

# TÁC ĐỘNG KHI VẬN HÀNH NHÀ MÁY ĐIỆN GIÓ ĐẾN ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP CỦA LƯỚI ĐIỆN 110kV QUẢNG TRỊ

## IMPACT OF WIND POWER PLANT OPERATION ON VOLTAGE STABILITY OF 110kV QUANGTRI POWER NETWORK

Trương Thị Thu Uyên<sup>1</sup>, Lê Văn Phi<sup>1</sup>, Mai Quốc Toàn<sup>1</sup>, Phạm Văn Kiên<sup>1\*</sup>, Trần Quốc Tiến<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>2</sup>Công ty Điện lực Quảng Trị, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ / Corresponding author: pvkien@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 14/4/2023; Sửa bài / Revised: 27/7/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 01/8/2023)

**Tóm tắt** - Trong những năm gần đây, mức tăng trưởng phụ tải điện hàng năm ở Việt Nam dao động trong khoảng từ 8% đến 12%. Để đáp ứng nhu cầu tiêu thụ điện, ngành điện đã và đang xây dựng các nhà máy năng lượng tái tạo, trong đó rất nhiều nhà máy điện gió, mặt trời được đầu tư vào hệ thống điện (HTĐ) và Quảng Trị là khu vực được dự báo là trung tâm năng lượng của đất nước trong thời gian đến. Với đặc thù là nguồn điện có tính bất định cao nên điện gió và mặt trời thường gây ra nhiều bất lợi về mặt vận hành ổn định HTĐ, do vậy bài báo này nghiên cứu về ổn định điện áp của lưới điện 110 kV tại khu vực Quảng Trị thông qua việc phân tích các đường đặc tuyến PV (Power-Voltage) và QV (Reactive Power-Voltage) dùng phần mềm DigSilent. Điều này giúp xác định các vị trí nút yếu về ổn định điện áp tại các nút trong hệ thống và đề xuất các giải pháp phù hợp nhằm cải thiện mức dự trữ về ổn định điện áp tại những nút này.

**Từ khóa** - Ổn định điện áp; đường đặc tuyến PV; đường đặc tuyến QV; Điện gió; đồ thị phụ tải

### 1. Đặt vấn đề

Cùng với sự phát triển của nền kinh tế toàn cầu, nhu cầu tiêu thụ điện năng ngày càng tăng. Theo dự báo từ Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN) cho thấy, với tốc độ tăng trưởng GDP hàng năm ở mức 7% thì dự kiến vào năm 2030 Việt Nam sẽ cần khoảng 327.000 GWh điện [1]. Trong khi đó, việc phát triển các nguồn điện truyền thống ở nước ta chỉ đủ để cung cấp khoảng 208.000 GWh điện vào cùng thời điểm. Điều này dẫn đến tình trạng thiếu hụt ước tính khoảng 20% - 30% lượng điện năng hàng năm, có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến bài toán an ninh năng lượng để đáp ứng tốc độ phát triển kinh tế, xã hội và an ninh của nước ta [2].

Cùng chung bối cảnh đó, nhiều quốc gia đang đối mặt với những thách thức về đảm bảo cung cấp năng lượng điện an toàn và đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế. Để giải quyết vấn đề này, nhiều nước đã tập trung vào phát triển các nguồn năng lượng tái tạo, nhằm giảm thiểu sự phụ thuộc vào các nguồn phát điện truyền thống như điện khí, nhiệt điện, thủy điện, đồng thời đây được coi là giải pháp hữu ích để giảm thiểu tác động tiêu cực lên môi trường và ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Trong đó, năng lượng gió là nguồn năng lượng tái tạo có ảnh hưởng thấp đến môi trường, có sẵn trong tự nhiên, vô hạn. Vì vậy, việc tận dụng nguồn năng lượng này trong tự nhiên được các quốc gia

**Abstract** - In recent years, Vietnam has experienced an annual electricity demand growth rate ranging from 8% to 12%. To meet this increasing demand for electricity consumption, the electrical sector has been constructing various renewable energy power plants, including a significant number of wind and solar power plants, which are being connected to the national grid. Quang Tri is predicted to become the country's energy hub in the near future. However, due to the highly intermittent nature of wind and solar power as energy sources, they often pose challenges in terms of stable operation of the power system. Therefore, this article focuses on researching voltage stability in the 110 kV power system in the Quangtri area through the analysis of PV and QV curves using DigSilent software. This helps identify voltage stability weaknesses at various nodes in the system and proposes appropriate solutions to enhance voltage stability reserves at these nodes.

**Key words** - Voltage stability; Power-Voltage (PV) curve; Reactive Power-Voltage (QV) curve; Wind Power; Load profile

trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng quan tâm trong những năm trở lại đây [3]. Với tốc độ gió trung bình đạt từ (6÷7) m/s, miền Tây Quảng Trị được đánh giá là vùng rất có tiềm năng phát triển nguồn năng lượng điện gió và có thể trở thành trung tâm năng lượng điện gió của Việt Nam trong tương lai.

Do tính đặc thù của năng lượng gió là phân tán, có tính bất định cao phụ thuộc mùa vụ, thời tiết nên công suất điện đầu ra của các tua bin gió không ổn định. Điều này sẽ ảnh hưởng rất lớn đến các chỉ tiêu về ổn định điện áp và tần số trong hệ thống điện (HTĐ). Trong khi ổn định điện áp là yếu tố quan trọng trong vận hành HTĐ, đảm bảo cung cấp điện đầy đủ và liên tục cho người dân và các hoạt động sản xuất kinh doanh. Tuy nhiên, mất ổn định điện áp có thể xảy ra trong trường hợp hệ thống không đáp ứng được nhu cầu công suất phản kháng, dẫn đến dao động và sụp đổ điện áp, gây thiệt hại lớn về kinh tế, ảnh hưởng đến an ninh - xã hội. Vì vậy, việc phân tích, đánh giá về ổn định điện áp trong lưới điện là rất quan trọng và cần thiết.

### 2. Cơ sở lý thuyết

#### 2.1. Phương pháp Newton Raphson

Hiện nay, có rất nhiều phần mềm thương mại tính toán tra cứu công suất cho HTĐ bằng nhiều phương pháp, nhưng thông dụng nhất là phương pháp Newton Raphson.

<sup>1</sup> The University of Danang – University of Science and Technology (Trương Thị Thu Uyên, Lê Văn Phi<sup>1</sup>, Mai Quốc Toàn, Phạm Văn Kiên)

<sup>2</sup> Faculty of Electrical Engineering (Trần Quốc Tiến)

Khi tính toán trào lưu công suất, kết quả cho chúng ta các thông số như điện áp tại các nút, dòng điện, góc pha, công suất, tổn thất điện năng trên các nhánh,... các thông số vận hành này là tiền đề cho các bài toán tính toán, phân tích đánh giá được các chỉ tiêu chất lượng điện năng, độ tin cậy, thị trường điện, xây dựng các chỉ tiêu nhằm đánh giá khả năng ổn định trong HTĐ tương ứng với các chế độ làm việc, các kịch bản vận hành trong lưới điện nghiên cứu.

Để phân tích, đánh giá khả năng ổn định điện áp cũng như tần số của HTĐ khi có nguồn điện gió, mặt trời kết nối vào thì phải xét quá trình thay đổi các thông số vận hành của nguồn, tải và cấu trúc lưới điện theo thời gian 8760 giờ hoặc tối thiểu là 24 giờ cho một ngày điển hình trong năm. Do vậy, các số liệu tính toán mô phỏng đồ thị phụ tải và đồ thị công suất phát của các nguồn điện, đặc biệt là nguồn điện gió và mặt trời có tính ngẫu nhiên là rất quan trọng.

Đồ thị phụ tải là một biểu đồ thể hiện mức độ tiêu thụ công suất P, Q trong một khoảng thời gian nhất định, thông thường là trong vòng 24 giờ. Việc xây dựng đồ thị phụ tải là rất quan trọng để đánh giá khả năng cung cấp điện của hệ thống, từ đó có thể đưa ra các giải pháp cải thiện năng lực cung cấp điện của HTĐ. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sử dụng công cụ Quasi-Dynamic của phần mềm Power Factory hãng DIGSILENT là một công cụ mô phỏng tính toán trào lưu công suất thay đổi theo thời gian, để mô phỏng trào lưu công suất trong HTĐ. Công cụ này cho phép linh hoạt trong việc chọn khoảng thời gian mô phỏng và kích thước bước mô phỏng. Các đặc điểm tham số biến đổi theo thời gian, các biến và giai đoạn mở rộng, sự cố ngừng hoạt động theo kế hoạch, các sự kiện mô phỏng và các mô hình phụ thuộc vào thời gian do người dùng xác định [4]. Công cụ Quasi-Dynamic sẽ tính toán bài toán trào lưu công suất theo công suất phụ tải (Load profile) của các phụ tải cũng như thông số về tốc độ gió theo vị trí địa lý của các tua bin gió để mô phỏng và đánh giá bài toán trào lưu công suất cho ngày điển hình, từ đó làm cơ sở để xuất phương pháp đánh giá và các giải pháp để cải thiện khả năng ổn định của lưới điện.

## 2.2. Phân tích ổn định điện áp theo đường đặc tuyến PV, QV

Theo [5], [6] có thể sử dụng phương pháp đường đặc tuyến PV, QV để tiến hành tìm các nút liên quan đến ổn định điện áp và xác định các sự cố có tác động lớn tới sự ổn định điện áp. Dựa trên những thông tin này, có thể đề xuất các biện pháp tăng mức dự trữ ổn định điện áp tại những nút này.

### 2.2.1. Đường đặc tuyến PV

Xét sơ đồ mô phỏng HTĐ như Hình 1a. Giả thiết rằng điện thế ở nút k nút và nút m như (1):

$$V_k = V_k \angle 0; V_m = V_m \angle \theta_m \text{ [pu]} \quad (1)$$

Phương trình (2) thể hiện mối ràng buộc ở nút phụ tải m như sau [7], [8].

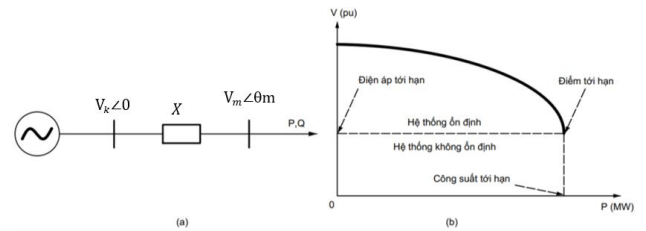
$$V_m^4 + (2Q_m X - 1)V_m^2 + [(P_m X)^2 + (Q_m X)^2] = 0 \quad (2)$$

Tại một điểm hệ thống vận hành xác lập, công suất phụ tải ở nút m đã cho, giải phương trình (2) và thay  $Q_m = P_m \tan \varphi_m$  sẽ tính được điện thế nút phụ tải  $V_m$ :

$$V_{mgh} = \sqrt{\frac{1 - \sin \varphi_m}{2 \cos^2 \varphi_m}} \quad (3)$$

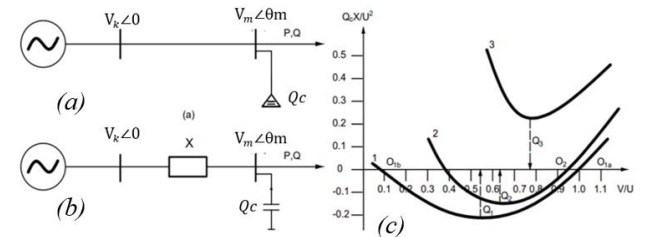
$$\text{và } V_{mgh} = \sqrt{\frac{P_{mgh} X}{\cos \varphi_m}} \quad (4)$$

Như vậy, từ (3) và (4) có thể vẽ được các đường đặc tuyến PV và QV ứng với  $\cos \varphi_m$  không đổi như Hình 1b. Đường đặc tuyến PV thể hiện về sự thay đổi của điện thế V tại một nút tải theo sự thay đổi của công suất tác dụng cấp từ nguồn cho phụ tải  $P_m$ . Dựa vào các quan sát về quan hệ giữa công suất tác dụng  $P_m$  và điện thế nút tải  $V_m$ , ta nhận thấy, đường đặc tuyến PV có một điểm đặc biệt gọi là "mũi" ( $P_{mgh}$ ,  $V_{mgh}$ ). Đây là điểm giới hạn ổn định của điện áp nút tải, còn được gọi là điểm sụp đổ điện áp. Khi đạt giá trị cực đại, điểm này tương ứng với công suất tác dụng cung cấp cho phụ tải [9], [10]. Giữ nguyên hệ số  $\cos \varphi_m$  không đổi, nếu tăng công suất phụ tải  $P_m$  sẽ làm cho điện thế nút phụ tải giảm xuống, khi  $P_m$  lớn hơn  $P_{mgh}$  từ Hình 1b cho thấy, lúc đó hệ thống mất ổn định. Do vậy từ việc xây dựng và phân tích đường đặc tuyến PV có thể đánh giá khả năng ổn định của HTĐ.



Hình 1. Sơ đồ tính toán (a) và đường cong PV (b)

### 2.2.2. Đường đặc tuyến QV



Hình 2. Sơ đồ tính toán (a, b), và đường đặc tuyến QV (c) [11]

Theo như sơ đồ HTĐ Hình 2, ứng với nguồn HTĐ có công suất vô cùng lớn, P và Q ở nút phụ tải m cần xét có thể xác định như sau [7], [8]:

$$P_m = -\frac{V_k V_m}{X} \sin \theta_m \quad (5)$$

$$Q_m - Q_c = -\frac{V_m^2}{X} + \frac{V_k V_m}{X} \cos \theta_m \quad (6)$$

$$\Rightarrow \frac{Q_c X}{V_m^2} = \frac{V_m^2}{V_k^2} - \frac{U_m}{U_k} \cos \theta_m + \frac{Q_m X}{V_m^2}$$

Mỗi giá trị điện thế ở nút phụ tải  $V_m$  và  $\theta_m$  được xác định từ phương trình (5). Sau đó, thay giá trị  $\theta_m$  vào phương trình (6), sẽ xây dựng được các đường đặc tuyến QV ở Hình 2c. Trong chế độ vận hành bình thường, lượng công suất phản kháng Q truyền tới nút m sẽ làm cho điện thế nút tải  $V_m$  tăng lên. Tuy nhiên, nếu truyền thêm một lượng công

suất phản kháng Q vào một nút trong hệ thống mà điện áp  $V_m$  của nút đó giảm, hệ thống sẽ mất ổn định về điện áp. Đường đặc tuyến 1 trên Hình 2c biểu diễn chế độ vận hành bình thường của HTĐ. Điểm  $O_{1a}$  và  $O_{1b}$  là hai điểm giao nhau của đường đặc tuyến 1 với trục điện thế V khi không có bù ( $Q_C=0$ ). Trong đó, điểm  $O_{1a}$  đại diện cho trạng thái làm việc ổn định. Đường đặc tuyến 2 trên Hình 2c tương ứng với chế độ khi tải trong hệ thống tăng lên hoặc sự cố ngẫu nhiên N-1 trong HTĐ.  $O_2$  là điểm làm việc ổn định của đường đặc tuyến 2. Khi đó các giá trị của Q1 và Q2 trên Hình 2c là dự trữ công suất phản kháng. Như vậy, từ các số liệu phân tích được thể hiện trên đường đặc tuyến QV, có thể xác định được dự trữ công suất phản kháng và điểm cực tiểu của đường đặc tuyến QV ( $Q_{dt}, V_{gh}$ ) được xem là điểm giới hạn ổn định điện áp của nút phụ tải ở chế độ vận hành đang xét [5], [9], [10].

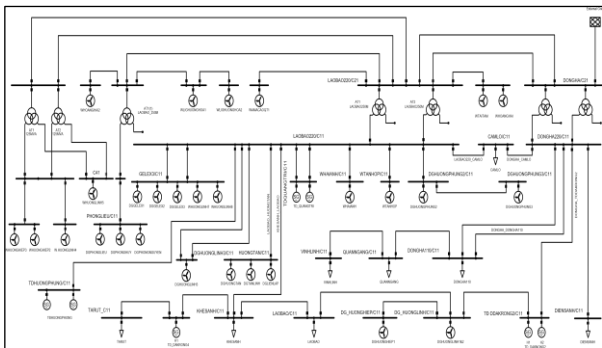
Đường đặc tuyến PV và QV trong phần mềm DIGSILENT được xây dựng bằng công cụ Transmission Network Tools, công cụ này dùng để phân tích độ ổn định điện áp và khả năng truyền tải điện năng của lưới nhằm đánh giá ổn định điện áp thông qua việc xác định điểm tới hạn mất ổn định điện áp.

**3. Mô phỏng, tính toán ổn định điện áp trong lưới 110 kV Quảng Trị**

**3.1. Xây dựng lưới điện 110 kV Quảng Trị dùng DIGSILENT**

Hiện nay, lưới điện 110 kV Quảng Trị đang nhận điện từ HTĐ chung và từ các nguồn điện địa phương, bao gồm các nhà máy thủy điện và 19 nhà máy điện gió, tổng công suất đặt là 671,1 MW. Để nghiên cứu và đánh giá ổn định của lưới điện 110 kV Quảng Trị, bài báo đã xây dựng mô hình của lưới trên phần mềm DIGSILENT, cụ thể như Hình 3.

Từ dữ liệu thực tế cho thấy, lưới điện 110kV Quảng Trị được cấp nguồn từ nhiều nhà máy điện năng lượng tái tạo khác nhau, vì vậy sẽ ảnh hưởng không nhỏ đến sự thay đổi luồng trào lưu công suất phân bố, ảnh hưởng đến tính ổn định trong quá trình vận hành. Vậy nên, việc đánh giá, phân tích ổn định cho lưới điện 110 kV Quảng Trị khi có nguồn năng lượng điện gió xâm nhập là rất cần thiết.

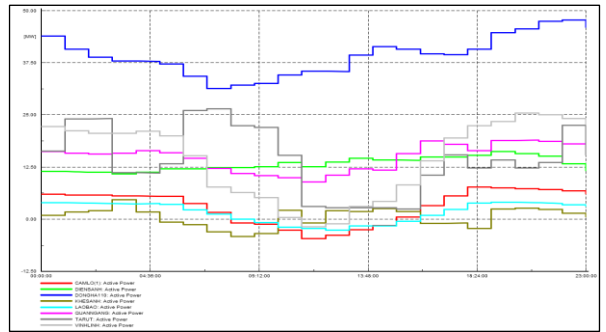


Hình 3. Lưới điện 110 kV tỉnh Quảng Trị được mô phỏng trên DIGSILENT

**3.2. Xây dựng đồ thị phụ tải tại các trạm 110 kV**

Dữ liệu công suất tác dụng P, công suất phản kháng Q được lấy từ hệ thống His Server (Historian Information System – là một trong những module hệ thống SCADA/DMS được xây dựng theo cấu trúc Client – Server có nhiệm vụ chính là thu thập, xử lý, lưu trữ, quản lý và

truy xuất dữ liệu đưa ra từ hệ thống Real Time đúng với độ phân giải và định dạng ban đầu trong thời gian dài) tại Trung tâm điều khiển tỉnh Quảng Trị vào ngày 12/06/2022. Từ đó xây dựng đồ thị phụ tải (Load profile) tại các trạm biến áp (TBA) 110 kV trên địa bàn như Hình 4.



Hình 4. Đồ thị phụ tải tại các trạm 110 kV tỉnh Quảng Trị

Từ đồ thị các phụ tải tại các TBA 110 kV ở trên cho thấy:

- Đường đặc tuyến phụ tải tại các TBA 110 kV đặc trưng cho từng loại phụ tải được cấp điện: Nông nghiệp, lâm nghiệp, đô thị,...

- Đồ thị phụ tải tại các TBA 110 kV Cam Lộ, Vĩnh Linh, Khe Sanh có đường đặc tuyến thấp vào khoảng từ 9h đến 16h. Từ 0h đến 5h và từ 21g đến 23h phụ tải có đường đặc tuyến cao hơn. Nguyên nhân là do các xuất tuyến trung áp thuộc các TBA 110 kV Cam Lộ, Vĩnh Linh, Khe Sanh lắp hệ thống điện mặt trời mái nhà (ĐMTMN) với công suất lớn. Cụ thể, công suất đặt ĐMTMN tại Cam Lộ 8,75 MWp; Vĩnh Linh 33,5 MWp; Khe Sanh 6 MWp. Vào các khoảng thời gian từ 9h đến 15h là thời điểm chỉ số bức xạ mặt trời cao nên các hệ thống ĐMTMN trung áp sẽ phát công suất với hiệu suất cao, các phụ tải sẽ tiêu thụ công suất phát ra từ ĐMTMN. Ngoài ra luồng công suất dư sẽ đẩy ngược về các TBA 110 kV vì vậy lúc này đường đặc tuyến phụ tải quy đổi về thanh cái 22kV tại các TBA 110 kV sẽ thấp. Ngược lại, các thời điểm tối và sáng sớm, do ĐMTMN không phát công suất nên các phụ tải sẽ điện từ lưới điện Quốc gia nên đường đặc tuyến sẽ cao.

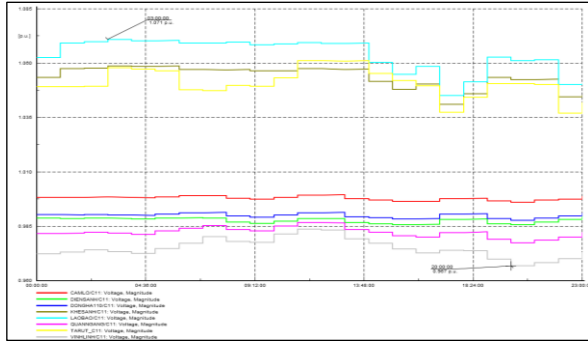
- Đồ thị TBA 110 kV Đông Hà có đường đặc tuyến thấp vào khoảng 6h đến 13h. Nguyên nhân là do lúc 6h đến 8h phụ tải thấp, từ 8h đến 13h phụ tải bắt đầu tăng nhưng do các xuất tuyến trung áp thuộc các TBA 110 kV Đông Hà lắp hệ thống ĐMTMN công suất lớn, cụ thể 15,56 MWp. Vào khoảng thời gian 0h đến 2h và 18h đến 23h đặc tuyến phụ tải cao hơn do ĐMTMN không phát công suất kèm với tại đây có KCN hoạt động vào ban đêm. Đối với các TBA 110 kV còn lại, thời điểm đồ thị phụ tải đạt cực đại nằm trong khoảng 12h và 19h – 21h.

**3.2.1. Điện áp tại các TBA 110 kV trong 24h ở điều kiện vận hành bình thường**

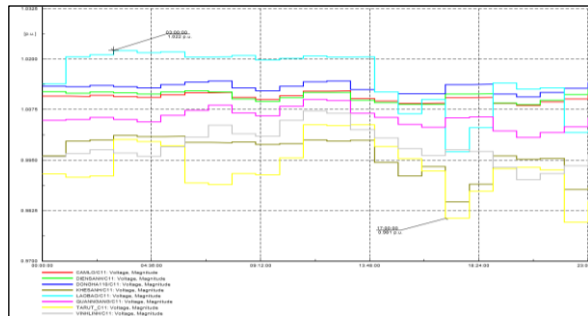
Khi xây dựng đồ thị phụ tải tại các TBA 110 kV trong vòng 24h, khi mô phỏng trong điều kiện vận hành bình thường ta thấy điện áp tại các thanh cái dao động như Hình 5.

Điện áp tại các TBA 110 kV trong vòng 24h ở điều kiện vận hành bình thường, có mức dao động từ 0,967 đến 1,071pu. Điện áp tại thanh cái VINHLINH/C11 là thấp nhất 0,967pu, ngược lại điện áp tại thanh cái

LAOBAO/C11 cao nhất trong ngày là 1,071 pu. Nhưng thường dễ giảm tổn thất trong quá trình vận hành, đảm bảo tính an toàn, ổn định trong lưới điện, người ta thường điều chỉnh để nâng điện áp lên (0,98÷1,02) pu với phương pháp điều chỉnh đầu phân áp của máy biến áp, cụ thể điều chỉnh đầu phân áp của MBA AT2(1), AT2(2), AT\_DH, AT\_DH(1). Sau khi điều chỉnh lại đầu phân áp của các máy biến áp trên, ta được điện áp như Hình 6.



**Hình 5.** Dao động điện áp các trạm 110 kV tỉnh Quảng Trị



**Hình 6.** Dao động điện áp tại các thanh cái 110 kV trong 24h khi thay đổi nấc phân áp MBA

Điện áp sau khi được điều chỉnh nằm trong khoảng từ 0,981-1,022 pu, nằm trong phạm vi vận hành cho phép theo quy định (0,95 – 1,1 pu).

**3.2.2. Dao động điện áp tại các trạm 110 kV khi phụ tải vận hành ở chế độ cực đại và ở chế độ cực tiểu**

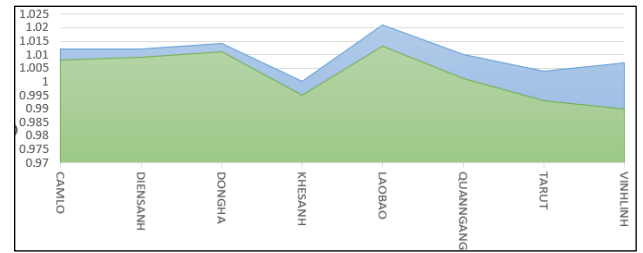
Khi công suất phụ tải đạt giá trị cực đại hoặc cực tiểu, HTĐ sẽ có xu hướng dao động về điện áp. Điều này có thể gây ra các vấn đề khác nhau trong hệ thống, bao gồm tăng khả năng xảy ra sự cố, tổn thất công suất, giảm tuổi thọ thiết bị, và ảnh hưởng đến chất lượng điện năng. Do đó, để đảm bảo hoạt động ổn định của HTĐ, cần phải xem xét dao động điện áp khi phụ tải đạt giá trị cực đại và cực tiểu để đánh giá khả năng ổn định của hệ thống và đưa ra các biện pháp điều chỉnh phù hợp.

**Nhận xét:**

- Điện áp tại các trạm 110 kV khi phụ tải ở chế độ cực đại bé hơn so với khi phụ tải ở chế độ cực tiểu.
- Điện áp tại các trạm 110 kV dao động nằm trong phạm vi cho phép 1-1,021 pu khi phụ tải min và (0,99÷1,013) pu khi phụ tải max.
- Độ lệch điện áp ở Vĩnh Linh cao nhất từ (0,99 ÷ 1,007) pu và Đông Hà có độ lệch điện áp thấp nhất từ (1,007 ÷ 1,013) pu so với các nút còn lại.

Từ các kết quả trên, có thể thấy rằng lưới điện 110 kV Quảng Trị vận hành ổn định ở điều kiện làm việc bình

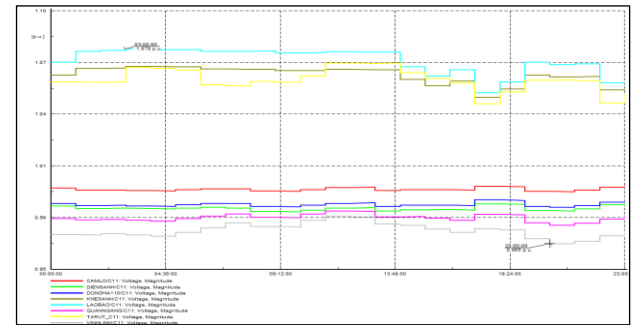
thường khi chưa có sự kết nối của các nhà máy điện gió vào lưới.



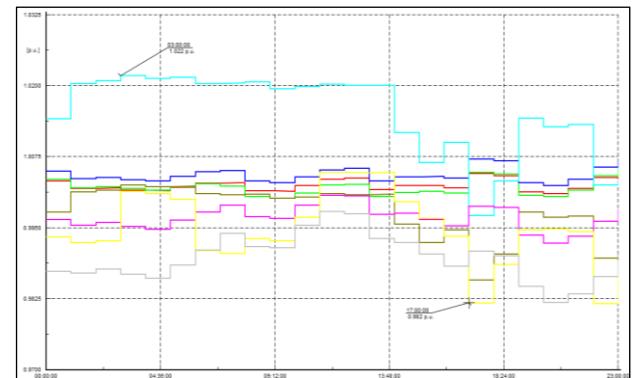
**Hình 7.** Mức chênh lệch điện áp khi phụ tải vận hành ở chế độ cực đại và cực tiểu

**3.2.3. Điện áp tại các TBA 110 kV trong 24h khi thêm các nhà máy điện gió quy hoạch vào**

Khi thêm các nhà máy điện gió quy hoạch đầu nối vào lưới 110 kV, điện áp tại các trạm dao động như Hình 8 trong 24h:



**Hình 8.** Dao động điện áp các trạm 110 kV khi có thêm các nhà máy điện gió quy hoạch



**Hình 9.** Dao động điện áp tại các thanh cái 110 kV trong 24h sau khi điều chỉnh đầu phân áp MBA khi thêm các nhà máy điện gió quy hoạch

Điện áp tại các trạm 110 kV khi có thêm các nhà máy điện gió quy hoạch có phạm vi dao động từ (0,965 ÷ 1,078) pu, tương tự như khi chưa có các nhà máy điện gió đưa vào quy hoạch, với điện áp LAOBAO/C11 cao nhất và VINHLINH/C11 thấp nhất. Tuy nhiên, để giảm tổn thất trong quá trình vận hành, người ta sẽ thường điều chỉnh điện áp lên trong khoảng 0,98-1,02 pu bằng cách điều chỉnh đầu phân áp của máy biến áp. Sau khi thực hiện điều chỉnh này trên các máy biến áp, chúng ta có thể đạt được điện áp như mong muốn như Hình 9.

Khi điều chỉnh đầu phân áp của MBA, điện áp tại các trạm dao động từ 0,982-1,022 pu, hệ thống vận hành ổn định trong điều kiện làm việc bình thường.

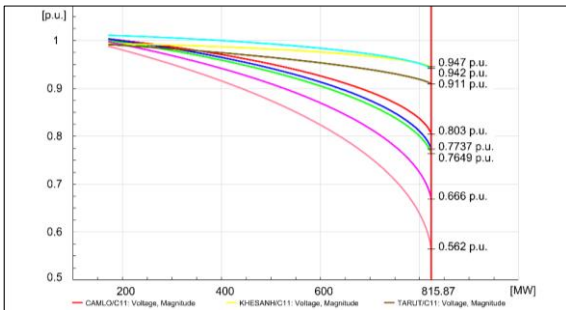
**3.3. Mô phỏng và đánh giá các kịch bản vận hành của lưới điện 110kV**

Để phân tích, đánh giá được mức dự trữ công suất tác dụng và phản kháng tại các nút 110 kV đến năm 2025 có xét đến sự xâm nhập các nhà máy điện gió theo quy hoạch, ta tiến hành xây dựng đường đặc tuyến PV, QV trên phần mềm DIGSILENT.

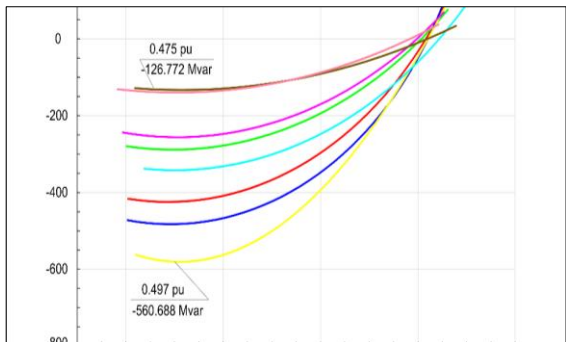
Đường đặc tuyến PV biểu thị sự biến thiên của điện áp (V) tại một nút cụ thể dựa vào tổng công suất tác dụng P được cung cấp cho phụ tải. Khi lượng công suất trong hệ thống đạt tới ngưỡng nhất định ứng với điện áp tại điểm đó cũng đạt tới ngưỡng giới hạn. Điểm này gọi là điểm “mũi”, nếu vượt quá điểm mũi này, hệ thống sẽ mất ổn định điện áp.

Đường đặc tuyến QV được xây dựng dựa trên đạo hàm  $dQ/dV$ , nếu đạo hàm này dương ( $dQ/dV > 0$ ) thì hệ thống mất ổn định. Nếu như mức dự trữ công suất phản kháng  $Q_{min}$  nút phụ tải đó càng cao thì nút đó có khả năng ổn định càng lớn.

❖ Khi phụ tải max

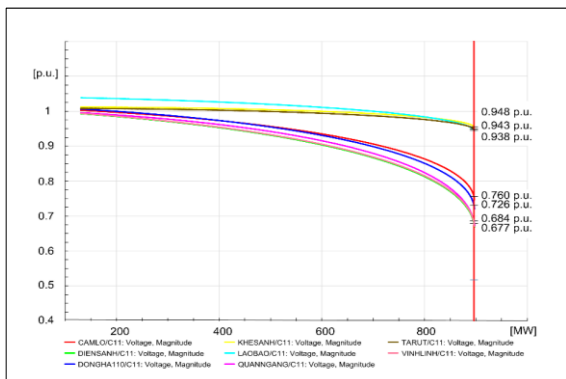


Hình 10. Đặc tuyến PV khi bình thường với phụ tải cực đại

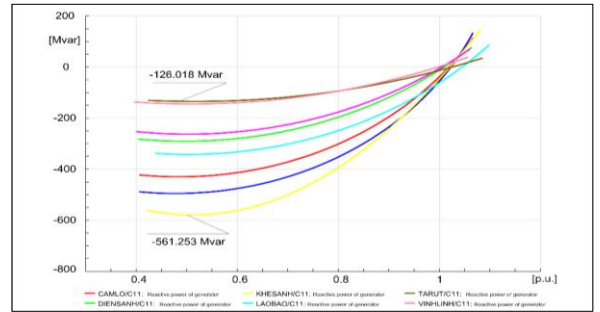


Hình 11. Đặc tuyến QV khi bình thường với phụ tải cực đại

❖ Khi phụ tải cực tiểu



Hình 12. Đặc tuyến PV khi bình thường với phụ tải cực tiểu



Hình 13. Đặc tuyến QV khi bình thường với phụ tải cực tiểu

**Nhận xét:**

Ứng với điều kiện vận hành bình thường, lượng công suất truyền tải của hệ thống tăng lên 815,87 MW (phụ tải max) (Hình 10) và 898,01 MW khi phụ tải min (Hình 12) thì điểm vận hành nằm ở biên giới ổn định.

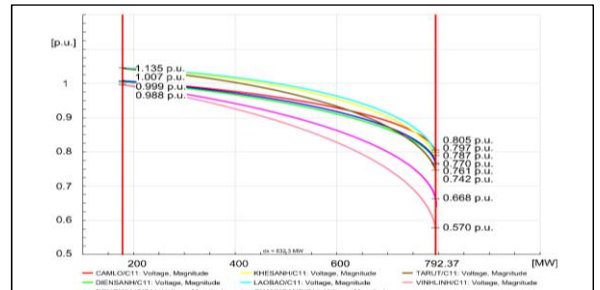
Nút có mức dự trữ công suất phản kháng nhỏ nhất là thanh cái C11 của trạm biến áp TARUT/C11 126,77 MVAR (phụ tải max) và 126,018 (phụ tải min), nút có mức dự trữ công suất phản kháng lớn nhất là KHESANH/C11 560,69 MVAR (phụ tải max) và 561,253 MVAR (phụ tải min).

**3.3.1. Phân tích đường đặc tuyến PV ở điều kiện sự cố**

Xét các kịch bản sự cố các phần tử trong lưới điện 110 kV Quảng Trị (sự cố đơn, sự cố xếp chồng,...) ta được kết quả dựa theo phân tích đường đặc tuyến PV như dưới đây:

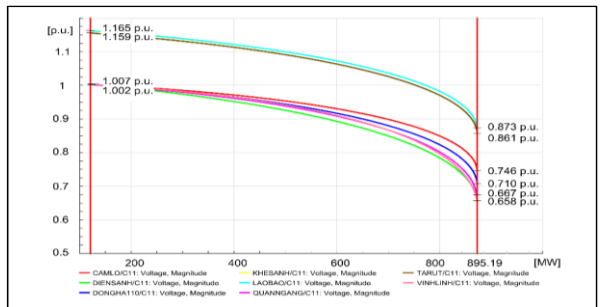
Kịch bản: Xem xét với trường hợp sự cố đường dây LAOBAO\_KHESANH mang tải cao

❖ Khi phụ tải max



Hình 14. Đặc tuyến PV khi sự cố với phụ tải cực đại

❖ Khi phụ tải min



Hình 15. Đặc tuyến PV khi sự cố với phụ tải cực tiểu

Tương tự, xét các sự cố còn lại như: Sự cố 1 đường dây, sự cố máy phát,... sẽ tính được mức dự trữ công suất tác dụng theo phụ tải max và phụ tải min như Bảng 1.

Khi xem xét sự cố đường dây LAOBAO\_KHESANH, giá trị công suất truyền tải của hệ thống tăng lên đến

lần lượt là 792,37 MW (Hình 14) khi phụ tải max và 895,191 MW (Hình 15) khi phụ tải min, lúc này đường đặc tuyến PV đạt đến điểm “mũi” nhưng vẫn nhỏ hơn giá trị công suất ở điều kiện làm việc bình thường là 815,87 MW (Hình 10) khi phụ tải max và 898,01 MW (Hình 12) khi phụ tải min. Sự cố đường dây LAOBAO\_KHESANH nghiêm trọng nhất bởi vì điện áp tại các nút 110 kV vượt khỏi phạm vi vận hành cho phép theo quy định.

**Bảng 1.** Mức dự trữ công suất tác dụng của hệ thống xét các kịch bản sự cố

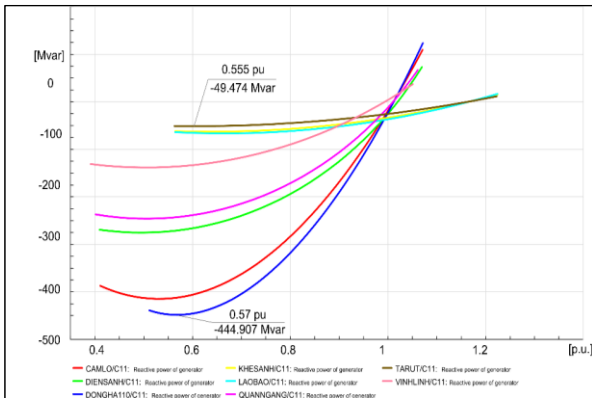
	Sự cố đường dây	P tăng lên tối đa (MW)	
		Min	Max
(N-1)	DONGHA_CAMLO	823,394	780,15
	DGLIENLAP	896,131	813,053
	LAOBAO220_CAMLO	825,274	760,408
	TDQuangTri	897,071	815,873
(N-2)	LAOBAO220_CAMLO & DONGHA_DONGHA110	802,712	726,564
	DONGHA_TDDKRONG & DONGHA_DONGHA110	842,196	751,007
	LAOBAO_HUONGTAN & DONGHA_TDDKRONG	871,339	788,611

**3.3.2. Phân tích đường đặc tuyến QV ở điều kiện sự cố**

Xét các kịch bản sự cố các phân tử trong lưới điện 110 kV Quảng Trị (sự cố đơn, sự cố xếp chồng,...) ta được kết quả dựa theo phân tích đường đặc tuyến QV như dưới đây:

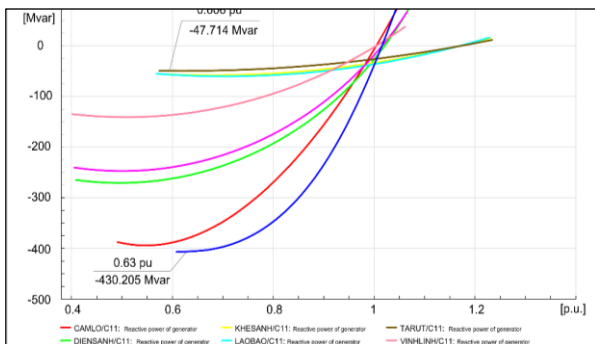
Kịch bản: Sự cố đường dây LAOBAO\_KHESANH

❖ Khi phụ tải max



**Hình 16.** Đặc tuyến QV khi sự cố với phụ tải cực đại

❖ Khi phụ tải min



**Hình 17.** Đặc tuyến QV khi sự cố với phụ tải cực tiểu

Tương tự, xét thêm các kịch bản sự cố ta được kết quả mức dự trữ công suất phản kháng như bảng dưới:

**Bảng 2.** Mức dự trữ công suất phản kháng của hệ thống khi xét đến các kịch bản sự cố

BUS	LAOBAO220_CAMLO & DONGHA_DONGHA110		DONGHA_TDDAKRONG & DONGHA_DONGHA110		LAOBAO220_DGHUONGTAN & DONGHA_TDDKRONG		DONGHA_CAMLO		DG LIENLAP		LAOBAO220_CAMLO	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
PHỤ TẢI /C11	-337,7	-331,2	-421,7	-415,1	-424,0	-417,3	-118,1	-116,4	-437,9	-432,4	-337,5	-331,8
DIENSANHC11	-273,8	-269,7	-284,0	-280,8	-285,5	-282,1	-273,9	-271,0	-293,8	-291,2	-273,8	-270,6
DONGHA110/C11	-404,0	-392,1	-432,7	-420,7	-481,4	-470,5	-444,3	-434,8	-508,9	-498,4	-443,6	-432,8
KHESANHC11	-527,8	-529,2	-503,7	-508,5	-500,2	-504,3	-526,8	-529,4	-560,2	-559,5	-527,7	-529,2
LAOBAO/C11	-326,6	-323,7	-279,1	-277,3	-276,4	-274,8	-326,2	-323,5	-335,1	-331,3	-326,7	-323,8
QUANGANG/C11	-263,1	-227,6	-242,5	-234,9	-258,9	-250,1	-249,6	-242,9	-265,8	-258,1	-249,6	-241,0
TARUTC11	-126,6	-123,5	-127,0	-124,0	-125,8	-123,3	-126,5	-121,5	-129,4	-126,4	-126,6	-124,0
VINHLINH/C11	-136,6	-130,2	-137,5	-131,8	-143,3	-137,5	-141,6	-136,4	-145,0	-139,2	-141,6	-136,0

**Nhận xét:**

- Hai vị trí có mức dự trữ công suất phản kháng cao nhất là DONGHA110/C11 và KHESANHC11, ngược lại thì 2 vị trí có độ dự trữ công suất phản kháng nhỏ nhất là VINHLINH/C11 và TARUTC11.

**4. Kết quả và giải pháp**

**4.1. Kết quả**

Kết quả phân tích ở trên cho thấy:

- Lưới điện Quảng Trị 110 kV khi đưa vào các nhà máy điện gió quy hoạch vận hành ổn định đến năm 2025.

- Sau khi tính toán, phân tích bài toán trào lưu công suất, dựa vào đường đặc tuyến PV, QV đã xác định được vị trí có mức dự trữ điện áp cao nhất là nút DONGHA110/C11 và nút có mức dự trữ điện áp thấp nhất là nút TARUTC11 ở trong 2 kịch bản làm việc bình thường và sự cố được đưa ra xét.

- Sự cố nghiêm trọng nhất là khi đường dây LAOBAO\_KHESANH mang tải cao, các giá trị về điện áp tại các nút đều dao động và nằm trong phạm vi cho phép với trường hợp sự cố này.

Vì vậy, việc nghiên cứu các biện pháp nâng cao ổn định trong lưới điện là rất cần thiết, đảm bảo các giá trị điện áp tại các nút dao động trong phạm vi vận hành cho phép khi có sự cố trong lưới điện.

**4.2. Giải pháp**

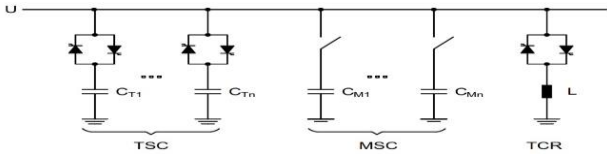
Theo đó, các cách điều chỉnh điện áp cho lưới điện 110kV Quảng Trị được đề xuất gồm thay đổi công suất phản kháng bằng cách sử dụng các thiết bị bù ngang, bù dọc, máy bù đồng bộ; điều chỉnh đầu phân áp của máy biến áp; huy động các nguồn điện công suất dự phòng; thay đổi phương án kết lưới để phân bố lại công suất; sa thải phụ tải.

Với các giải pháp được nêu trên, tác giả chọn phương án dùng SVC (Static Var Compensator) để nâng cao mức dự trữ tại các nút yếu trong hệ thống, nhằm đưa dao động điện áp này về trong phạm vi vận hành cho phép để đảm bảo khả năng ổn định, độ tin cậy và chất lượng trong vận hành lưới điện nghiên cứu.

4.2.1. Giới thiệu thiết bị bù SVC

❖ Cấu tạo của SVC

SVC (Static Var Compensator) là một thiết bị bù động, thường dùng để duy trì điện áp ổn định. SVC làm việc theo nguyên lý tự động điều chỉnh giá trị công suất phản kháng để cân bằng công suất phản kháng tiêu thụ và tạo ra sự bù trừ hiệu quả cho HTĐ. SVC được tổ hợp từ 2 thành phần cơ bản: Thành phần cảm kháng, dung kháng và thành phần điều khiển (Hình 18).



Hình 18. Sơ đồ nguyên lý của SVC

❖ Ưu điểm của SVC

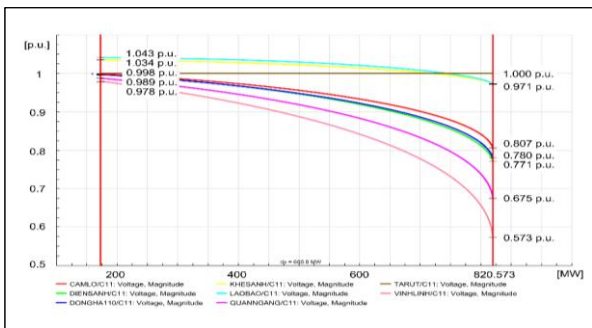
SVC có giá thành rẻ hơn so với các thiết bị điều khiển bù có cấp. Ngoài ra, SVC còn có ưu điểm là điều khiển nhanh, dung lượng lớn và có độ tin cậy cao.

4.2.2. Kết quả khi bù SVC

Xét trường hợp đường dây LAOBAO\_KHESANH sự cố khi đang mang tải cao ứng với thiết bị bù SVC đặt ở nút TARUT/C11 trong hai trường hợp (phụ tải cực đại và phụ tải cực tiểu), kết quả mô phỏng như sau:

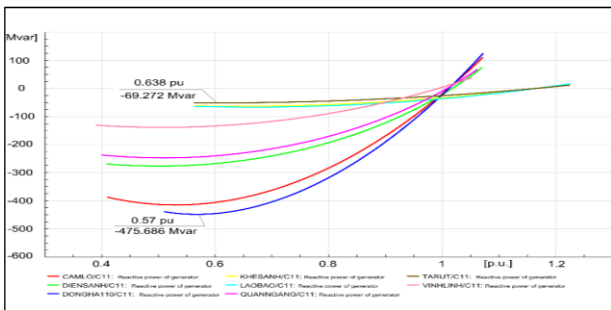
❖ Khi phụ tải vận hành chế độ cực đại

Đường đặc tuyến PV tại các nút 110 kV khi đặt thiết bị bù SVC (Hình 19).



Hình 19. Đặc tuyến PV tại các nút 110 kV khi đặt thiết bị bù SVC với phụ tải cực đại

Đường đặc tuyến QV tại các nút 110 kV khi đặt thiết bị bù SVC (Hình 20).



Hình 20. Đặc tuyến QV tại các nút 110 kV khi đặt SVC

Nhận xét:

- Sau khi đặt SVC tại thanh cái C11 nút phụ tải TARUT/C11, điện áp tại các nút 110 kV lân cận dao động

từ 0,978÷ 1,043 pu (nằm trong giới hạn quy định từ 0,9÷1,05 pu).(Hình 19).

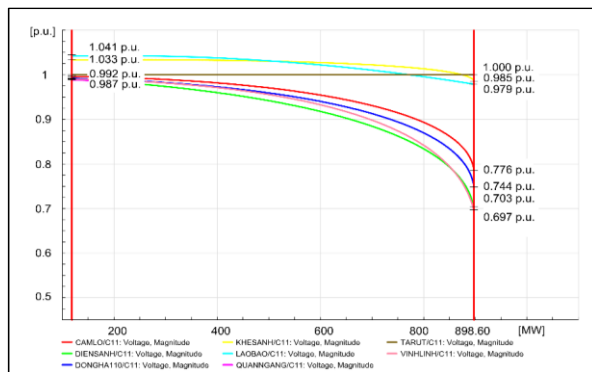
- Xét đường đặc tuyến PV, giá trị công suất giới hạn truyền tải trong hệ thống tăng từ 792,37 MW lên 820,57 MW so với kịch bản sự cố (Hình 14, Hình 19).

- Mức dự trữ công suất phản kháng tại các nút 110 kV trong lưới điện được cải thiện, cụ thể như nút TARUT/C11 tăng 49,474 MVar lên 69,272 MVar, DONGHA110/C11 tăng 444,907 MVar lên 475,686 MVar (Hình 16, Hình 20).

❖ Khi phụ tải vận hành ở chế độ cực tiểu

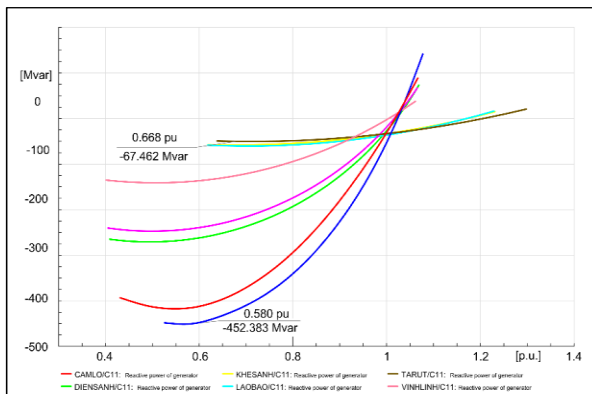
Khi bù SVC ở nút TARUT/C11 cho kết quả mô phỏng tương tự như khi bù ở phụ tải vận hành cực đại, cụ thể như sau:

Đường đặc tuyến PV ở nút 110 kV khi đặt SVC:



Hình 21. Đặc tuyến PV nút 110kV (có SVC) lúc phụ tải cực tiểu

Đường đặc tuyến QV ở nút 110 kV khi đặt SVC:



Hình 22. Đặc tuyến QV ở nút 110 kV khi đặt SVC lúc phụ tải cực tiểu

Nhận xét:

- Điện áp ban đầu tại các nút 110 kV dao động từ 0,987-1,041 pu, nằm trong quy định vận hành cho phép.

- Mức dự trữ công suất tác dụng tăng từ 895,19 MW lên 898,6 MW (Hình 15, Hình 21).

- Mức dự trữ công suất phản kháng ở các nút 110 kV được nâng cao, như nút TARUT/C11 tăng từ 47,714 MVar lên 67,462 MVar (Hình 17, Hình 22).

Sau khi sử dụng thiết bị bù SVC ở nút TARUT/C11, ta thấy rằng mức dự trữ công suất phản kháng, mức dự trữ công suất tác dụng được cải thiện rõ rệt so với trường hợp theo kịch bản sự cố. Điện áp tại các nút nằm trong giới hạn dao động cho phép. Điều này đã giúp giảm tổn thất điện

năng trong lưới điện, đảm bảo độ an toàn, tin cậy trong lưới điện vận hành khi sự cố xảy ra.

**Bảng 3.** Kết quả mô phỏng sau khi đặt SVC cho trường hợp sự cố LAOBAO\_KHESANH dựa theo đường đặc tuyến PV

Phụ Tải	MIN						MAX					
	Khi chưa bù SVC			Khi bù SVC			Khi chưa bù SVC			Khi bù SVC		
Thanh cái	Uo (pu)	Ugh (pu)	Pgh (MW)	Uo (pu)	Ugh (pu)	Pgh (MW)	Uo (pu)	Ugh (pu)	Pgh (MW)	Uo (pu)	Ugh (pu)	Pgh (MW)
LAOCAM/C11	1,01	0,75	895,19	0,99	0,78	899,73	1,01	0,79	792,37	1,00	0,81	820,57
DIENSAN H/C11	1,01	0,67	895,19	0,99	0,70	899,73	1,01	0,76	792,37	1,00	0,78	820,57
DONGHA 110/C11	1,01	0,71	895,19	0,99	0,74	899,73	1,01	0,77	792,37	1,00	0,77	820,57
KHESAN H/C11	1,17	0,87	895,19	1,03	0,98	899,73	1,14	0,80	792,37	1,03	0,97	820,57
LAOBAO /C11	1,16	0,87	895,19	1,04	0,98	899,73	1,14	0,81	792,37	1,04	0,97	820,57
QUANGANG/C11	1,01	0,67	895,19	0,99	0,70	899,73	1,00	0,67	792,37	0,99	0,68	820,57
TARUT_C11	1,17	0,86	895,19	1,00	1,00	899,73	1,14	0,74	792,37	1,00	1,00	820,57
VINHLIN H/C11	1,00	0,66	895,19	0,99	0,70	899,73	0,99	0,57	792,37	0,98	0,57	820,57

**Bảng 4.** Kết quả chạy mô phỏng sau khi dùng SVC cho trường hợp sự cố LAOBAO\_KHESANH dựa theo đường đặc tuyến QV

Phụ Tải	MIN		MAX	
	Khi chưa bù SVC	Khi bù SVC	Khi chưa bù SVC	Khi bù SVC
	Qo (MVA <sub>r</sub> )	Qgh (MVA <sub>r</sub> )	Qo (MVA <sub>r</sub> )	Qgh (MVA <sub>r</sub> )
LAOCAM/C11	-395,387	-417,019	-400,338	-426,988
DIENSAN H/C11	-274,521	-284,853	-227,993	-289,623
DONGHA110/C11	-430,205	-452,383	-444,907	-475,686
KHESAN H/C11	-52,258	-74,107	-61,543	-81,288
LAOBAO/C11	-52,258	-75,906	-65,091	-85,693
QUANGANG/C11	-251,184	-259,705	-248,588	-257,512
TARUT_C11	-47,714	-67,462	-49,474	-69,272
VINHLIN H/C11	-141,884	-145,457	-137,641	-141,327

## 5. Kết luận

Tính toán bài toán ổn định điện áp rất quan trọng và luôn được thực hiện trong suốt quá trình vận hành HTĐ, do đó việc phân tích, đánh giá khả năng ổn định trong quy hoạch, thiết kế và vận hành là rất cần thiết. Bài báo này đã tập trung phân tích, đánh giá khả năng ổn định trong lưới điện 110 kV Quảng Trị theo thời gian thực bằng phần mềm Power Factory thông qua tính toán, phân tích các chỉ số của đường đặc tuyến PV, QV để tìm ra độ ổn định của

các điểm yếu nhất trong lưới điện, từ đó đề xuất các biện pháp nhằm nâng cao khả năng ổn định của lưới điện thông qua các kịch bản vận hành, đảm bảo về tính tin cậy, an toàn, giảm thiểu tổn thất và ổn định trong lưới điện đang nghiên cứu.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ của Đại học Đà Nẵng theo đề tài số B2019-DN02-70.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] GIZ Energy Support Programme, “GIZ - Electricity industry in Vietnam”. <http://gizenergy.org.vn/vn/knowledge-resources/power-sector-vietnam> [Accessed 10/02/2022].
- [2] “Vietnam electricity industry report”. [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:t2IG88\\_4x2UJ:static1.vietstock.vn/edocs/Files/2020/07/27/bao-cao-nganh-dien-viet-nam\\_20200727085450.pdf+&cd=4&hl=vi&ct=clnk&gl=vn](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:t2IG88_4x2UJ:static1.vietstock.vn/edocs/Files/2020/07/27/bao-cao-nganh-dien-viet-nam_20200727085450.pdf+&cd=4&hl=vi&ct=clnk&gl=vn) [Accessed 10/2/2022].
- [3] “Electricity industry outlook report in 2022”. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7EYcbB2Kj bMJ:vcbs.com.vn/vn/Communication/GetReport%3FreportId%3D9306+&cd=2&hl=vi&ct=clnk&gl=vn> [Accessed 10/2/2022].
- [4] DiGSILENT I Power system Solutions, “Quasi-Dynamic Simulation - DiGSILENT”. <https://www.digsilent.de/en/quasi-dynamic-simulation.html> [Accessed 7/4/2023].
- [5] R. Kumar, A. Mittal, N. Sharma, I. Duggal, and A. Kumar, “PV and QV Curve Analysis Using Series and Shunt Compensation, 2020 IEEE 9th Power India International Conference (PIICON), 19675582, 2020. DOI:10.1109/PIICON49524.2020.9112917.
- [6] V.N. Sewdien, R. Preece, J. L. Rueda, and M. Meijden, “Evaluation of PV and QV based Voltage Stability Analyses in Converter Dominated Power Systems”, 2018 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2018, DOI:10.1109/APPEEC.2018.8566421.
- [7] L. H. Hung, “Research on voltage stability for application in Vietnam's power system”, *Doctoral thesis in engineering*, The University of Danang, 2012.
- [8] J. Machowski, J. W. Bialek, and J. R. Bumby, “Power System Dynamics: Stability and Control, 2nd Edition”, John Wiley and Son, 2008.
- [9] D. Q. Zhou, U. D. Annakkage, and A. D. Rajapakse, “Online Monitoring of Voltage Stability Margin Using an Artificial Neural Network”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 3, pp. 1566–1574, 2010, doi: 10.1109/TPWRS.2009.2038059.
- [10] J. W. Simpson-Porco, and F. Bullo, “Distributed Monitoring of Voltage Collapse Sensitivity Indices”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 4, pp. 1979–1988, 2016, doi: 10.1109/TSG.2016.2533319.
- [11] V. D. Ngo, D. D. Le, K. H. Le, V. K. Pham, and A. Berizzi, “A Methodology for Determining Permissible Operating Region of Power Systems According to Conditions of Static Stability Limit”, *Energies*, vol. 10, no. 8, p.1163, 2017, doi: 10.3390/en10081163.