụng nhiều trong lưới điện. Trong bài báo này sẽ mô phỏng trường hợp sét đánh vào tuabin gió 1, phía cao áp và hạ áp các tuabin gió được lắp đặt CSV có đặc tính như trên hình 5. Mô phỏng khi sét đánh đỉnh cột với dòng điện sét 31kA (1/70μs) khi điện trở tiếp địa là 10Ω.

Trong mô phỏng này sẽ so sánh và đánh giá mức QĐA sét cảm ứng của tuabin gió theo trường hợp lắp đặt và không lắp đặt CSV tại hai đầu đường cáp điện phía cao áp và phía hạ áp của các tuabin gió. Giả thiết, sét đánh vào cánh tua bin 1 với dòng sét 31kA (1/70μs), điện trở nối đất cột trụ có trị số 5Ω. Kết quả mô phỏng so sánh dạng sóng QĐA phía cao áp và phía hạ áp của tuabin gió bị sét đánh được thể hiện trên hình 14. Các kết quả mô phỏng cho thấy, rõ ràng khi lắp đặt CSV, QĐA sét cảm ứng được suy giảm rất đáng kể. Mức suy giảm QĐA tại phía cao áp khi lắp đặt so với không lắp đặt CSV giảm 3 lần, phía hạ áp giảm tới và 56 lần.

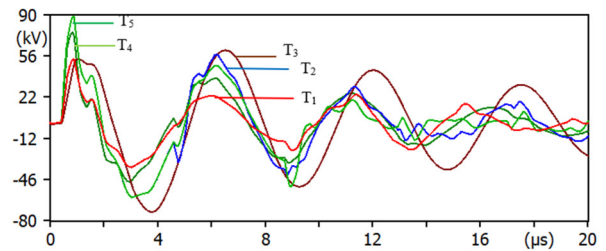


Hình 14. So sánh sóng QĐA a) phía cao áp và b) phía hạ áp của tua bin bị sét đánh khi không có và khi có CSV

**5.6. Ảnh hưởng của vị trí sét đánh các tua bin khác nhau trong trang trại điện gió**

Trong quá trình vận hành, sét có thể đánh bất kỳ tuabin gió nào đó trong trang trại điện gió. Trong bài báo này sẽ xem xét dạng sóng QĐA bên hạ áp của các tua bin gió theo vị trí sét đánh các tua bin gió khác nhau trong trang trại điện gió, từ tua bin gió ở gần lưới điện (T<sub>5</sub>) đến tua bin gió ở xa nhất (T<sub>1</sub>). Mô phỏng được thực hiện với giả thiết: dòng điện sét 31kA (1/50μs), hình thức nối đất độc lập tại mỗi tua bin gió là 5Ω. Khi sét đánh lần lượt vào T<sub>1</sub> đến T<sub>5</sub>, kết

quả cho dạng sóng QĐA phía hạ áp của các tua bin gió này được so sánh lần lượt trên hình 15. Các kết quả này cho thấy ảnh hưởng của sự phản xạ của dòng điện sét từ các tuabin gió liên kế đóng một vai trò quan trọng trong việc giảm QĐA phía hạ áp của tuabin gió bị sét đánh. Đặc tính QĐA có thể các tua bin gần lưới hệ thống nhất (T<sub>5</sub> và T<sub>4</sub>) có biên độ QĐA lớn gần gấp 2 lần nhóm các tua bin gió ở xa lưới hệ thống hơn (T<sub>3</sub>, T<sub>2</sub> và T<sub>1</sub>). Điều này là do các sự phản xạ từ lưới và các tuabin gió thứ 3,2,1 đến muộn hơn so với các tuabin gió T<sub>5</sub> và T<sub>4</sub>. Có thể nhìn thấy, các tua bin gió ở xa lưới hệ thống hơn là các T<sub>3</sub>, T<sub>2</sub> và T<sub>1</sub>) có mức QĐA thấp hơn so với các tua bin gió T<sub>5</sub>, T<sub>4</sub> với cùng một trị số điện trở nối đất và dạng xung dòng điện sét.



Hình 15. Sóng QĐA phía hạ áp T<sub>1</sub> đến T<sub>5</sub> khi sét đánh vào các tua bin gió này

**6. KẾT LUẬN**

Bài báo đã sử dụng chương trình mô phỏng quá độ điện từ EMT/ATP để mô phỏng cho hiện tượng sét đánh vào tua bin trong trang trại điện gió. Kết quả mô phỏng cho thấy:

Dòng điện sét có tham số thời gian đầu sóng càng nhỏ sẽ gây QĐA lên các tua bin có trị số càng lớn và càng nguy hiểm cho thiết bị, do đó mỗi tuabin gió phải được trang bị bộ đo ghi lại giá trị các tham số của dòng điện sét để có biện pháp bảo vệ hợp lý.

Quy chuẩn về trị số điện trở nối đất của tua bin gió hiện nay đang sử dụng như đối với các đường dây truyền tải cao thế, giá trị điện trở một chiều càng có trị số nhỏ thì càng giảm được mức QĐA chi tua bin gió bị sét đánh và các tuabin gió bên cạnh. Nếu điều kiện kinh tế cho phép thì các tuabin gió nên được nối đất chung, tuy nhiên phải kết hợp các biện pháp để tránh ảnh hưởng của sự lan truyền sóng QĐA trong trang trại điện gió. Tuy nhiên, hiện nay vẫn sử dụng giá trị điện trở một chiều, nên cần tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng đến sự phụ thuộc của các thành phần điện trở suất, hằng số điện môi của đất vào tần số để có đánh giá đáp ứng quá độ của hệ thống nối đất một cách chính xác hơn.

Mặc dù giá thành của CSV là cao, nhưng việc lắp đặt CSV cả phía cao áp và hạ áp của tất cả các tua bin gió là giải pháp cần thiết giảm được mức QĐA tốt nhất.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1]. Ministry of Industry and Trade, 2016. *Revisions to the national power development plan from 2011 to 2020 with visions extended to 2030*. Vietnam

- [2]. Rachidi F., 2008. *A Review of Current Issues in Lightning Protection of New-Generation Wind-Turbine Blades*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55(6): p. 2489-2496.
- [3]. Ministry of Construction, 2009. QCXDVN 02: 2009/BXD Vietnam Building Code - Natural Physical & Climatic Data for Construction. Vietnam.
- [4]. Nguyen Quang Thuan, 2016. *Nghien cuu qua dien ap set va bao ve chong set cho tua bin gio co ket noi luoi dien*. PhD Thesis, Hanoi University of Science and Technology.
- [5]. Yasuda Y., et al., 2008. *Surge Analysis on Wind Farm When Winter Lightning Strikes*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 23(1): p. 257-262.
- [6]. Abd Elhady A.M., N.A. Sabiha, M.A. Izzularab, 2011. *Overvoltage investigation of wind farm under lightning strokes*. in IET Conference on Renewable Power Generation.
- [7]. Sarajcev P., R. Goic, 2010. *An EMTP Model for Lightning Surge Analysis of Wind Farms*. Int. Rev. Model. Simul. (IREMOS), 3 (1): p. 70-81.
- [8]. IEC/TR61400-24, 2002. *Wind turbine generator systems - Part 24: Lightning protection*.
- [9]. National Renewable Energy Laboratory (NREL), US, 2002. *Wind Turbine Lightning Protection Project (1999-2001)*. Reported 2002.
- [10]. Rakov V.A., M.A. Uman, 2003. *Lightning Physics and Effects*. New York: Cambridge University Press.
- [11]. Juan A. Martinez, 2005. *Lightning Performance Analysis of Overhead Transmission Lines Using the EMTP*. IEEE Transactions on power delivery, Vol. 20, No. 3.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Hoang Tien Thanh, Duong Duy Tien, Dong Quoc Tu, Ninh Van Nam**

Hanoi University of Industry