MODELLING THE EFFECT OF POWER SYSTEM STABILIZER TO REDUCE POWER SWING IN TRANSMISSION SYSTEM INTEGRATED WITH RENEWABLE ENERGY

Nguyen Quoc Minh*, Nguyen Tien Thanh
School of Electrical and Electronic Engineering - Hanoi University of Science and Technology

ARTICLE INFO

Received: 02/02/2023
Revised: 23/5/2023
Published: 23/5/2023

KEYWORDS

Power swing
Power system stability
Power system stabilizer
Transmission system
Short-circuit

ABSTRACT

Power swing is an abnormal state of the power system, where the power flow in the transmission line changes in both direction and magnitude. Power swing is often caused by short-circuit, power switching, sudden change in loads or generation units. Power swing is a transient behavior that describes how the system adjusts to a new steady state. Although power swing is not neccessary a faulty condition, it can cause the protection system to trip, and in some cases leads to system blackout. A pratical method to minimize the effect of power swing is the use of power system stabilizer (PSS) device. In this study, we focus on simulating the response of the transmission system during power swing. IEEE 9 bus integrated with wind power is used for simulation on ETAP software. The simulation results show that the power system stabilizer device can significantly reduce the influence of power swing in faulty conditions, thereby improving the stability of the power system.

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA THIẾT BỊ ỔN ĐỊNH HỆ THỐNG ĐIỆN TRONG VIỆC LÀM SUY GIẢM MỨC ĐỘ DAO ĐỘNG CÔNG SUẤT TRÊN LƯỚI ĐIỆN TRUYỀN TẢI CÓ KẾT NỐI NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

Nguyễn Quốc Minh*, Nguyễn Tiến Thành
Trường Điện – Điện tử - Đại học Bách khoa Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 02/02/2023
Ngày hoàn thiện: 23/5/2023
Ngày đăng: 23/5/2023

TỪ KHÓA

Dao động công suất
Ổn định hệ thống điện
Thiết bị ổn định dao động PSS
Lưới điện truyền tải
Ngắn mạch

TÓM TẮT

Dao động công suất là một chế độ làm việc không bình thường của hệ thống điện, khi công suất truyền tải trên đường dây thay đổi cả về chiều và độ lớn. Dao động công suất thường xuất hiện khi hệ thống xảy ra các sự cố, do quá trình đóng cắt nguồn, thay đổi công suất phụ tải đột ngột, hoặc thay đổi phương thức vận hành lưới điện. Dao động công suất thực chất là một quá trình quá độ khi hệ thống chuyển trạng thái từ một chế độ xác lập cũ sang chế độ xác lập mới. Mặc dù dao động công suất không phải là một dạng sự cố, nhưng nếu không được phát hiện kịp thời thì có thể làm hệ thống bảo vệ tác động, khiến sự cố trầm trọng và dẫn đến tan rã hệ thống. Một trong những biện pháp hữu ích được sử dụng để giảm thiểu ảnh hưởng của dao động công suất là sử dụng thiết bị ổn định hệ thống điện (PSS) Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả mô phỏng đáp ứng của hệ thống khi xảy ra dao động công suất. Lưới điện IEEE 9 nút có kết nối nguồn điện gió được sử dụng để mô phỏng trên phần mềm ETAP. Kết quả mô phỏng cho thấy thiết bị ổn định hệ thống điện có tác dụng giảm thiểu rõ rệt ảnh hưởng của dao động công suất trong các kịch bản sự cố, từ đó nâng cao tính ổn định của hệ thống điện.

DOI: https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7267

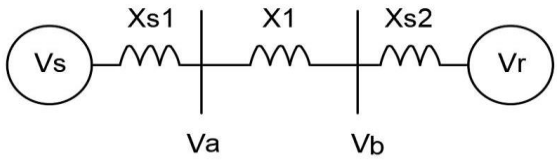
* Corresponding author. *Email: minh.nguyenquoc@hust.edu.vn*

1. Giới thiệu

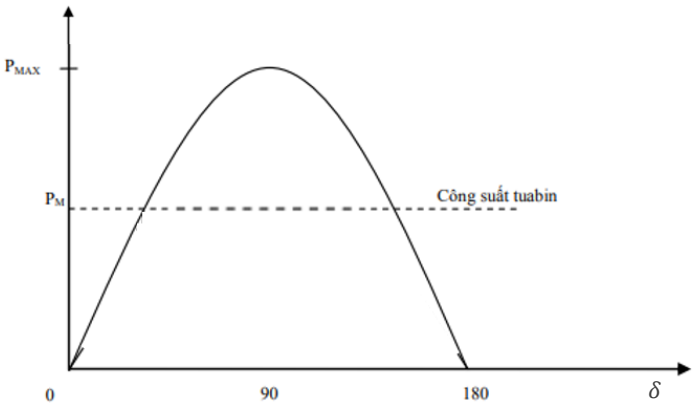
Dao động công suất là hiện tượng mất cân bằng tạm thời giữa momen cơ và momen điện trên roto máy phát đồng bộ, các dao động công suất luôn đi kèm với sự dao động của tốc độ quay máy phát. Các dao động công suất là quá trình diễn ra sau khi hệ thống điện xảy ra các sự cố, hoặc trong quá trình hệ thống điện chuyển trạng thái làm việc như đóng cắt các đường dây truyền tải, tách lưới các máy phát chính và tăng đột ngột hoặc mất một lượng lớn tải dẫn đến thay đổi đột ngột năng lượng điện, đồng thời đầu vào năng lượng cơ học cho máy phát điện gần như không thay đổi. Những xáo trộn trong hệ thống điện như vậy làm mất trạng thái cân bằng, dẫn đến tăng tốc và giảm tốc rotor của các máy phát điện đồng bộ, dẫn đến dao động trào lưu công suất do dao động trong góc rotor máy phát [1], [2].

Hiện nay, các phương pháp phổ biến được sử dụng để phát hiện dao động công suất trong hệ thống điện có thể kể đến như phương pháp biến thiên tổng trở (impedance change method) [3], [4], phương pháp hai điểm mù (double blinder method) [5], phương pháp công suất biểu kiến (apparent power method) [6]. Gần đây, với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học máy tính và trí tuệ nhân tạo, các phương pháp phát hiện công suất dựa trên học máy cũng đã được đề xuất [7], [8]. Mặc dù các phương pháp này có thể phát hiện dao động công suất trong hệ thống điện với độ chính xác ngày càng cao, tuy nhiên nó không có khả năng làm suy giảm mức độ dao động công suất. Với sự xâm nhập ngày càng cao của các nguồn năng lượng tái tạo như điện gió, điện mặt trời vào hệ thống điện đã khiến cho quán tính hệ thống điện ngày càng giảm [9], [10]. Điều đó dẫn tăng nguy cơ mất ổn định hệ thống điện trong trường hợp sự cố hoặc các chế độ làm việc không bình thường. Do đó, vấn đề nâng cao tính ổn định của hệ thống điện khi xảy ra dao động công suất mang tính cấp thiết. Trong nghiên cứu này, thiết bị ổn định hệ thống điện PSS được mô phỏng để đánh giá khả năng làm suy giảm mức độ dao động công suất trên lưới điện truyền tải.

Cơ chế phát sinh dao động công suất được trình bày đơn giản dựa trên mô hình hai máy phát điện như hình 1. Mô hình bao gồm một máy phát điện có điện áp V_S và một phụ tải là động cơ có điện áp V_R được nối thông qua một đường dây, giả thiết các phần tử không có tổn thất công suất tác dụng. X_{S1}, X_{S2}, X_1 lần lượt là điện kháng quá độ máy phát, động cơ và của đường dây truyền tải.



Hình 1. *Mô hình hai máy phát điện*



Hình 2. *Mối liên hệ giữa góc pha điện áp và công suất truyền tải*

Công suất truyền tải từ máy phát đến động cơ được biểu diễn dưới công thức (1) và thể hiện trên hình 2 như sau:

$$P = P_S = P_R = \frac{V_S.V_R}{X_{S1} + X_1 + X_{S2}} \sin\delta \quad (1)$$

Công suất truyền tải tối đa giữa máy phát và phụ tải bị giới hạn bởi trở kháng của nguồn điện và trở kháng của đường dây. Công suất truyền tải tối đa là ở vị trí góc 90°. Ở vị trí góc từ 0° đến 90° khi hệ thống bị dao động, điều kiện cân bằng bị phá vỡ, công suất máy phát và động cơ có thể thay đổi tăng hoặc giảm, dẫn đến góc rotor thay đổi. Ở vị trí góc này, sự tăng góc lệch rotor dẫn đến tăng công suất truyền tải, điều này lại có xu hướng làm giảm góc lệch rotor cho tới khi hệ thống đạt trạng thái cân bằng mới. Ở góc từ 90° trở lên, khi bị dao động, việc tăng góc lệch rotor sẽ dẫn đến giảm công suất truyền tải, điều này làm tăng hơn nữa góc lệch và dẫn đến mất ổn định.

2. Mô hình hệ thống kích từ có trang bị thiết bị ổn định hệ thống điện (PSS)

Theo thông tư 25/2016/TT-BCT quy định hệ thống truyền tải của Bộ Công thương, thiết bị ổn định hệ thống điện PSS là thiết bị đưa tín hiệu bổ sung tác động vào bộ tự động điều chỉnh điện áp AVR để làm suy giảm mức giao động công suất trong hệ thống điện. Theo quy định hiện hành, tất cả các tổ máy phát điện có công suất trên 30 MW phải trang bị thiết bị ổn định hệ thống điện PSS có khả năng làm suy giảm các dao động có tần số trong dải từ 0,1 đến 5 Hz góp phần nâng cao ổn định hệ thống điện.

2.1. Hệ thống kích từ

Hệ thống kích từ là một trong các hệ thống thiết bị quan trọng quyết định đến sự làm việc an toàn của máy phát điện. Với chức năng chính là cung cấp dòng điện một chiều cho các cuộn dây kích thích của máy phát điện đồng bộ, dòng kích từ phải có khả năng điều chỉnh bằng tay hoặc tự động để đảm bảo chế độ làm việc luôn ổn định, kinh tế của máy phát điện với chất lượng điện năng cao nhất trong mọi tình huống.

Trong chế độ bình thường, việc điều chỉnh dòng kích từ sẽ điều chỉnh được điện áp đầu cực của máy phát từ đấy thay đổi dòng công suất phát kháng phát vào lưới điện. Trong chế độ làm việc ở chế độ quá độ, có thể kể đến như quá trình xảy ra khi khởi động máy phát, kết nối máy phát điện hòa lưới hay trường hợp sự cố ngắn mạch,… xảy ra cần được khống chế kịp thời, thời gian quá độ đòi hỏi phải tắt nhanh, biên độ dao động nằm trong dải phạm vi cho phép bằng các bộ phận để cưỡng bức dòng kích từ, cho phép điện áp lưới ổn định [3].

Thiết bị kích từ bao gồm máy biến áp kiểu khô, bộ chỉnh lưu thyristor, bộ tự động điều chỉnh điện áp AVR (Automatic Voltage Regulator), bộ phận diệt từ, thiết bị bảo vệ quá áp và tất cả trang thiết bị cần thiết cho việc điều khiển, bảo vệ hệ thống kích từ và máy phát trong chế độ vận hành bình thường cũng như chế độ quá độ.

Để cung cấp một cách tin cậy dòng điện một chiều cho cuộn dây kích từ của máy phát điện, cần phải có hệ thống kích từ của máy phát điện với công suất định mức đủ lớn. Thông thường công suất định mức của hệ thống kích từ bằng (0,2 - 0,6)% công suất định mức của máy phát điện. Việc chế tạo các hệ thống kích từ gặp rất nhiều khó khăn khi mà công suất của máy phát ngày càng tăng, ngoài ra hệ thống kích từ sử dụng máy phát điện một chiều công suất lớn sẽ khiến bộ phận này làm việc kém tin cậy và nhanh hỏng do tia lửa điện phát sinh, còn các hệ thống kích từ dùng máy phát xoay chiều và chỉnh lưu thì có ưu điểm nổi bật hơn.

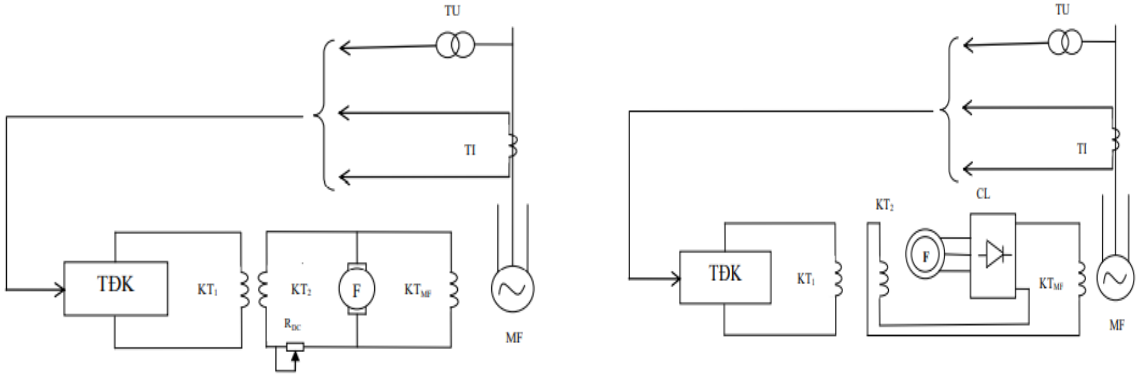
Trong thực tế có bốn loại hệ thống kích từ điển hình được sử dụng cho máy phát điện đồng bộ:

2.1.1. Hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều

Hệ thống loại này còn được gọi là DC – Exciter, gồm có máy phát điện một chiều và bộ điều khiển dòng kích từ dựa trên các tín hiệu đo lường dòng điện và điện áp đầu ra của máy phát. Để truyền động cho máy phát kích từ có thể dùng động cơ sơ cấp độc lập hoặc được gắn đồng trục với máy phát chính như hình 3a. Hệ thống kích từ một chiều bị giới hạn bởi công suất và tốc độ vòng quay chậm, nên thích hợp sử dụng ở các máy phát có công suất nhỏ.

2.1.2. Hệ thống kích từ dùng máy phát điện xoay chiều

Hệ thống này gọi là AC – Exciter loại Static Diode. Trong đó bao gồm máy phát điện xoay chiều tần số cao được chế tạo theo kiểu cảm ứng, cuộn dây kích từ được đặt ở phần tĩnh và rotor của nó không có cuộn dây, bộ chỉnh lưu để đưa ra dòng điện một chiều cung cấp cho mạch kích từ của máy phát đồng bộ, bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ (TĐK) như hình 3b. Ưu điểm của hệ thống này là do không có vành góp công suất tăng đáng kể, có thể áp dụng cho các máy phát điện có công suất lớn từ 100 MW đến 300 MW. Dòng điện một chiều sau chỉnh lưu có chất lượng ổn định, ngoài ra thiết bị làm việc với tần số cao còn có khả năng chống được nhiễu công nghiệp. Tuy nhiên, nhược điểm chính của loại này là công suất chế tạo vẫn bị giới hạn, do tia lửa vành trượt xuất hiện khi công suất lớn (cần có vành trượt đưa điện vào stator). Ngoài ra hệ thống này còn có hằng số thời gian lớn (0,3 – 0,4) giây nên độ tác động nhanh không cao.



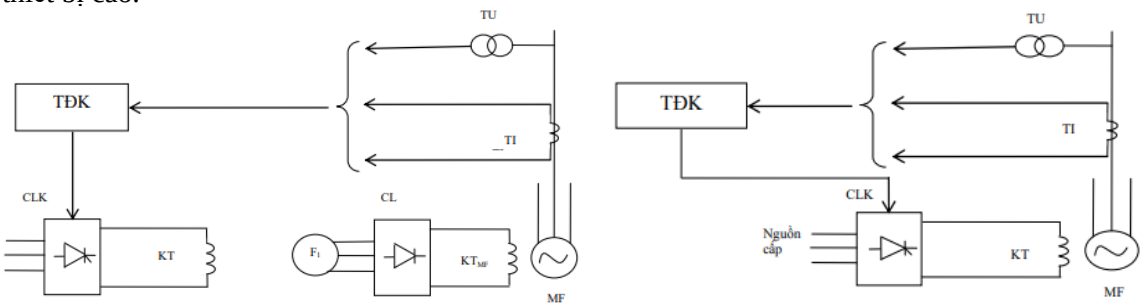
(a) *(b)*

Hình 3. *Hệ thống kích từ sử dụng (a): máy phát một chiều, (b): máy phát xoay chiều*

2.1.3. Hệ thống kích từ không chổi than

Hệ thống này còn được gọi là AC – Exciter loại Rotary Diode. Đối với hệ thống này, hoàn toàn khắc phục được nhược điểm của hệ thống kích từ có vành trượt và chổi than, thêm vào đó là khả năng chế tạo công suất kích từ lớn.

Hệ thống này có máy phát F1 xoay chiều 3 pha nhưng có phần ứng chuyển động, các cuộn dây roto gắn đồng trục với máy phát chính như hình 4a. Phần tạo ra từ trường nằm ở phần tĩnh, được cung cấp từ nguồn một chiều chỉnh lưu. Dòng điện từ các cuộn dây ba pha được chuyển thành dòng một chiều nhờ các chỉnh lưu gắn ngay trên trục, nối tiếp với cuộn kích từ máy phát điện chính. Ưu điểm của hệ thống này là nâng cao được công suất chế tạo máy phát điện vì không có chổi than và vành trượt, ngoài ra do nối trực tiếp nên hằng số thời gian giảm đi đáng kể còn chỉ khoảng (0,1-0,15)s. Nhưng hệ thống có nhược điểm là chế tạo rất phức tạp, giá thành thiết bị cao.



(a) *(b)*

Hình 4. *Hệ thống kích từ (a) không chổi than, (b) tĩnh*

2.1.4. Hệ thống kích từ tĩnh

Các hệ thống kích từ đã trình bày ở trên đều có điểm chung là thời gian tác động lớn, bởi quán tính điện từ của máy phát kích từ. Đây là một nhược điểm khiến cho yêu cầu kỹ thuật về chất lượng điện năng và tính ổn định của hệ thống rất khó được đảm bảo, cách khắc phục vấn đề này là làm cho tín hiệu của bộ điều chỉnh tự động tác động trực tiếp vào kích từ, nhờ đó hằng số thời gian giảm đi đáng kể.

Dây quấn kích từ của máy phát đồng bộ được cấp dòng điện một chiều nhờ bộ chỉnh lưu có điều khiển, nguồn điện cấp cho bộ chỉnh lưu có thể là một máy phát xoay chiều hoặc lấy trực tiếp từ lưới điện tự dùng của nhà máy như hình 4b. Thông thường bộ chỉnh lưu CLK là loại chỉnh lưu cầu 3 pha có điều khiển, bộ tự động điều chỉnh kích từ nhận các tín hiệu phản hồi điện áp và dòng điện, điều khiển trực tiếp khối mạch chỉnh lưu, do đó thời gian tác động là rất nhanh khoảng (0,02 – 0,04)s. Vì vậy hệ thống kích từ này được sử dụng rộng rãi trong các máy phát công suất trung bình và lớn, với hằng số thời gian nhỏ là điều kiện quan trọng cho phép nâng cao chất lượng điều chỉnh điện áp và tính ổn định.

Những phân tích ở trên đã làm rõ phạm vi ứng dụng của từng loại hệ thống kích từ. Để duy trì sự ổn định của hệ thống điện, cần có hệ thống kích từ đáp ứng nhanh cho các máy phát đồng bộ, đồng nghĩa với việc dòng điện kích từ phải được điều chỉnh một cách nhanh chóng trong các điều kiện vận hành thay đổi. Bên cạnh việc duy trì dòng điện và trạng thái ổn định, hệ thống kích từ còn được yêu cầu để mở rộng giới hạn ổn định. Do có những lý do trên cùng với sự phát triển của công nghệ bán dẫn mà sử dụng hệ thống kích từ theo phương pháp kích từ tĩnh là một phương pháp đã và đang dần trở thành xu hướng phổ biến thay thế các phương pháp còn lại.

2.2. Thiết bị ổn định hệ thống điện PSS

Việc sử dụng các hệ thống kích từ để hỗ trợ việc nâng cao tính ổn định cho các dao động là chưa đủ. Mặc dù những hệ thống này, phát hiện ra thay đổi về điện áp do thay đổi tải đến 10 lần nhanh hơn so với các hệ thống trước đây. Tuy nhiên do độ tự cảm cao của các máy phát điện, tốc độ bị hạn chế. Điều này được coi như hiện tượng trễ trong chức năng điều khiển, trong quá trình này tình trạng của hệ thống dao động sẽ thay đổi, tạo nên một điều chỉnh kích từ mới. Kết quả là hệ thống kích từ có xu hướng chậm sau nhu cầu về sự thay đổi. Một giải pháp để nâng cao chất lượng của hệ thống này và các hệ thống lớn hơn đó là thêm các mạch song song, để giảm điện kháng giữa các máy phát và trung tâm phụ tải. Giải pháp này tuy tốt về mặt kỹ thuật nhưng có chi phí rất cao khi phải xây dựng thêm các đường dây truyền tải. Một phương án thay thế tối ưu đó là thiết bị ổn định hệ thống điện PSS, hoạt động thông qua các bộ điều chỉnh điện áp.

PSS là một thiết bị tăng mômen hãm các dao động điện cơ trong máy phát, các thiết bị này được dùng cho các máy phát lớn, cho phép sử dụng để cải tiến các hạn chế vận hành cưỡng bức ổn định.

Khi bị tác động bởi một sự thay đột ngột trong điều kiện vận hành, tốc độ và công suất của máy phát sẽ thay đổi xung quanh điểm vận hành trạng thái ổn định. Mối quan hệ giữa những đại lượng này có thể được diễn tả bởi công thức đơn giản sau:

$$\frac{H}{\pi f}\frac{d^2\delta}{dt^2} = M_m - M - M_c \quad (2)$$

Hay: $$\frac{H}{\omega}\frac{d^2\delta}{dt^2} = M_m - M - M_c \quad (3)$$

trong đó ω là tốc độ góc của roto (tốc độ góc ban đầu $\omega_0 = 314$ rad/s), M_m là mômen cơ trong mỗi máy phát, M là mômen điện từ trong máy phát, M_c là mômen hãm, H là hằng số quán tính của máy phát. Các mômen cơ và điện gần như bằng nhau về mặt giá trị trong mỗi thiết bị. Công thức chỉ ra rằng khi có tác động của lực cân bằng, rotor tăng tốc theo tỉ lệ mômen tác động trong rotor chia hằng số quán tính của tuabin.

Khi có sự thay đổi về điểm vận hành

$$\Delta M = M_s \Delta\delta + M_c \Delta\omega \quad (4)$$

trong đó, M_s là hệ số đồng bộ, M_c là hệ số hãm, $\Delta\delta$ là sai lệch góc phụ tải. Theo phương trình (4) có thể nhận ra rằng với giá trị dương của M_s, thành phần của mômen đồng bộ thay đổi tỉ lệ nghịch với góc phụ tải từ điểm cân bằng. Tương tự với giá trị dương M_c, các bộ phận của mômen hãm sẽ tỉ lệ nghịch với tốc độ rotor so với điểm vận hành ổn định.

Như vậy để duy trì được sự ổn định, thì thiết bị PSS sẽ tác động lên hệ thống kích từ làm cho các mômen đồng bộ và mômen hãm đủ để dập tắt các dao động rotor của máy phát làm việc trong các trường hợp không bình thường. Thiết bị PSS sẽ ngăn chặn bất cứ dao động nào, bằng cách gửi tín hiệu để thay đổi kích từ vào đúng thời điểm hình thành dao động, do đó cho phép máy phát có thể vận hành trong mọi điều kiện mà việc triệt tiêu dao động một cách tự nhiên là không đủ.

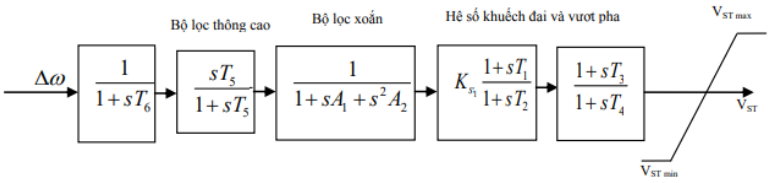
Các thiết bị ổn định công suất được chia làm 2 loại mô hình: Thiết bị ổn định hệ thống nguồn công suất (thiết bị ổn định) dựa vào tín hiệu tốc độ và thiết bị ổn định đầu vào kép (tín hiệu tốc độ và công suất) [11].

- Thiết bị ổn định công suất dựa trên tín hiệu tốc độ: PSS1A
- Thiết bị ổn định công suất đầu vào kép: PSS2A, PSS2B, PSS3B, PSS4B.

Trong nghiên cứu này, thiết bị ổn định hệ thống điện được sử dụng là loại có đầu vào kép PSS2A.

2.2.1. Thiết bị ổn định hệ thống điện dựa trên tín hiệu tốc độ

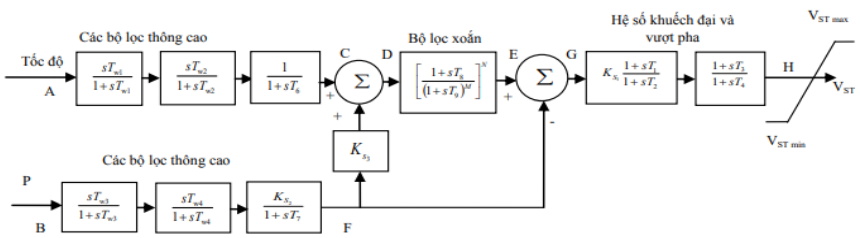
Để tăng cường hệ số hãm tự nhiên của máy phát, thiết bị ổn định hệ thống điện phải tạo ra một thành phần của mômen điện chống lại những thay đổi trong tốc độ rotor. Một phương pháp để thực hiện điều này là đưa vào một tín hiệu tỉ lệ đo được về sai lệch tốc độ rotor khi điều chỉnh điện áp đầu cực.



Hình 5. *Sơ đồ khối thiết bị ổn định hệ thống điện dựa vào tín hiệu tốc độ*

Trên sơ đồ hình 5 gồm: bộ lọc thông cao để loại bỏ mức tốc độ trung bình, tạo ra một tín hiệu "thay đổi tốc độ", điều này đảm bảo rằng bộ ổn định chỉ phản ứng với những thay đổi trong tốc độ mà không thay đổi hằn điện áp đặt đầu cực máy phát; đo tốc độ đầu trục bằng cách dùng một cực từ và cách bố trí bánh răng; chuyển đổi tín hiệu tốc độ đo được sang dạng điện áp một chiều tỉ lệ với tốc độ; áp dụng vượt pha để tạo ra tín hiệu bù lại chậm pha trong mạch vòng điều khiển điện áp; điều chỉnh hệ số khuếch đại của tín hiệu cuối cùng đưa tới đầu vào AVR.

2.2.2. Thiết bị ổn định hệ thống điện đầu vào kép



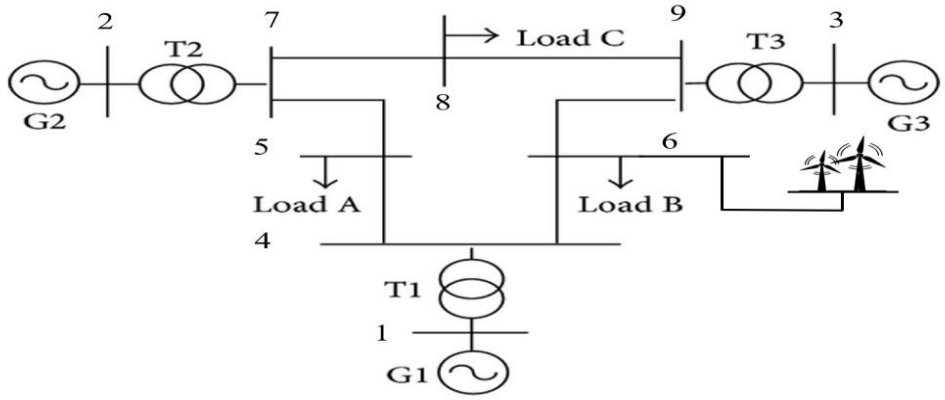
Hình 6. *Sơ đồ khối thiết bị ổn định hệ thống điện đầu vào kép*

Mặc dù các thiết bị ổn định dựa trên tốc độ đã chứng minh được sự hiệu quả, nhưng thường thì vẫn khó khăn để tạo ra tín hiệu tốc độ không có nhiễu như các thành phần dao động xoắn của trục. Sự có mặt của các thành phần này trong đầu vào của một thiết bị ổn định dựa theo tốc độ có thể gây ra kích từ máy phát quá mức. Những biến đổi mômen điện dẫn tới nghiên cứu về các thiết kế thiết bị ổn định dựa trên cả tốc độ và công suất được thể hiện ở hình 6 [11].

3. Mô phỏng và kết quả

3.1. Mô hình lưới điện IEEE 9 nút

Mô hình mô phỏng nhóm nghiên cứu sử dụng là lưới điện IEEE 9 nút [12] được thể hiện trên hình 7 bao gồm 3 máy phát điện G1, G2, G3 nối với các nút 1, 2, 3 tương ứng thông qua máy biến áp tăng áp 230 kV. Ba phụ tải A, B, C kết nối với nút số 5, 6 và 8 tương ứng. Ba máy biến áp tăng áp đấu sao/tam giác được nối giữa các nút 1-4, 2-8, 3-6. Tại nút số 6, có kết nối thêm nhà máy điện gió với công suất 50 MW, tuabin gió được sử dụng trong nghiên cứu là tuabin loại 4. Thông số của lưới điện IEEE 9 nút được tham khảo từ [12].



Hình 7. *Sơ đồ hệ thống điện 9 nút IEEE*

Quá trình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm ETAP. Kịch bản được đưa sử dụng để mô phỏng như sau: tại nút số 5, sự cố ngắn mạch 3 pha được tạo ra ở thời điểm 1s (sau khi bắt đầu quá trình mô phỏng), sau đó 300 ms và 600 ms thì máy cắt số 5 và số 9 tác động loại trừ sự cố, thời gian mô phỏng kéo dài 20 s. Kịch bản được thực hiện trong cả hai trường hợp: máy phát có trang bị thiết bị ổn định hệ thống điện PSS và không trang bị PSS, nhằm mục đích khảo sát và so sánh sự ổn định các máy phát khi lưới điện xảy ra sự cố ngắn mạch. Sau đó, hệ thống được mô phỏng thêm trường hợp khi có tích hợp nguồn điện gió 50 MW tại nút số 6 để đánh giá mức độ ảnh hưởng của nguồn điện này đến mức độ dao động công suất. Hệ thống kích từ nhóm nghiên cứu sử dụng là hệ thống điều khiển kích từ tĩnh ST3 (Compound Source-Controlled Rectifier Exciter).

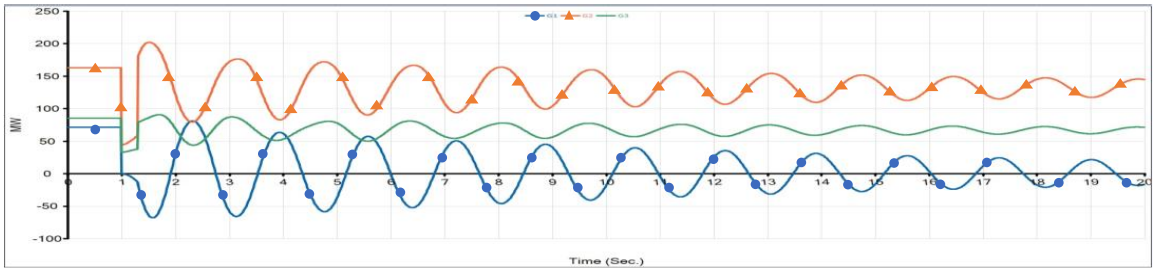
3.2. Kết quả mô phỏng

3.2.1. Trường hợp chưa có kết nối nguồn điện gió

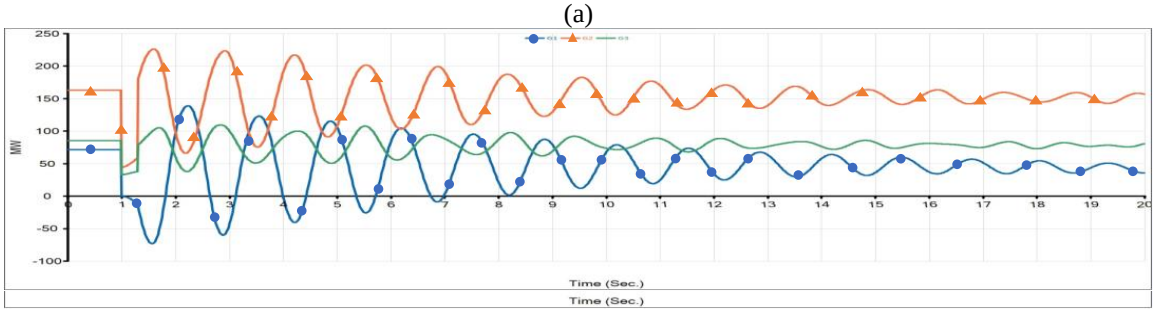
Công suất tác dụng của các tổ máy G1, G2 và G3 được mô phỏng với kịch bản sự cố ngắn mạch 3 pha tại nút số 5, sau đó máy cắt số 5 và số 9 tác động loại trừ sự cố sau khoảng thời gian là 300 ms và 600 ms.

- Sự cố tồn tại trong khoảng thời gian 300 ms:

Hình 8 thể hiện đồ thị công suất tác dụng của các tổ máy G1, G2, G3 trong 02 trường hợp tương ứng là tổ máy không được trang bị thiết bị PSS (a) và được trang bị thiết bị PSS (b).



(a)



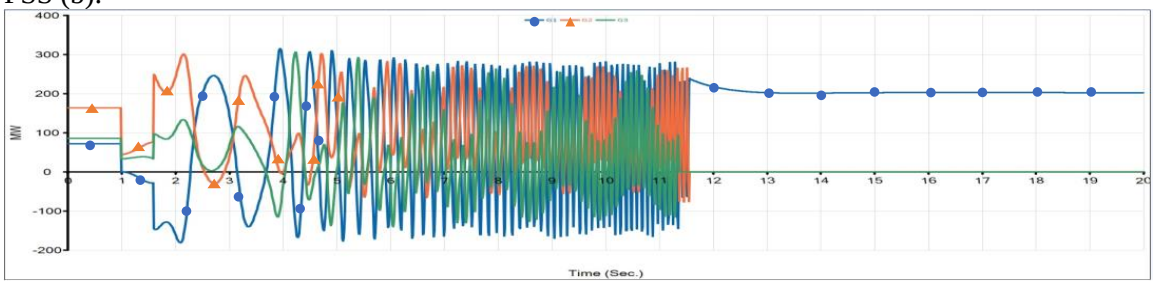
(b)

Hình 8. *Công suất đầu ra máy phát trường hợp chưa có kết nối điện gió với sự cố tồn tại 300 ms: (a) không có PSS, (b) có PSS*

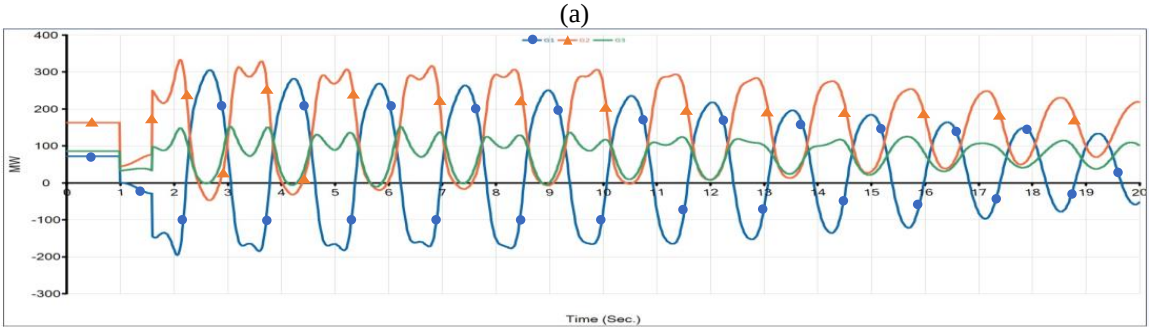
Từ kết quả mô phỏng trên hình 8, ta có thể thấy rằng công suất đầu ra máy phát khi có bộ điều khiển PSS ổn định hơn nhiều so với khi không có bộ PSS. Sau khi xảy ra sự cố, biên độ cũng như thời gian dao động khi có bộ PSS đã giảm đi rất nhiều. Khi không có bộ PSS, sau khi xảy ra ngắn mạch tới thời điểm t = 16 s công suất đầu ra máy phát mới bắt đầu ổn định. Nhưng khi có PSS, tại thời điểm t = 11 s công suất đã ổn định trở lại.

- *Sự cố tồn tại trong khoảng thời gian 600 ms*

Tương tự như trên, hình 9 thể hiện đồ thị công suất tác dụng của các tổ máy G1, G2, G3 trong 02 trường hợp tương ứng là tổ máy không được trang bị thiết bị PSS (a) và được trang bị thiết bị PSS (b).



(a)



(b)

Hình 9. *Công suất đầu ra máy phát trường hợp chưa có kết nối điện gió với sự cố tồn tại 600 ms: (a) không có PSS, (b) có PSS*

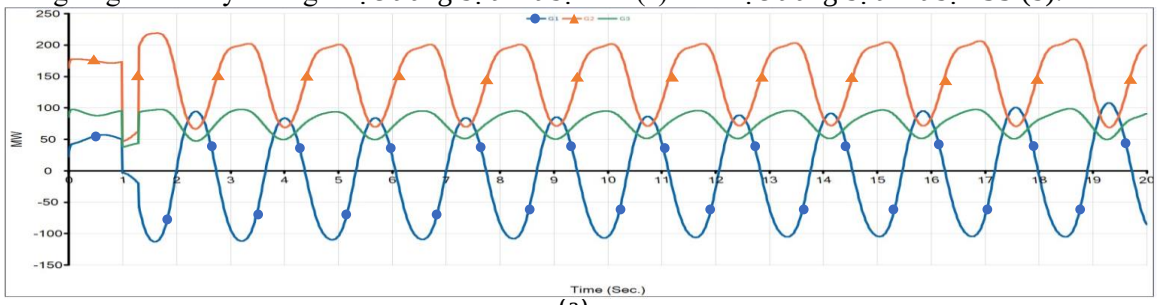
Kết quả mô phỏng trên hình 9 cho thấy, khi các máy phát không được trang bị bộ PSS hệ thống đã mất ổn định khi có sự cố xảy ra. Trong khi có bộ PSS, sau khi xảy ra ngắn mạch hệ thống vẫn giữ được ổn định.

3.2.2. Trường hợp có kết nối nguồn điện gió

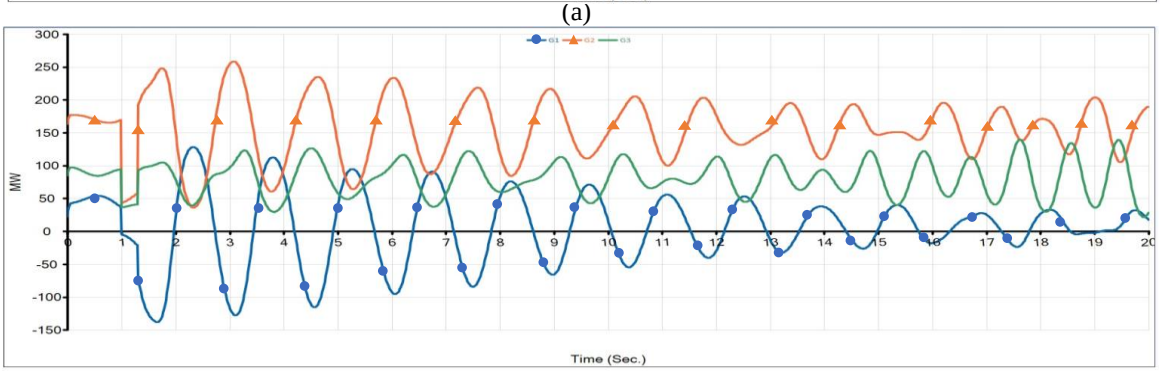
Trong kịch bản này hệ thống có kết nối nguồn điện gió 50 MW vào nút số 6. Đặc điểm chung của các nguồn năng lượng tái tạo là hầu như không có quán tính, do đó khi kết nối vào lưới điện truyền tải sẽ làm giảm quán tính của hệ thống, gây dao động công suất mạnh hơn.

- Sự cố tồn tại trong khoảng thời gian 300 ms:

Hình 10 thể hiện đồ thị công suất tác dụng của các tổ máy G1, G2, G3 trong 02 trường hợp tương ứng là tổ máy không được trang bị thiết bị PSS (a) và được trang bị thiết bị PSS (b).



(a)



(b)

Hình 10. *Công suất đầu ra máy phát trường hợp có kết nối nguồn điện gió với sự cố tồn tại 300 ms: (a) không có PSS, (b) có PSS*

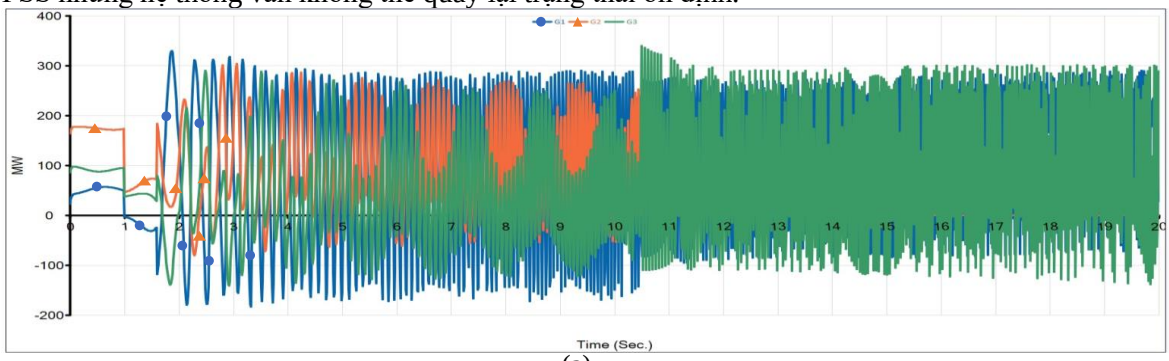
Hình 10 cho thấy cả hai trường hợp hệ thống vẫn giữ được tính ổn định. Tuy nhiên trường hợp có trang bị bộ PSS, biên độ công suất đầu ra máy phát và thời gian ổn định khi có bộ PSS nhỏ hơn so với khi không có bộ PSS. Khi không trang bị bộ PSS, sau khi xảy ra sự cố tới thời điểm $t > 20$ s hệ thống mới dần ổn định lại, trong khi đó với t = 12 s hệ thống đã bắt đầu ổn định với trường hợp có bộ PSS

- Sự cố tồn tại trong khoảng thời gian 600 ms

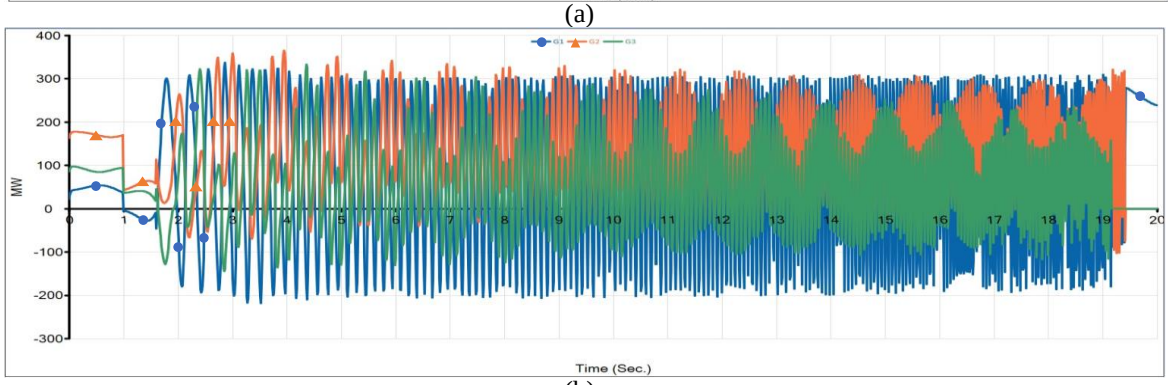
Tương tự như trên, hình 11 thể hiện đồ thị công suất tác dụng của các tổ máy G1, G2, G3 trong 02 trường hợp tương ứng là tổ máy không được trang bị thiết bị PSS (a) và được trang bị thiết bị PSS (b). Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống dần mất ổn định trong cả hai trường hợp. Tuy nhiên, khi các tổ máy không trang bị bộ PSS biên độ và tần suất dao động của công suất đầu ra máy phát khá lớn so với trường hợp có trang bị bộ PSS.

Từ các kết quả mô phỏng trên, ta có thể thấy rằng dao động công suất của các tổ máy, được giảm thiểu một cách rõ rệt khi các tổ máy được trang bị thiết bị ổn định hệ thống điện PSS. Với kịch bản chưa có tích hợp điện gió, trong trường hợp loại trừ sự cố sau khoảng thời gian 300 ms, hệ thống vẫn có khả năng quay về trạng thái ổn định với các dao động tắt dần khi không có PSS, tuy nhiên khi có PSS thì biên độ dao động công suất của các tổ máy đã giảm đi đáng kể. Trong

trường hợp sự cố bị loại trừ sau khoảng thời gian 600 ms, có thể thấy rằng khi không có bộ PSS thì hệ thống sẽ tiến tới mất ổn định, nhưng khi sử dụng bộ PSS thì hệ thống quay lại được trạng thái ổn định với các dao động tắt dần. Với kịch bản có tích hợp điện gió, có thể thấy rằng điểm chung của các nguồn năng lượng tái tạo là quán tính có thể xem bằng không, do đó khi kết nối vào lưới điện truyền tải sẽ làm giảm quán tính chung của cả hệ thống, gây dao động công suất mạnh hơn. Kết quả mô phỏng cho thấy trong trường hợp sự cố loại trừ sau 600 ms thì mặc dù có PSS nhưng hệ thống vẫn không thể quay lại trạng thái ổn định.



(a)



(b)

Hình 11. *Công suất đầu ra máy phát trường hợp có kết nối nguồn điện gió với sự cố tồn tại 600ms: (a) không có PSS, (b) có PSS*

4. Kết luận

Nghiên cứu này tập trung vào việc mô phỏng hiện tượng dao động công suất trên lưới điện truyền tải có tích hợp nguồn điện gió và đánh giá hiệu quả của việc sử dụng thiết bị ổn định hệ thống điện PSS trong việc giảm thiểu dao động công suất. Lưới điện được sử dụng trong nghiên cứu này là lưới điện mẫu IEEE 9 nút, công cụ nghiên cứu được sử dụng là phần mềm ETAP. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy hiệu quả của PSS trong việc làm suy giảm các dao động công suất ngay cả trong các trường hợp sự cố trầm trọng như ngắn mạch ba pha. Tuy nhiên khi có kết nối các nguồn năng lượng tái tạo, do quán tính của hệ thống bị suy giảm nên hệ thống có khả năng bị dao động công suất mạnh và mất ổn định ngay cả khi có thiết bị PSS, nếu sự cố không được loại trừ trong khoảng thời gian đủ nhanh. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ tập trung vào hướng tối ưu hóa các tham số của thiết bị PSS nhằm nâng cao hiệu quả của thiết bị này trong các chế độ làm việc không bình thường cũng như chế độ sự cố trên lưới điện truyền tải khi có tích hợp các nguồn năng lượng mới và tái tạo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

[1] J. Machowski, Z. Lubosny, J. W. Bialek, and J. R. Bumby, *Power System Dynamics Stability and Control*. John Wiley & Sons, 2020.

[2] B. Patel and P. Bera, "Detection of Power Swing and Fault During Power Swing Using Lissajous Figure," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 6, pp. 3019-3027, Dec. 2018.

[3] H. Wang, X. Kang, and X. Dong, "A Novel Method of Power Swing Blocking in Impedance Relay," *IEEE 8th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*, Xi'an, China, 2019, pp. 427-431.

[4] A. Mohammadi, M. Abedini, and M. Davarpanah, "A Straightforward Power Swing Detection Algorithm Using Rate of Impedance Angle Change," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 37, no. 4, pp. 3325-3334, Aug. 2022.

[5] H. K. Zadeh and Z. Li, "Artificial neural network based load blinder for distance protection," *IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, Pittsburgh, PA, USA, 2008, pp. 1-6.

[6] S. Salehimehr, F. Razavi, and B. Taheri, "Power swing detection using rate of change in negative squence component of apparent Power," *Int. Conf. on Protection and Automation of Power System (IPAPS)*, Tehran, Iran, 2019, pp. 38-43.

[7] A. Aparnna, B. K. Sabeena, S.Benson, A. A. Asif, A. Dilshad, and D. S. Kumar, "A Modified CNN for Detection of Faults During Power Swing in Transmission Lines," *International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC)*, Thrissur, India, 2020, pp. 1-6.

[8] C. Sriram, J. Somlal, B. S. Goud, M. Bajaj, M. F. Elnaggar, and S. Kamel, "Improved Deep Neural Network (IDNN) with SMO Algorithm for Enhancement of Third Zone Distance Relay under Power Swing Condition," *Mathematics*, vol. 10, no. 11, Jun. 2022, Art. no. 1944.

[9] Q. Li, B. Ren, Z. Lv, and Q. Wang, "Influence of high proportion of renewable energy on the inertia level of bulk power system," *IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC)*, Nanjing, China, 2021, pp. 1-5.

[10] C. Wang, P. Yuan, B. Liu, H. Li, Z. Jiang, and X. Wang, "Influence of High Proportion of Renewable Energy on Power Grid Inertia Characteristics," *5th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering (CEEPE)*, Chongqing, China, 2022, pp. 1-4.

[11] W. Du, W. Dong, Y. Wang, and H. Wang, "A Method to Design Power System Stabilizers in a Multi-Machine Power System Based on Single-Machine Infinite-Bus System Model," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 36, no. 4, pp. 3475-3486, July 2021.

[12] M. C. Shekar and N. Aarthi, "Contingency Analysis of IEEE 9 Bus System," *3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, Bangalore, India, 2018, pp. 2225-2229.