

LỰA CHỌN THIẾT BỊ FACTS NHẪM CHỐNG CỘNG HƯỞNG DƯỚI ĐỒNG BỘ CHO NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN VÙNG ÁNG I, II

SELECTION OF FACTS DEVICE TO PREVENT SUBSYNCHRONOUS RESONANCE AT VUNG ANG I, II THERMAL POWER PLANTS

Đinh Thành Việt¹, Nguyễn Hồng Anh², Lê Cao Quyền³, Trần Viết Thành³

¹Đại học Đà Nẵng; dtviet@dut.udn.vn

²Đại học Quy Nhơn; nhanh@qnu.edu.vn

³Công ty CP TVXD Điện 4; lecaoquyen@gmail.com; tranvietthanh90@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo nghiên cứu các dạng cộng hưởng dưới đồng bộ đồng thời cảnh báo khả năng xảy ra hiện tượng này bởi các tổ máy nhiệt điện cụm nhà máy điện Vũng Áng khi đưa vào vận hành trong các trường hợp sự cố dao động trên hệ thống vào các năm 2015 và 2020. Từ những cảnh báo này, bài báo đề xuất các giải pháp để chống lại hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ bởi các thiết bị FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System), so sánh các phương án về phương diện kỹ thuật lẫn kinh tế để lựa chọn thiết bị nhằm giảm thiệt hại do hư hỏng mà cộng hưởng gây nên, đồng thời nâng cao sự ổn định của hệ thống điện. Phần mềm EMTP-RV được sử dụng để mô hình hóa các phần tử trong hệ thống điện, phân tích các sự cố nguy hiểm thông qua các dạng sóng quá độ mô men của trục liên kết giữa các khối tuốc bin, dao động công suất của máy phát cũng như lựa chọn thiết bị tối ưu.

Từ khóa - cộng hưởng dưới đồng bộ; quá độ; máy phát; FACTS; thiết bị.

1. Đặt vấn đề

Sử dụng tụ bù dọc là một giải pháp đơn giản và tối ưu trong quá trình vận hành và truyền tải điện xoay chiều nhằm nâng cao sự ổn định hệ thống, đồng thời tăng khả năng tải của đường dây... [5]. Tuy nhiên, các máy phát có thể gặp sự cố hư hỏng trực tiếp tuốc bin, gián tiếp gây nên mất ổn định hệ thống khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ (Subsynchronous Resonance - SSR) do tụ bù dọc gây nên. Vì vậy, với các nhà máy điện (NMD) khi hòa vào hệ thống cần phân tích và kiểm tra để tránh các trường hợp sự cố, thiệt hại không đáng có. Đối với hệ thống điện Việt Nam, dự kiến sẽ đưa (NMD) Vũng Áng I vào vận hành 2 tổ máy giai đoạn 2014, 2015 và Vũng Áng II năm 2020 [1]. Để hạn chế những thiệt hại có thể xảy ra do hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ khi vận hành nhà máy, bài báo thực hiện phân tích trường hợp nguy hiểm trong các năm 2015, 2020 và so sánh những giải pháp nhằm chọn ra phương án tối ưu nhất.

2. Cấu trúc tuốc bin và các dạng cộng hưởng

Tuốc bin máy phát có một vài cơ cấu quay tương ứng với các cấp khác nhau của tuốc bin hơi, máy phát và bộ kích thích quay (nếu có). Các cơ cấu này không được nối cứng với nhau và làm việc như các lò xo. Đó là khi một mô men bên ngoài tác động lên đầu cuối của trục thì nó sẽ trượt [2]. Momen xoắn truyền thẳng trên trục tỷ lệ với sự lệch vị trí góc pha của trục ở hai đầu (Hình 2).

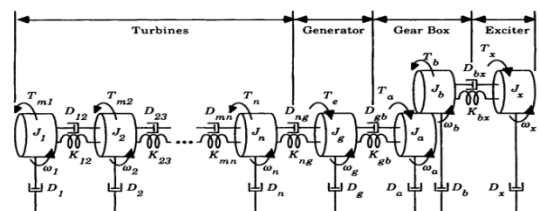
Hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ (SSR) xuất hiện dưới hai dạng như sau [3]:

1. Tự kích thích (Self Excitation) (SSR ở trạng thái ổn định).

Abstract - This paper investigates types of subsynchronous resonance and conducts warnings of subsynchronous resonance phenomenon by thermal units of Vung Ang thermal power plants during its operation in case of power swings for power system in 2015 and 2020. From these warnings, the paper provides solutions to subsynchronous resonance phenomenon by FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) devices and compares cases technically and economically to reduce damage caused by resonance and improve stability of power system. EMTP-RV software has been used to model elements of power system, analyze dangerous incidents via transient waveforms of turbine shaft torque, power swing of generator units and select equipment optimally.

Key words - subsynchronous resonance; transient; generator; FACTS; equipment.

2. Mô men xoắn quá độ (Transient torques) (SSR ở trạng thái quá độ).



Hình 1. Cấu trúc "spring-mass" của hệ thống trục tuốc bin máy phát

2.1. Tự kích thích

Dòng tuần hoàn dưới đồng bộ đi vào các cực máy phát tạo ra thành phần điện áp đầu cực dưới đồng bộ. Thành phần điện áp này có thể duy trì các dòng điện tạo sự ảnh hưởng trong máy phát, gọi là hiện tượng tự kích thích. Có hai loại tự kích thích: (1) điện động rôto và (2) cơ điện động rôto liên quan đến các hiện tượng tương ứng là sự ảnh hưởng cảm ứng trên máy phát và tác động xoắn [4].

2.1.1. Sự ảnh hưởng cảm ứng trên máy phát (Induction Generator Effect)

Khi sức từ động quay tạo ra bởi dòng cảm ứng dưới tần số đồng bộ chuyển động chậm hơn tốc độ quay của rôto, điện trở của rôto (ở tần số dưới tần số đồng bộ) nhìn từ đầu cực phản ứng là điện trở âm. Khi biên độ của điện trở âm này vượt quá tổng giá trị điện trở của phần ứng và hệ thống tại tần số cộng hưởng thì gọi là sự tự kích thích.

2.1.2. Tác động xoắn (Torsional Interaction)

Sự dao động của rôto máy phát tại một tần số xoắn f_m

sinh ra một thành phần điện áp cảm ứng ở tần số f_{em} xác định bởi công thức:

$$f_{em} = f_0 \pm f_m$$

Khi f_{em} đạt đến gần giá trị f_{er} mô men xoắn dưới đồng bộ tạo ra thành phần điện áp dưới đồng bộ có thể được duy trì. Sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa hệ thống điện và hệ thống cơ này được xem là tác động xoắn.

Sự tác động xoắn có thể được xem như việc đưa vào điện trở âm trên phần ứng máy phát khi nhìn từ phía đầu cực. Sự ảnh hưởng này quan trọng hơn khi so sánh với ảnh hưởng cảm ứng trên máy phát.

Theo [1], tần số cộng hưởng được tính như sau:

$$f_{er} = f_0 \sqrt{\frac{X_C}{X'' + X_T + X_E}}$$

Trong đó:

X'' : Điện kháng siêu quá độ của máy phát;

X_T : Điện kháng của máy biến áp;

$R_e + jX_e$: tổng trở đường dây;

X_C : Điện dung tụ bù dọc;

f_0 : Tần số điện công nghiệp.

2.2. Momen xoắn quá độ

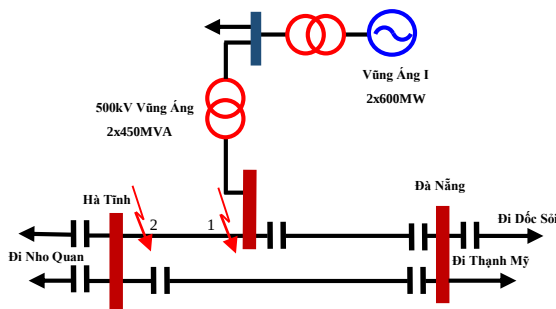
Momen xoắn quá độ được sinh ra từ các nhiễu loạn của hệ thống. Nhiễu loạn là các trường hợp sự cố hay những thay đổi đột ngột trong mạng điện, kết quả của sự nhiễu loạn có thể kích thích momen xoắn trên rôto máy phát. Khi xuất hiện momen xoắn quá độ có biên độ lớn gây môi trục tước bin, làm giảm tuổi thọ của thiết bị. Quá trình môi sẽ được tích lũy lâu ngày, khi các trường hợp trên diễn ra. Độ môi tích lũy sẽ đạt đến ngưỡng và khả năng hình thành các vết nứt dẫn đến phá hỏng và gây trục tước bin, không có khả năng phục hồi.

3. Khảo sát vấn đề và kết quả

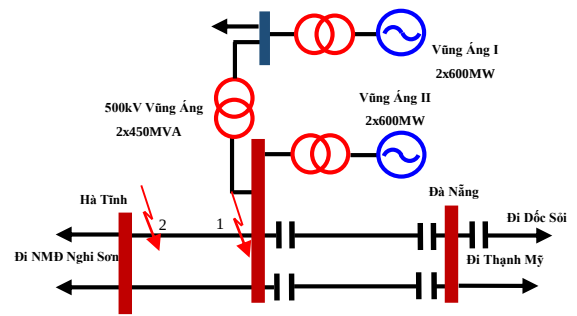
Bài báo mô hình hóa hệ thống lưới điện 500kV, 220kV Việt Nam năm 2015, 2020 bằng chương trình EMTP-RV. Các thông số NMD than điển hình 600MW được xây dựng theo các đặc tính cơ, điện. Mô phỏng sự cố 3 pha chạm đất (Hình 2, 3) trên đường dây 500kV Hà Tĩnh-Vũng Áng với 2 trường hợp sau:

+ Trường hợp 1: Điểm sự cố gần trạm biến áp 500kV Vũng Áng.

+ Trường hợp 2: Điểm sự cố gần trạm biến áp 500kV Hà Tĩnh.

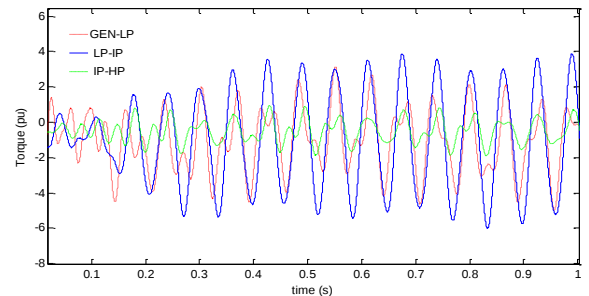


Hình 2. Sơ đồ đầu nối và vị trí sự cố năm 2015

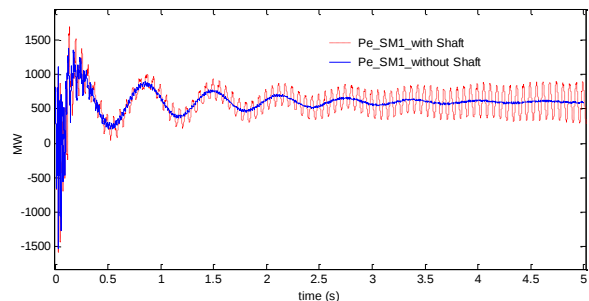


Hình 3. Sơ đồ đầu nối và vị trí sự cố năm 2020

Các kết quả mô phỏng được trình bày ở các Hình 4-11.



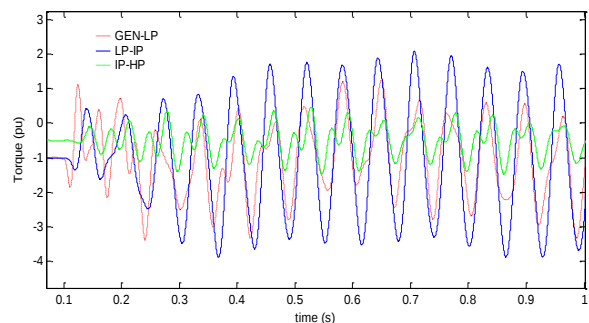
Hình 4. Dao động momen giữa các trục kết nối các khối tước bin máy phát NMD Vũng Áng I. Trường hợp 1- năm 2015



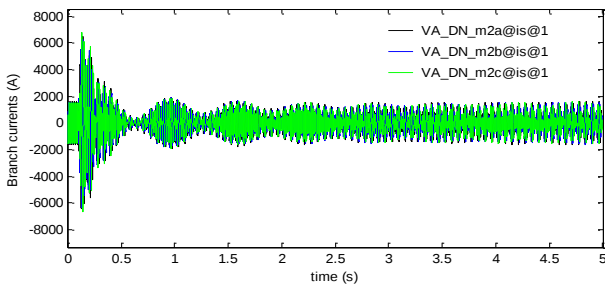
Hình 5. Dao động công suất ra máy phát với 2 trường hợp máy phát có/ không xét momen xoắn của trục tước bin NMD Vũng Áng I. Trường hợp 1- năm 2015

Ở Hình 4 trục kết nối giữa khối áp suất thấp (LP) và khối áp suất trung (IP) xuất hiện momen giá trị khoảng 5pu. Biên độ của momen trên trục kết nối giữa máy phát (GEN) và khối áp suất thấp có giá trị khoảng 4pu ở 1s.

Theo Hình 5, khi không xét đến sự hư hỏng do momen xoắn giữa các khối áp suất thì sự dao động công suất của máy phát sẽ trở về trạng thái ổn định sau 2.5s.



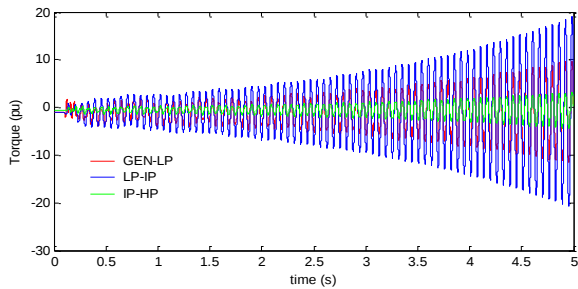
Hình 6. Dao động momen giữa các trục kết nối các khối tước bin máy phát NMD Vũng Áng I. Trường hợp 2- năm 2015



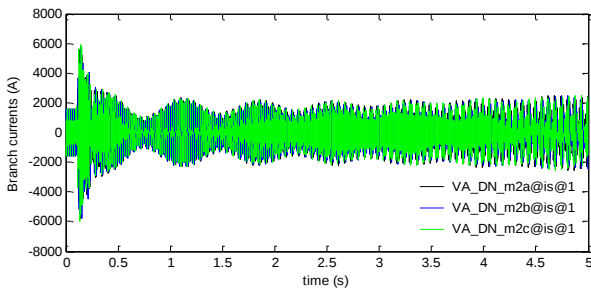
Hình 7. Dòng điện qua máy cắt 500kV đường dây
Vũng Áng-Đà Nẵng. Trường hợp 2- năm 2015

Biên độ momen xoắn giữa trục liên kết LP-IP xét ở 1s khoảng 3pu, tuy nhỏ hơn so với trường hợp 1 nhưng xu hướng tăng dần theo thời gian (Hình 6). Dòng điện trên đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng dao động tăng dần theo thời gian vì xảy ra sự cộng hưởng dưới đồng bộ tại các tổ máy Vũng Áng.

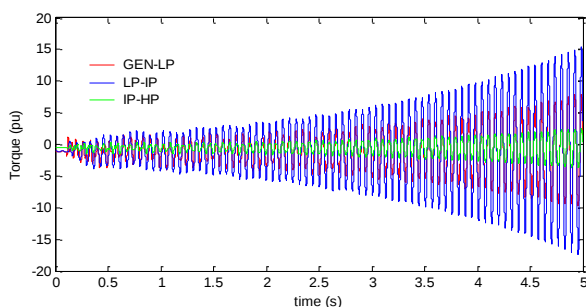
Giai đoạn năm 2020, với sự cố trong trường hợp 1, 2, hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ của 2 tổ máy phát Vũng Áng I, II vẫn xuất hiện. Với 2 tổ máy phát Vũng Áng II có đầu nối trực tiếp ở lưới 500kV, đối với trường hợp 1, biên độ momen xoắn giữa trục liên kết LP-IP xét ở 1s khoảng 5pu và đến khoảng 20pu ở 5s.



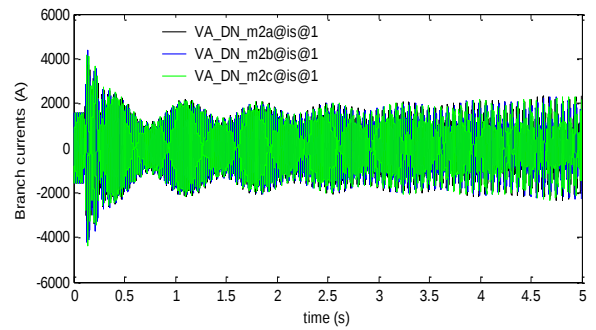
Hình 8. Dao động momen giữa các trục kết nối các khối tuốc bin máy phát NMD Vũng Áng II. Trường hợp 1- năm 2020



Hình 9. Dòng điện qua máy cắt 500kV
đường Vũng Áng-Đà Nẵng. Trường hợp 1- năm 2020



Hình 10. Dao động momen giữa các trục kết nối các khối tuốc bin máy phát. Trường hợp 2- năm 2020



Hình 11. Dòng điện qua máy cắt 500kV đường dây Vũng Áng-
Đà Nẵng. Trường hợp 2- năm 2020

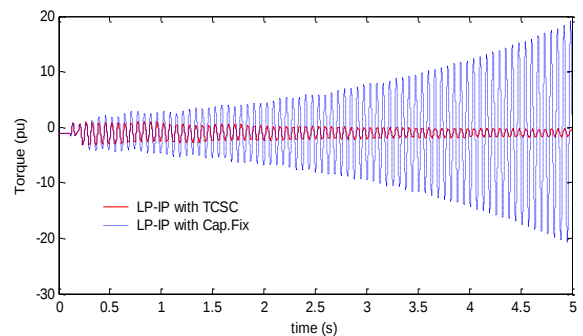
Đối với trường hợp 2, biên độ momen xoắn giữa trục liên kết LP-IP nhỏ hơn trường hợp 1 và khoảng 15pu ở 5s.

Với những kết quả mô phỏng như trên có thể nhận thấy trong năm 2015 hiện tượng SSR đã xuất hiện trên hệ thống do sự trao đổi năng lượng giữa các tổ máy phát cụm nhiệt điện Vũng Áng và đàn tụ bù dọc cố định trang bị trên các cung đường dây Hà Tĩnh – Nho Quan và Nho Quan – Đà Nẵng. Ở năm 2020, trạm biến áp 500kV Nghi Sơn đi vào vận hành với việc đấu nối transit trên 2 mạch đường dây 500kV Nho Quan - Hà Tĩnh, sẽ không còn duy trì các đàn tụ bù 21.5 ohm ở Nho Quan và Hà Tĩnh. Nhưng hiện tượng SSR ở các NMD Vũng Áng I, II vẫn xảy ra do ảnh hưởng bởi các đàn tụ bù dọc 30 ohm đường dây 500kV Vũng Áng - Đà Nẵng.

4. Giải pháp chống cộng hưởng dưới đồng bộ cho NMD Vũng Áng

4.1. Ứng dụng TCSC trên lưới 500kV

Các đàn tụ bù 30 ohm-2000A trên mạch đường dây 500kV Vũng Áng - Đà Nẵng được thay thế bằng một đàn TCSC 60 ohm lắp đặt tại Đà Nẵng. Mô phỏng loại trừ sự cố 3 pha chạm đất như trường hợp 1, 2 như ở trên với năm khảo sát là 2020.



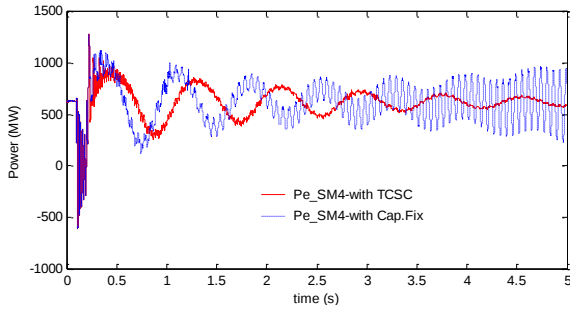
Hình 12. Dao động momen giữa trục kết nối LP-IP của NMD
Vũng Áng II với 2 trường hợp sử dụng TCSC và dùng tụ cố định
cho đường dây 500kV Vũng Áng - Đà Nẵng-Trường hợp 1

Khi sử dụng tụ bù dọc cố định, biên độ dao động xoắn khoảng 20pu ở 5s, trong khi đó khi sử dụng TCSC, giá trị này khoảng 0,6pu và khuynh hướng giảm dần theo thời gian.

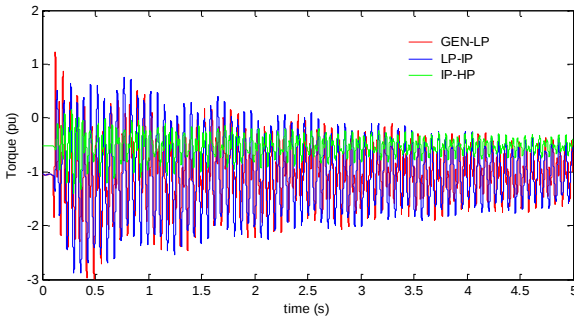
Theo Hình 13 có thể nhận thấy sự dao động công suất của các tổ máy phát đi về trạng thái ổn định sau khoảng 3s khi sử dụng thiết bị TCSC. Ngược lại thì sự dao động có xu hướng tăng dần theo thời gian, khi chưa ứng dụng giải pháp TCSC.

Theo Hình 14 kết quả cho thấy TCSC góp phần làm giảm dao động xoắn của trục tuốc bin, đảm bảo không gây

ra hiện tượng gãy trực, khi sử dụng thiết bị này lắp đặt trên đường dây Vũng Áng – Đà Nẵng.



Hình 13. Dao động công suất phát tổ máy 1 Vũng Áng II với 2 trường hợp sử dụng TCSC và dùng tụ cố định cho đường dây 500kV Vũng Áng – Đà Nẵng - Trường hợp 1



Hình 14. Dao động momen giữa các trục kết nối các khối tuabin máy phát Vũng Áng II khi lắp TCSC cho đường dây 500kV Vũng Áng - Đà Nẵng - Trường hợp 2

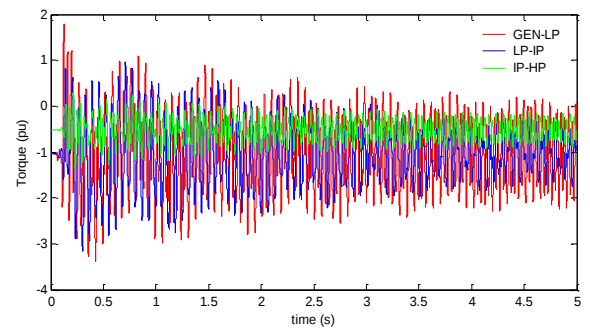
4.2. Ứng dụng SVC trên lưới 500kV



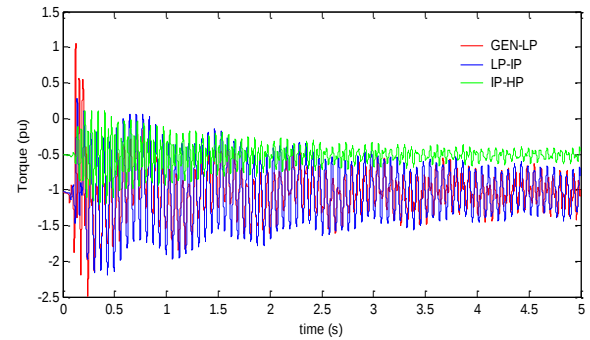
Hình 15. Vị trí dự kiến lắp đặt trạm SVC

Đối với việc sử dụng SVC xem xét xây dựng trạm SVC lắp đặt giữa đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng khu vực tỉnh Quảng Trị. Các dàn tụ bù 30 ohm-2000A ở 2 đầu Vũng Áng và Đà Nẵng sẽ nối tắt hoặc thu hồi. Dung lượng SVC được tính toán sao cho lượng công suất truyền tải trên 2 mạch đường dây 500kV từ Vũng Áng đi Đà Nẵng vẫn đảm bảo duy trì tương tự như trường hợp đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng có lắp tụ bù dọc (Hình 15).

Hình 16, 17 trình bày momen xoắn trên trục tước bin máy phát Vũng Áng II khi sử dụng SVC lắp đặt trên đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng với kịch bản loại trừ sự cố 3 pha chạm đất trên đường dây Hà Tĩnh-Vũng Áng ở trường hợp 1 và trường hợp 2.

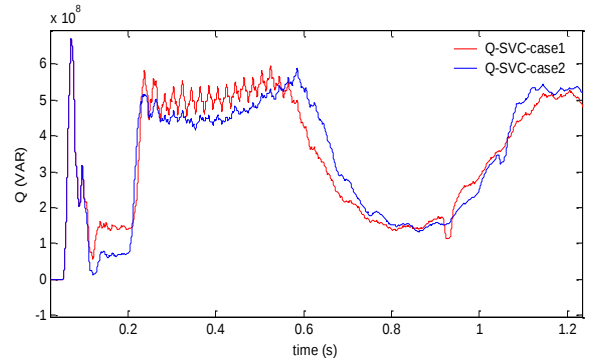


Hình 16. Dao động momen giữa các trục kết nối các khối tước bin máy phát Vũng Áng II. Trường hợp 1- năm 2020

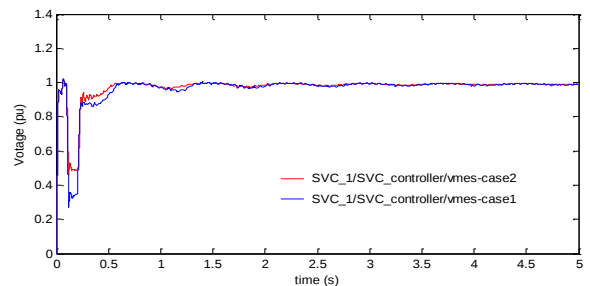


Hình 17. Dao động momen giữa các trục kết nối các khối tước bin máy phát Vũng Áng II. Trường hợp 2- năm 2020

Tính toán đến 5s, biên độ momen xoắn lớn nhất ghi nhận trên trục GEN-LP ở trường hợp 1 khoảng gần 1pu và ở trường hợp 2 ghi nhận trên trục LP-IP là 0.5pu. Biên độ này giảm dần theo thời gian. Như vậy, SVC trong trường hợp này đảm bảo khả năng dập tắt dao động xoắn trên trục tước bin sau thời gian quá độ.



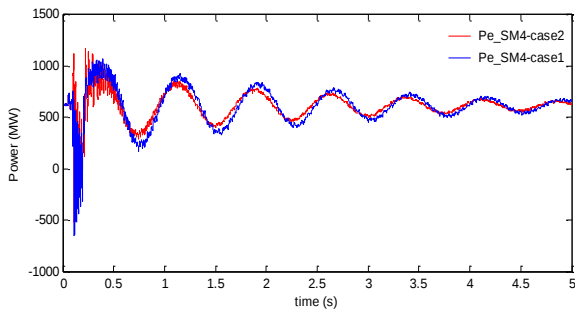
Hình 18. Dao động công suất phản kháng đẩy lên lưới 500kV của SVC cho 2 trường hợp loại trừ sự cố - năm 2020



Hình 19. Điện áp đo lường đầu vào của SVC cho 2 trường hợp loại trừ sự cố - năm 2020

Thực chất SVC này có nhiệm vụ hỗ trợ công suất phản kháng giữa đường dây, thay thế các tụ bù dọc trên 2 mạch

đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng, đảm bảo khả năng truyền tải trên 2 mạch đường dây 500kV này như đường dây có bù dọc. Do 2 mạch đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng không còn tụ bù dọc nên sẽ không có ảnh hưởng SSR cho các NMD Vũng Áng. Các kết quả mô phỏng sử dụng giải pháp SVC được trình bày ở các Hình 18-20.



Hình 20. Dao động công suất ra máy phát Vũng Áng II với 2 trường hợp sự cố -năm 2020

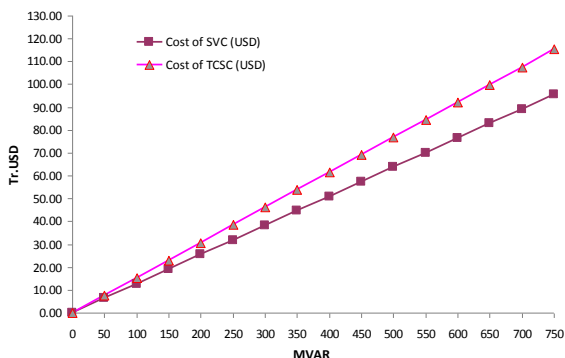
4.3. Lựa chọn phương án chống cộng hưởng dưới đồng bộ

Hai phương án tính toán dùng SVC và TCSC đều đảm bảo khả năng chống lại dao động cộng hưởng dưới đồng bộ của cụm NMD Vũng Áng I, II, do vậy việc lựa chọn phương án sẽ được xem xét trên phương diện kinh tế.

Theo [6], [7] chi phí cho thực hiện xây dựng SVC và TCSC với dung lượng S (MVar) được cho bởi các hàm sau:

$$0,0003 \cdot S^2 - 0,0351 \cdot S + 127,38 \text{ (US$/KVAR)} \quad (4-1)$$

$$0,0015 \cdot S^2 - 0,0713 \cdot S + 153,75 \text{ (US$/KVAR)} \quad (4-2)$$



Hình 21. Đường cong chi phí SVC và TCSC theo dung lượng

Lắp đặt 01 bộ TCSC-60 ohm-2000A tương ứng dung lượng 720MVar có chi phí khoảng 110.7 triệu USD. Lắp đặt 02 bộ TCSC cho 02 mạch đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng sẽ có tổng chi phí khoảng 221,4 triệu USD.

SVC dung lượng +500/-200MVar có chi phí khoảng 63,69 triệu USD. Xem xét xây dựng trạm 500kV SVC đầu nối đến 2 mạch đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng với khoảng cách 5km (suất đầu tư: 01 triệu USD/km). Trạm 500kV SVC Quảng Trị sẽ có số module 500kV là 09 (55 triệu USD). Tổng chi phí cho dự án SVC khoảng 63.69 + 55 + 10 = 128,9 triệu USD.

Như vậy, lắp đặt SVC sẽ có chi phí bằng 0,58 lần so với lắp đặt TCSC.

Ngoài ra mô hình điều khiển TCSC cho vấn đề chống lại SSR sẽ không dùng được cho mô hình điều khiển nâng cao ổn định hệ thống, mặc dù TCSC là thiết bị FACTS có khả năng duy trì ổn định hệ thống rất tốt và đây thường là nhiệm vụ chính của thiết bị này khi xem xét lắp đặt trên hệ thống.

Đối với SVC, ngoài chức năng chống lại SSR, SVC cũng góp phần nâng cao ổn định hệ thống. Bên cạnh đó, khả năng truyền tải trên lưới 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng sẽ được nâng đến khả năng phát nhiệt của đường dây 500kV là 2650A (so với trước đây khả năng này bị giới hạn bởi dòng tải định mức của các dàn tụ bù dọc 2000A).

Vì vậy, bài báo đề xuất lựa chọn SVC là giải pháp chống cộng hưởng dưới đồng bộ cho cụm NMD Vũng Áng.

5. Kết luận

Qua các kết quả phân tích nhận thấy khi có sự cố ở nhiều cung đường trên đường dây 500kV, sẽ dẫn đến xuất hiện SSR tại nhà máy nhiệt điện Vũng Áng do sự ảnh hưởng của các dàn tụ bù dọc. Bài báo này đưa ra cảnh báo vấn đề cộng hưởng xảy ra ở NMD Vũng Áng I, II cũng như đưa ra phương án sử dụng SVC để ngăn ngừa hiện tượng cộng hưởng này.

Việc lắp đặt Trạm 500kV SVC tại điểm giữa đường dây 500kV Vũng Áng-Đà Nẵng thay thế các dàn tụ bù dọc 30 ohm-2000A không những ngăn chặn hiện tượng cộng hưởng dưới đồng bộ gây gây trực các NMD Vũng Áng mà còn đảm bảo gia tăng công suất truyền tải tốt hơn cho lưới điện liên kết Bắc-Trung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Cao Quyền, Lê Quang Long, Nguyễn Đức Ninh, "Nghiên cứu giải pháp chống cộng hưởng dưới đồng bộ cho cụm nhà máy điện Vũng Áng khi đường dây 500kV Vũng Áng – Đà Nẵng có lắp tụ bù dọc", *Hội nghị khoa học và công nghệ điện lực toàn quốc 2014 trang: 147 – 156*, Năm 2014.
- [2] IEEE SSR Working Group, "Proposed Terms and Definitions for Subsynchronous Resonance," IEEE Symposium on Countermeasures for Subsynchronous Resonance, *IEEE Pub. 81TH0086-9-PWR*, 1981, p92-97.
- [3] Power system dynamics stability and control by K R PADIYAR, Second Editor, BS Publications, 2008.
- [4] "A Bibliography for the Study of Subsynchronous Resonance Between Rotating Machines and Power Systems", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-95, No. 1, pp. 216-218, Jan.-Feb. 1976.
- [5] Kilgore, L. A., D. G. Ramey, and W. H. South, "The Dynamic Filter and Other Solutions to the Subsynchronous Resonance Problem", *Proc. Am. Power Conf.*, 37, 1975, pp.923-929.
- [6] Srinivasa Rao Kamala, Kalyan Kumar Boddeti "Placement of FACTS for Improving Total Transfer Capability, Reducing System Loss with Minimum Investment Cost Using Particle Swarm Optimization", *International Electrical Engineering Journal (IEEJ)* Vol. 4 (2013) No. 2, pp. 1071-1078 ISSN 2078-2365.
- [7] A. Esmaili Dahej, S. Esmaili, A. Goroohi, "Optimal Allocation of SVC and TCSC for Improving Voltage Stability and Reducing Power System Losses using Hybrid Binary Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization", *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering* Vol. 3, No. 3, March 2012.