NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG THIẾT BỊ SVC NHẰM GIẢM THIỂU SỰ CỐ CỘNG HƯỞNG DƯỚI ĐỒNG BỘ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Lê Đức Tùng*

Tóm tắt: *An ninh năng lượng có một vai trò cực kỳ quan trọng trong việc phát triển kinh tế cũng như đảm bảo ổn định chính trị, tự chủ độc lập của quốc gia. Vận hành an toàn các nhà máy điện, đảm bảo ổn định hệ thống điện có yếu tố quyết định đến an ninh năng lượng điện. Bài báo giới thiệu phương pháp áp dụng thiết bị bù linh hoạt SVC để giảm thiểu sự cố cộng hưởng dưới đồng bộ trong hệ thống điện. Sơ đồ điều khiển, mô hình mô phỏng áp dụng cho lưới điện chuẩn IEEE được trình bày và phân tích đánh giá đã minh chứng cho tính đúng đắn của phương pháp.*

Từ khóa: Kỹ thuật điện-điện tử; Kỹ thuật điện; Ổn định hệ thống điện; Cộng hưởng dưới đồng bộ; Thiết bị bù linh hoạt.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các nhà máy điện thường nằm ở khoảng cách rất xa các thành phố lớn, các khu công nghiệp, những phụ tải lớn. Để truyền tải năng lượng điện từ nơi sản xuất đến nơi tiêu thụ, người ta thường phải xây dựng đường dây truyền tải điện cao áp. Trên đường dây truyền tải điện thường có sử dụng các tụ bù dọc để tăng khả năng truyền tải công suất tác dụng cũng như tăng độ dự trữ ổn định động.

Trước năm 1970, người ta nghĩ rằng, các tụ bù dọc thì không có tác hại cho hệ thống điện. Nhưng trong năm 1970-1971, sau hai sự cố nổi tiếng tại nhà máy nhiệt điện ở miền Tây Hoa Kỳ [1], các nghiên cứu sau đó đã chỉ ra rằng, các tụ điện bù dọc có thể gây ra dao động cộng hưởng ở tần số tương đối thấp, từ 10 đến 40 Hz. Nguyên nhân gây ra hai sự cố là do sự trùng hợp ngẫu nhiên của tần số tự nhiên phía lưới điện với tần số tự nhiên của bên phía cơ (rô-to, tua-bin) với tần số đồng bộ. Hiện tượng này được gọi là hiện tương cộng hưởng dưới đồng bộ SSR (SubSynchronous Resonance). Nó chính là nguyên nhân phá hỏng các trục tuabin trong nhà máy điện Mohave, gây thiệt hại về kinh tế, gián đoạn cung cấp điện và ảnh hưởng tổng thể đến an ninh, chính trị, quân sự của quốc gia.

Hệ thống điện 500 kV Việt Nam được đưa vào vận hành từ năm 1994 đã mang lại hiệu quả rất lớn trong việc truyền tải và cung cấp điện. Lưới điện 500kV có chiều dài đường dây 500kV là khoảng 3466km và 10 trạm biến áp với tổng công suất là 6150MVA. Trên các đoạn đường dây 500kV có khoảng cách lớn đều lắp đặt tụ bù dọc ở hai đầu trạm biến áp với mức độ bù là 60%. Công suất truyền tải trên đường dây 500kV luôn ở mức cao, như công suất trên đường dây 500kV Pleiku – Đà Nẵng khoảng 1500MW và trên đường dây 500kV Đà Nẵng – Hà Tĩnh là 1200MW nên điện áp ở các thanh cái 500kV Đà Nẵng, Dốc Sỏi, Hà Tĩnh thường ở mức thấp. Ngoài ra, trong hệ thống điện có rất nhiều các nhà máy nhiệt điện với các tuabin hơi cấu tạo từ nhiều khối. Vì vậy, những đặc trưng này ảnh hưởng nhiều đến ổn định của hệ thống điện, đặc biệt là nguy cơ xuất hiện hiện tượng SSR.

Như vậy, có thể thấy, việc nghiên cứu và hiểu rõ bản chất của hiện tượng SSR là cực kỳ cần thiết và quan trọng, góp phần nâng cao an toàn, độ tin cậy trong quá trình vận hành hệ thống điện, đảm bảo các yếu tố về kinh tế, chính trị, quân sự của cả quốc gia.

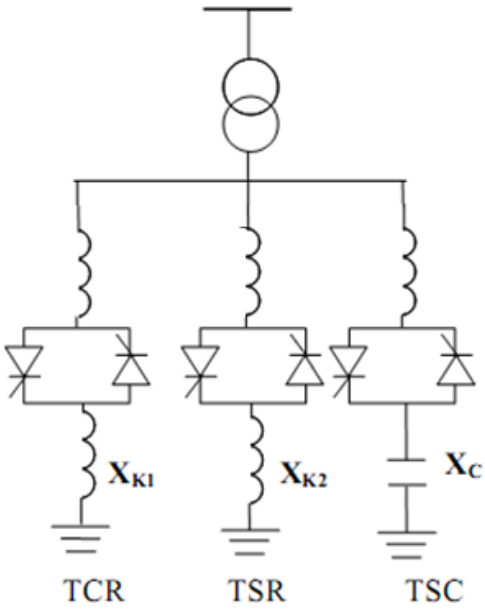
Hiện nay có nhiều nghiên cứu về hiện tượng SSR và các phương pháp loại trừ SSR trong hệ thống điện. Trong [3, 4], các tác giả xây dựng các mô hình phục vụ nghiên cứu hiện tượng SSR. Trong [5], tác giả trình bày phương pháp trị riêng trong nghiên cứu hiện tượng SSR. Trong [6], tác giả nêu phương pháp ngăn ngừa SSR bằng cách thay thế tụ bù dọc bằng thiết bị bù ngang có điều khiển SVC (Static VAR Compensator).

Bài báo này trình bày nghiên cứu về áp dụng thiết bị SVC để loại trừ sự cố SSR, trong

khi vẫn cho phép sử dụng tụ bù dọc trên đường dây truyền tải. Mô hình mô phỏng áp dụng với lưới điện IEEE bằng phần mềm Matlab/Simulink sẽ được thực hiện để minh chứng cho các nghiên cứu lý thuyết.

Phần tiếp theo của bài báo giới thiệu về thiết bị SVC và nguyên lý áp dụng trong việc loại trừ sự cố SSR. Mô hình mô phỏng được xây dựng trong phần mềm Matlab/simulink và kết quả mô phỏng với lưới điện chuẩn IEEE trong mục 3. Cuối cùng là kết luận và các định hướng nghiên cứu tiếp theo được trình bày trong mục 4.

2. MÔ HÌNH THIẾT BỊ SVC



Hình 1. *Cấu trúc tổng quan của thiết bị SVC.*

SVC (Static VAR Compensator) là thiết bị bù ngang, có khả năng cung cấp hoặc tiêu thụ công suất phản kháng. Thực vậy, công suất của SVC có thể điều chỉnh bằng cách thay đổi góc mở của thyristor và tín hiệu đóng hoặc mở bộ tụ [7]

SVC thường được cấu tạo từ các thành phần sau (hình 1):

- Kháng điều chỉnh bằng thyristor – TCR (Thyristor Controlled Rector): Có chức năng điều chỉnh liên tục công suất phản kháng tiêu thụ.
- Kháng đóng mở bằng thyristor – TSR (Thyristor Switched Rector): Có chức năng tiêu thụ công suất phản kháng, đóng cắt nhanh bằng thyristor.
- Bộ tụ đóng mở bằng thyristor – TSC (Thyristor Switched Capacitor): Có chức năng phát công suất phản kháng, đóng cắt nhanh bằng thyristor.

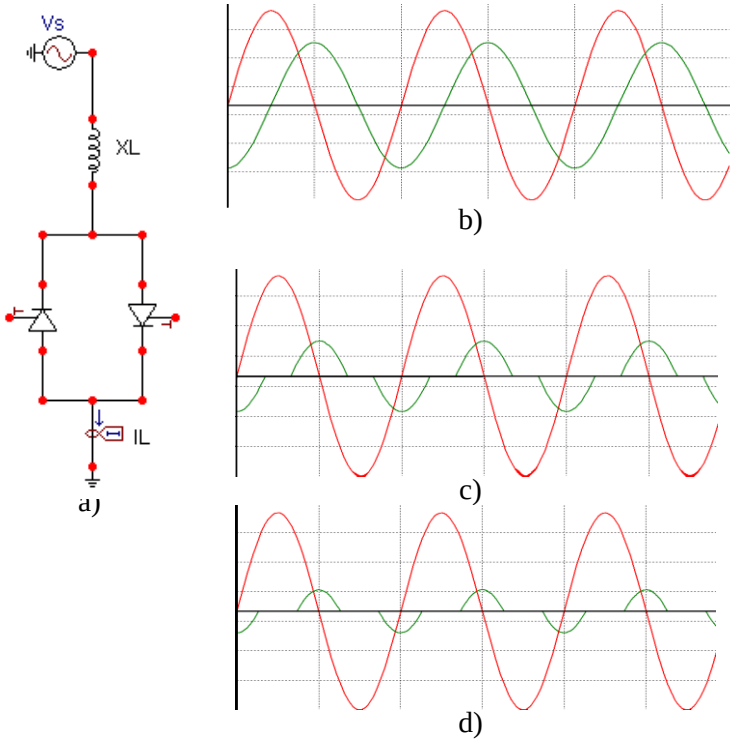
Thyristor hoạt động tương tự như một diode. Tuy nhiên, ngoài điều kiện điện áp đặt lên bản thân thyristor thuận chiều còn yêu cầu có một xung điện áp đặt lên cực điều khiển để mở thyristor. Xung này có thể không kéo dài mà thyristor vẫn mở cho đến khi có điện áp ngược đặt lên thyristor. Sang chu kỳ mới, điện áp thuận chiều nhưng mạch cũng chỉ mở khi có tín hiệu điều khiển xung.

TSR là một phần tử của SVC, gồm một số cuộn kháng đấu song song, chúng được đóng vào lưới hoặc cắt ra bằng cách kích dẫn hoàn toàn hoặc ngắt hoàn toàn thông qua các van Thyristor. TSR cung cấp một tổng trở và như vậy, khi nối vào hệ thống xoay chiều dòng điện phản kháng trong đó sẽ tỷ lệ với biên độ điện áp.

TSC có chức năng phát công suất phản kháng, đóng cắt nhanh bằng thyristor.

Trong SVC thì TCR có vai trò quan trọng nhất, do khả năng điều khiển "trơn" mà SVC cung cấp giá trị tổng trở phù hợp với yêu cầu của hệ thống điện.

2.1. Nguyên lý hoạt động TCR



Hình 2. *Điện áp và dòng điện của TCR (V_S et I_L)*
TCR một pha, b) α=90^0, c) α=120^0, d) α=135^0.

TCR là một phần tử có vai trò quan trọng của SVC do khả năng điều khiển một cách liên tục dòng điện qua cuộn cảm mắc song song với lưới bằng việc điều khiển dòng điện mở thông van thyristor. Một thiết bị TCR bao gồm một điện cảm mắc nối tiếp với hai thyristor đặt song song ngược nhau. Các thyristor vận hành theo nữa chu kỳ theo góc mở (α), xác định bởi điểm vượt qua điểm không của điện áp.

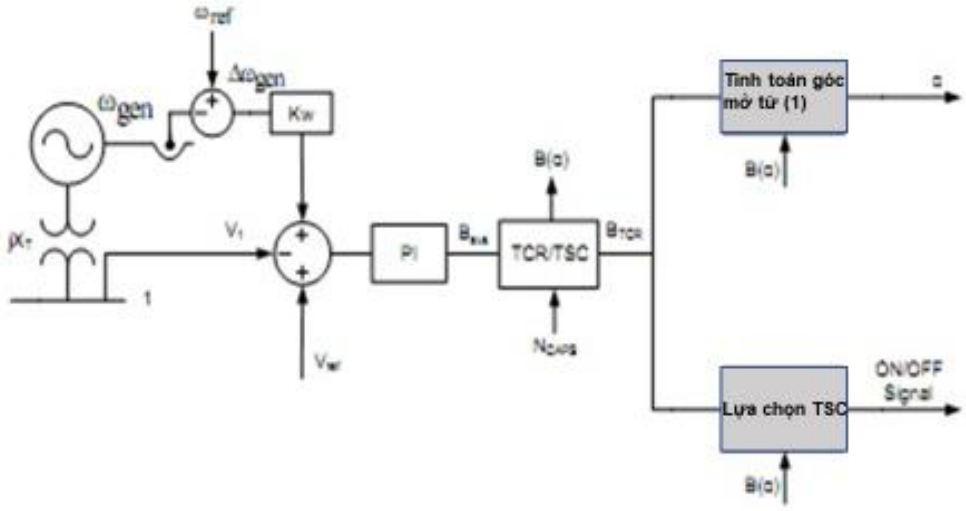
Hình 2 giới thiệu dạng dòng điện chạy qua TCR trong các trường hợp α=90^0, 120^0, 135^0. Độ dẫn toàn phần của thyristor đạt được khi α =90^0 và khi α thay đổi từ 90^0 đến 180^0, các thyristor dẫn một phần.

2.2. Ứng dụng SVC để giảm thiểu tác động của SSR

Sử dụng SVC để giảm thiểu tác động của hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ SSR đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu. Thiết bị SVC được sử dụng có thể là TCR và FC (fixed capacitor) hoặc TCR và các bộ TSC [7]. Lúc này, tín hiệu điều khiển SVC không phải chỉ là độ lệch điện áp như thông thường, khi chức năng chủ yếu của nó là điều chỉnh nhanh điện áp tại nút kết nối. Trong tài liệu [8], tác giả chỉ sử dụng tín hiệu đầu vào bộ điều khiển SVC là độ lệch mômen xoắn tác động lên trục tua bin. Ưu điểm của bộ điều khiển này là tác động nhanh khi có sự cố cộng hưởng SSR. Tuy nhiên, nó lại không tác động khi có hiện tượng sụt áp hoặc tăng áp, làm mất đi vai trò cơ bản vốn có của SVC là điều chỉnh điện áp.

Trong nghiên cứu trong bài báo này, tác giả sử dụng cả độ lệch điện áp ΔV (tức là điện

áp tức thời so với điện áp cơ bản) và độ lệch $\Delta\omega_{gen}$ (độ lệnh tốc độ roto máy phát so với tốc độ cơ bản) làm tín hiệu đầu vào của bộ điều khiển SVC. Đầu ra của bộ điều khiển này là các tín hiệu đóng mở các các tụ điện TSC và góc mở α của thyristor của bộ TCR. Sơ đồ điều khiển của bộ điều khiển SVC được đưa ra trong hình 3.



Hình 3. *Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển SVC.*

Giá trị điện cảm của TCR theo góc mở α được xác định như sau:

$$B_{\alpha} = \frac{1}{X_L}(1 - \boldsymbol{\alpha} - \frac{sin(\pi\boldsymbol{\alpha})}{\pi}) \quad (1)$$

Tổng kháng của thiết bị SVC theo góc mở α của thyristor được tính theo công thức sau:

$$X_{SVC}(\boldsymbol{\alpha}) = \frac{\pi X_L X_C}{X_C[2(\pi - \boldsymbol{\alpha}) + 2\,sin(2\boldsymbol{\alpha})] - \pi X_L} \quad (2)$$

Như đã chỉ ra trên sơ đồ hình 3, độ lêch điện áp và tốc độ được đưa bộ điều khiển PI và chúng được dùng để tính toán giá trị điện cảm B_{svc}. Sau đấy, giá trị B_{svc} được chọn làm tín hiệu đầu vào của các đường đặc tính phi tuyến của các bộ TCR/TSC để tính ra giá trị B_{TCR}. Từ giá trị B_{TCR} này, chúng ta có thể xác định được góc mở α theo (1) và tín hiệu đóng/mở TSC theo (1) và (2).

Nguyên lý điều khiển khi có sự cố SSR là dựa trên nguyên tắc thay đổi cấu trúc của lưới điện để tạo ra được các thông số hãm từ phía lưới điện. Đơn giản hơn có thể hiểu là điều khiển SVC hoạt động ở chế độ tiêu thụ công suất để giảm dòng điện truyền từ hệ thống về máy phát khi có SSR.

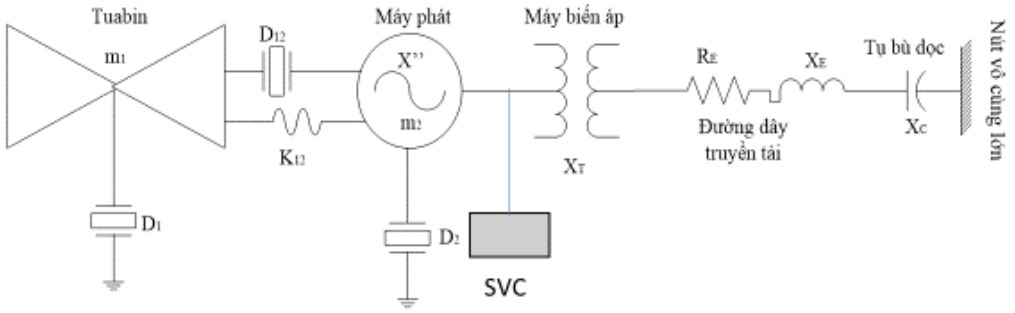
3. MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ SVC TRONG GIẢM THIỂU TÁC ĐỘNG CỦA SSR

3.1. Sơ đồ nghiên cứu

Sơ đồ nghiên cứu được đưa ra như hình 4. Đây là mô hình dựa trên các mô hình chuẩn của IEEE xây dựng [9, 10]. Mô hình gồm một máy phát tuabin hơi kết nối với hệ thống điện qua máy biến áp và đường dây truyền tải. Trên đường dây truyền tải có đặt hệ thống tụ bù dọc. Dung lượng bù có thể thay đổi được theo kịch bản mô phỏng.

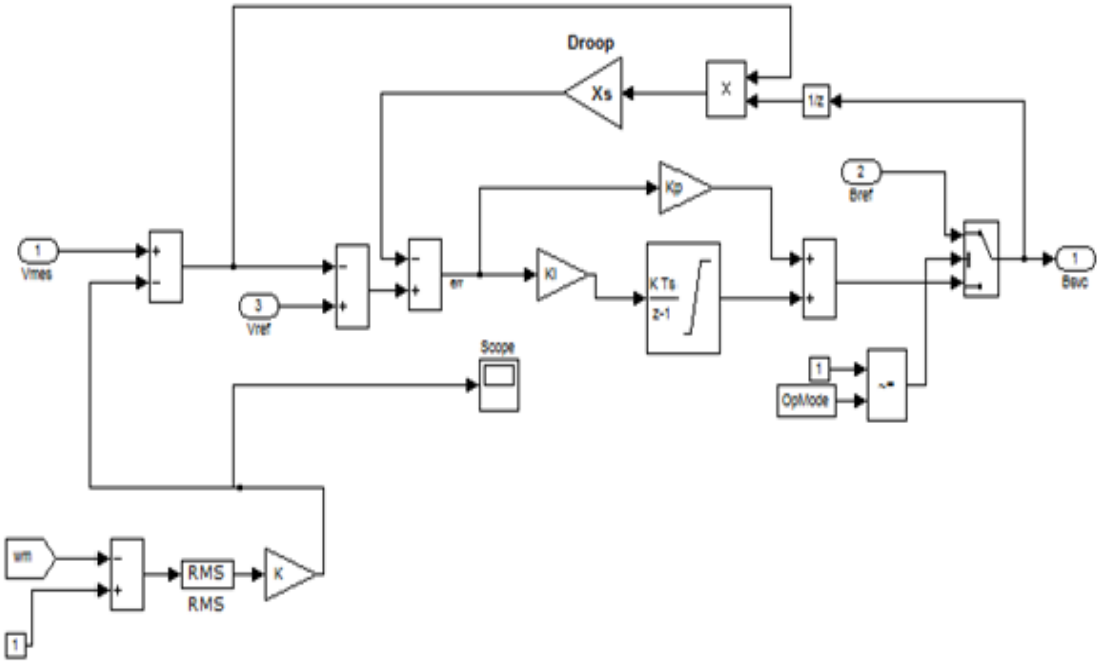
Với thông số lấy từ tài liệu [9, 10], dung lượng bù 55%, ta có: $f_e = f_s\sqrt{\frac{X_C}{X_L+X_T+X_{SYS}}} =$ 34,9Hz, do vậy, tần số dưới đồng bộ: f_{SUB}=fs-f_e=25,09Hz,

Mặt khác, dao động tự nhiên của hệ cơ có các tần số gây mất ổn định là: 24,65 Hz; 32,39 Hz và 51,1Hz. Như vậy, giá trị bù 55% có thể gây ra hiện tượng SSR trong hệ thống điện.



Hình 4. *Mô hình nghiên cứu theo chuẩn IEEE.*

Để giản lược tiến trình nghiên cứu, tác giả bỏ qua hệ thống kích từ trong mô hình tuabin-máy phát. Như vậy, hệ thống cơ chỉ còn ba khối : roto máy phát, khối LP (low pressure) và khối HP (high pressure). Việc giản lược này không có ảnh hưởng gì đến kết quả nghiên cứu về SSR. Vì khi không có khối kích từ, sự cố SSR có thể trầm trọng hơn do quán tính của hệ bị giảm đi.



Hình 5. *Mô hình điều khiển SVC.*

Dựa trên các phân tích đánh giá phần 2, tác giả đề xuất bộ điều khiển SVC phục vụ cho việc giảm thiểu tác động của SSR như hình 5 [11, 12].

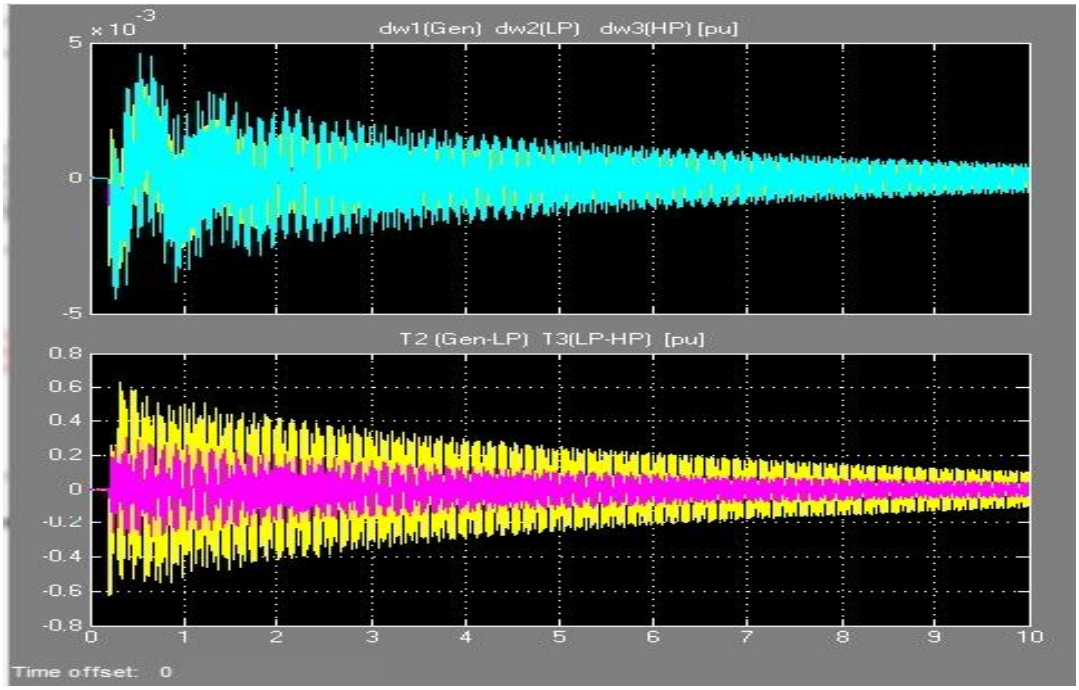
Với bộ điều khiển này, SVC vẫn có thể đảm bảo chức năng điều chỉnh điện áp (SVC hoạt động theo tín hiệu ΔV, trong khi đó, $\Delta\omega_{gen} = 0$ vì lúc này, tốc độ quay của roto không sai khác nhiều so với giá trị chuẩn) và cũng có khả năng dập tắt sự cố SSR (lúc này, SVC hoạt động chủ yếu theo giá trị $\Delta\omega_{gen}$, trong khi đó, ΔV=0 tại những thời điểm bản đầu sau khi xảy ra SSR). Thiết bị bù SVC trong mô hình nghiên cứu bao gồm một TCR và ba TSC.

3.2. Mô hình mô phỏng trong Matlab/Simulink

Kịch bản nghiên cứu: Tại thời điểm 0,2s thì xảy ra ngắn mạch 3 pha tại thanh cái phía hệ thống điện. Sự cố ngắn mạch được giả thiết là chỉ diễn ra trong 0,09s. Để chứng minh sự xuất hiện của SSR và áp dụng thiết bị SVC để giảm thiểu hiện tượng SSR, tác giả đưa ra các kịch bản nghiên cứu tiếp theo như sau:

- Trong trường hợp X_C/X_L=0% (Không có bù).
- Trong trường hợp X_C/X_L=30%.
- Trong trường hợp X_C/X_L=55%.
- Áp dụng thiết bị bù SVC để giảm thiểu hiện tượng SSR: Để đánh giá SSR, tác giả sẽ trình bày các mô-men xoắn T sinh ra trên các đoạn trục nối giữa các tầng tuabin và giữa tuabin với máy phát. Cụ thể ở trường hợp này là mô-men xoắn giữa HP và LP, giữa LP và roto.

- **Trường hợp 1: Khi không có tụ bù trên đường dây (X_C/X_L=0%).**

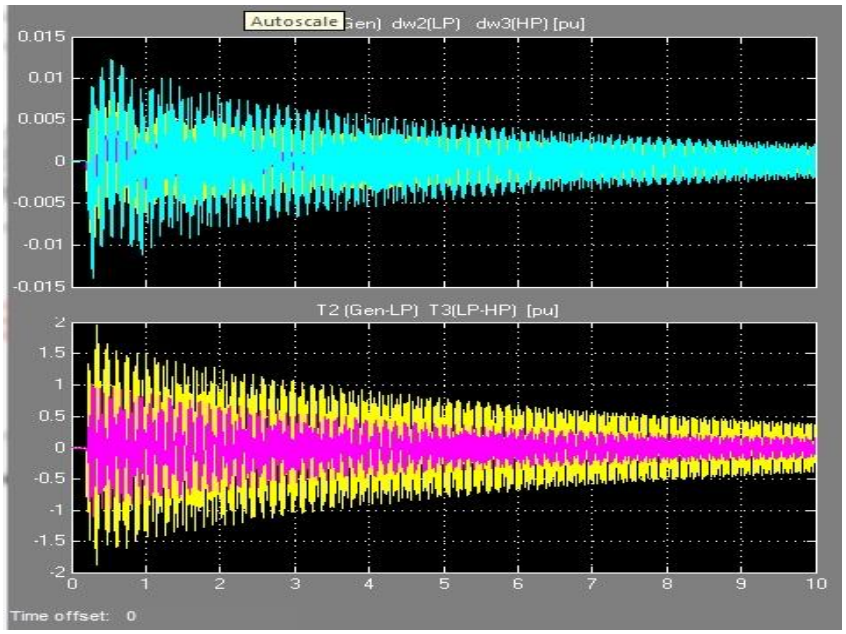


Hình 6. *Gia tốc trên các khối Tuabin và mômen xoắn khi không có tụ bù dọc*

Kết quả mô phỏng cho thấy, trong trường hợp có kích thích (sự cố ngắn mạch) mà không có bù trên đường dây: Các mômen xoắn (T2, T3) cũng tăng lên (hình 6). Tuy nhiên, các giá trị này không tăng đột biến (đạt giá trị 0,6pu) và sau đó giảm dần, nên sẽ không phá vỡ kết cấu các trục tubin.

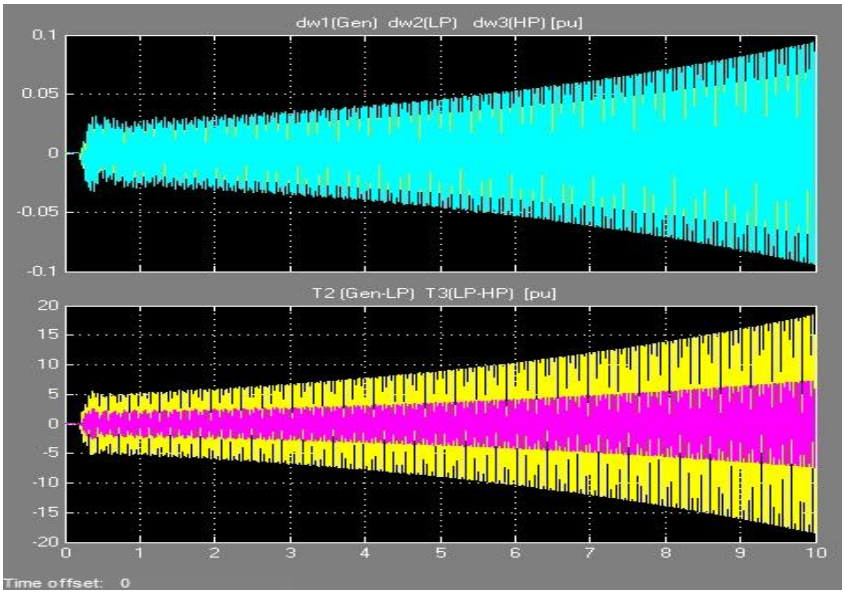
- **Trường hợp 2: Khi có tụ bù trên đường dây và tỉ lệ X_C/X_L=30%.**

Kết quả mô phỏng cho thấy, trong trường hợp có kích thích (sự cố ngắn mạch) mà không có bù trên đường dây: Các mômen xoắn (T2, T3) cũng tăng lên (hình 7). Tuy nhiên, các giá trị này không tăng đột biến (đạt giá trị 1,5pu) và sau đó giảm dần.



Hình 7. *Gia tốc trên các khối Tuabin và mômen xoắn khi tỉ lệ X_C/X_L=30%.*

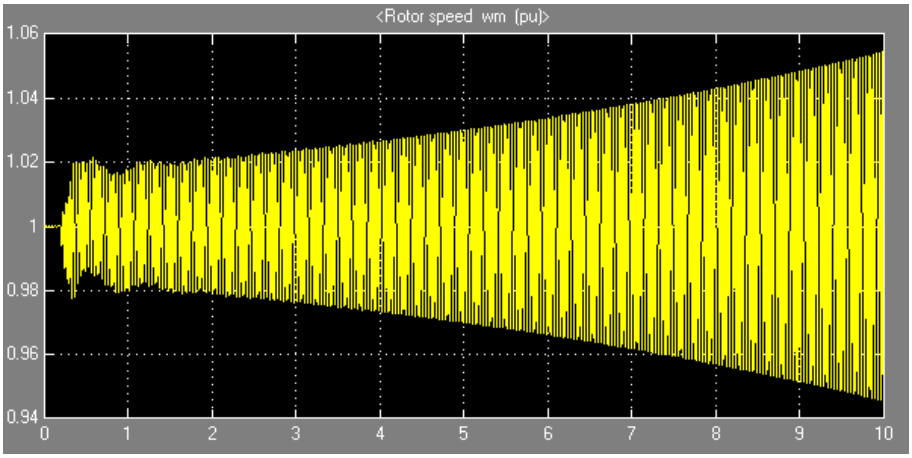
- **Trường hợp 3: Khi có tụ bù trên đường dây và tỉ lệ XC /XL =55%.**



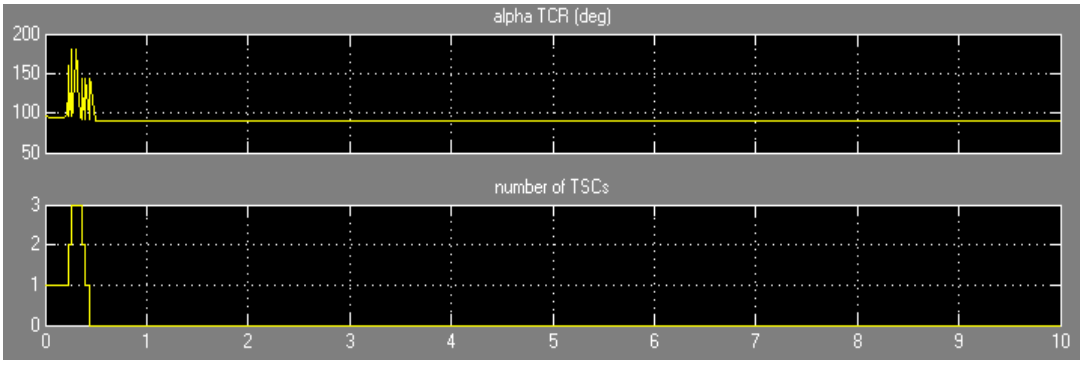
Hình 8. *Gia tốc trên các khối Tuabin và mômen xoắn khi tỉ lệ X_C/X_L=55%.*

Kết quả mô phỏng trên hình 8 cho thấy, khi khi xảy ra hiện tượng ngắn mạch 3 pha phía đường dây hệ thống, các mô men xoắn (T2, T3) dao động tăng dần với cường độ rất lớn (đạt gần 20 pu). Hiện tượng SSR xảy ra và sẽ có thể phá vỡ kết cấu các trục tubin. Yêu cầu đặt ra là phải nhanh chóng tác động làm giảm mô-men xoắn, để các trục tuabin không bị phá hủy. Giải quyết vấn đề này đôi khi còn quan trọng và cấp thiết hơn bài toán ổn định hệ thống điện do thời gian là rất ngắn. Bộ điều khiển SVC sẽ được áp dụng để thay đổi thông số lưới điện, dẫn đến thay đổi tần số tự nhiên của hệ thống và loại trừ sự cố SSR.

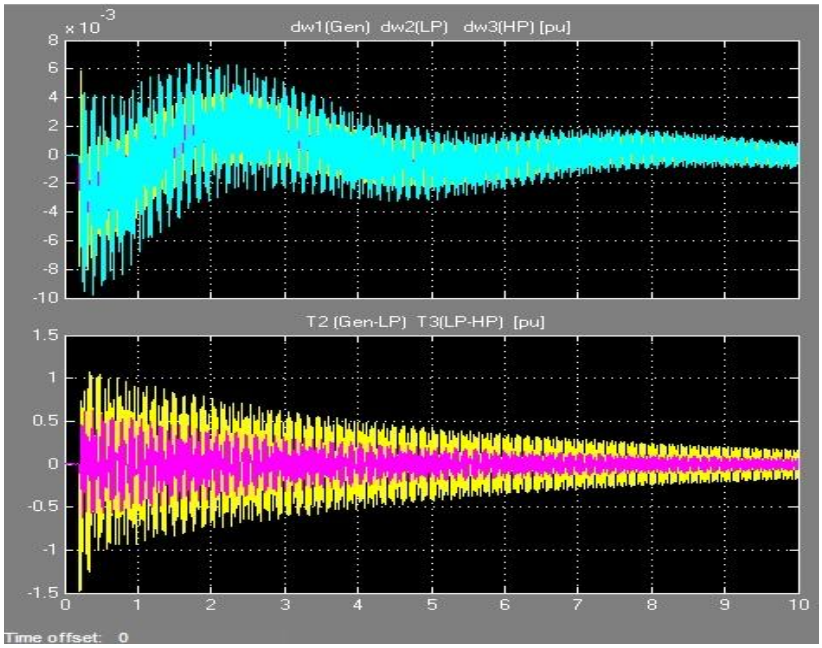
3.3. Áp dụng thiết bị bù SVC để giảm thiểu hiện tượng SSR khi bù 55% (X_C/X_L=55%)



Hình 9. *Tốc độ quay của roto khi không có SVC (bù 55%).*



Hình 10. *Góc mở anpha và số lượng TSC của SVC (bù 55%).*



Hình 11. *Gia tốc trên các khối Tuabin và mômen xoắn khi có thiết bị bù SVC.*

Kết quả mô phỏng ở hình 10 và hình 11 cho thấy, khi có một kích thích tác động vào hệ thống: Các mô men xoắn (T2, T3) dao động nhưng sau đấy cường độ giảm dần. Trong khoảng thời gian mô phỏng 10s, các mô-men giảm về giá trị dưới 0,2 pu. Trong khi đó, ở trường hợp không có SVC tác động, momen xoắn đã đạt giá trị rất lớn (gần 20 pu).

4. KẾT LUẬN

Hiện tượng cộng hưởng cơ điện ở tần số dưới đồng bộ SSR (Subsynchronous Resonance) là sự cố nguy hiểm trong hệ thống điện. Hiện tượng này có thể phá hủy các nhà máy điện, làm mất ổn định hệ thống, ảnh hưởng đến an ninh chính trị quốc gia. Trong phạm vi của nghiên cứu này, tác giả đã trình bày phương pháp áp dụng thiết bị bù linh hoạt SVC để ngăn ngừa sự cố SSR. Bộ điều khiển tích hợp đã được thiết kế với đa mục tiêu, vừa điều khiển điện áp theo mục đích truyền thống của SVC và vừa điều khiển để ngăn ngừa SSR. Các kết quả mô phỏng trong công cụ Matlab/Simulink đã minh chứng được tính đúng đắn của phương pháp: Các mô-men xoắn trục có xu hướng tắt dần, hệ thống không bị cộng hưởng và hoạt động ổn định. Tuy nhiên, các ví dụ áp dụng chỉ mới dừng lại ở các lưới điện chuẩn IEEE, các tính toán áp dụng cho lưới điện thực tế cần được đầu tư và phát triển trong thời gian tới.

Lời cảm ơn: *Tác giả cảm ơn sự hỗ trợ mô phỏng, tính toán của học viên Nguyễn Đức Hùng (trường ĐHBK Hà Nội).*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. D.N.Walker, C.E Bowler, R.L Jackson and D.A Hodges, "*Results of subsynchronous resonance test at Mohave*", IEEE Transactions on PAS, (1975), pp. 1878- 1889.

[2]. Phạm Văn Kiên, Ngô Văn Dưỡng, Lê Kim Hùng, Lê Đình Dương, *"Nghiên cứu xây dựng chương trình đánh giá ổn định cho hệ thống điện 500kV Việt Nam có xét đến các yếu tố bất định của phụ tải"*, Tạp chí KH&CN-Đại học Đà Nẵng, (2018), trang 38-42.

[3]. Lê Đức Tùng, *"Mô phỏng các mô hình chuẩn IEEE trong ATP/EMTP phục vụ cho nghiên cứu hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ"*, Tạp chí Khoa học-Công nghệ các trường kỹ thuật, (2016), trang 1-5.

[4]. T.N. Minh, L.Đ. Tùng, N.H. Việt, N.T. Đức và L.G. Thi *"Xây dựng mô hình máy phát - turbine nhiệt điện trong Matlab phục vụ nghiên cứu cộng hưởng tần số dưới đồng bộ"*, Tạp chí KH&CN-Đại học Đà Nẵng, (2017), trang 61-65.

[5]. Lê Đức Tùng, *"Phương pháp trị riêng trong phân tích hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ. Áp dụng cho mô hình IEEE FIRST BENCHMARK"*, Tạp chí khoa học&công nghệ- Đại học Thái Nguyên, (2020), 6, trang 229-236.

[6]. T. V. Dinh, H. A. Nguyen, and C. Q. Le, "*Selection of Facts device to prevent Subsynchronous resonance at Vung Ang I, II Thermal Power Plants*," (in Vietnamese), DU Journal of Science and Technology, (2015), 7, pp. 71-75.

[7]. Y. Wan, M. A. A. Murad, M. Liu and F. Milano, *"Voltage Frequency Control Using SVC Devices Coupled With Voltage Dependent Loads,"* in IEEE Transactions on Power Systems, (2019), vol. 34, no. 2, pp. 1589-1597.

[8]. ZHANG Zhi-qiang and XIAO Xiang-ning, *"Analysis and Mitigation of SSR Based on SVC in Series Compensated System"*, 2009 International Conference on Energy and Environment Technology (2009).

[9]. IEEE SSR Task Foree, *"First Benchmark Model For Computer Simulation of Subsynchronous Resonance"*, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, (1977), 96(4), pp.1565-1572.

[10]. IEEE SSR Task Foree, *"Second Benchmark Model For Computer Simulation of*

Subsynchronous Resonance". IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, (1985), pp. 1057-1066.

[11]. Lã Văn Út, *"Phân tích và điều khiển ôn định hệ thống điện"*, Nhà xuất bản KH&KT, 2001.

[12]. Mohamed ABD-EL-AAL ABD-EL-REHIM, *"Contribution à l'étude de la résonance subsynchrone dans les systèmes d'énergie électrique simples ou multiple machines. Détermination d'un procédé de stabilisation du phénomène"*, Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), Juin 1982.

ABSTRACT

APPLICATION OF SVC DEVICES TO THE MITIGATION OF THE SUBSYNCHRONOUS RESONANCE IN POWER SYSTEM

An energy security plays an extremely important role in economic development as well as ensuring political stability and independent autonomy of the nation. The safe operation of power plants, ensuring the stability of the electricity system has a decisive factor to electricity energy security. In the paper, the method of applying SVC compensation device to the mitigation of the SSR problem in electrical power system is introduced. The control diagram, simulation model applied to IEEE standard grid are presented and its analysis and evaluation have proved the validity of the proposed method.

Keywords: Electrical and electronic engineering; Electrical engineering; Power system stability; Subsynchronous resonance; FACTS device.

Nhận bài ngày 16 tháng 6 năm 2020
Hoàn thiện ngày 23 tháng 6 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 03 tháng 8 năm 2020

Địa chỉ: Bộ môn Hệ thống điện, Viện Điện, Trường ĐHBK Hà Nội.
*Email: tung.leduc1@hust.edu.vn.