

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP CẢI TẠO HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG KÍCH TỪ CHO MÁY PHÁT ĐIỆN TẠI NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN HOÀ BÌNH

PROPOSED SOLUTION TO IMPROVE PERFORMANCE OF EXCITATION SYSTEM OF GENERATOR AT HOA BINH HYDRO-POWER PLANT

Nguyễn Ngọc Trung

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 25/11/2017, Ngày chấp nhận đăng: 26/2/2018, Phản biện: TS. Phạm Việt Phương

Tóm tắt:

Bài báo giới thiệu giải pháp nâng cao hiệu quả hoạt động của hệ thống kích từ cho máy phát điện tại Nhà máy thủy điện Hoà Bình bằng bộ ổn định hệ thống điện. Giải pháp đề xuất được mô phỏng bằng Matlab-Simulink. Kết quả mô phỏng chứng tỏ tính hiệu quả của giải pháp đề xuất.

Từ khóa:

Ổn định hệ thống điện, hệ thống kích từ, bộ ổn định hệ thống điện (PSS), bộ tự động điều chỉnh điện áp, mô hình hệ thống kích từ.

Abstract:

This paper presents a proposed solution to improve performance the excitation system of generators at Hoa Binh Power Plant using PSS4B. The proposed solution is examined in Matlab-Simulink environment. The results clearly proved the effectiveness of the proposed solution.

Key words:

Power system stability, excitation system, Power System Stabilizer (PSS), Automatic Voltage Regulator (AVR), Excitation system model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, hệ thống điện (HTĐ) ngày càng phát triển, mở rộng và phức tạp nên càng đòi hỏi tính ổn định và linh hoạt cao hơn, trong đó vai trò của tự động hóa trong HTĐ càng được đặc biệt chú ý phát triển để đảm bảo vận hành ổn định HTĐ, nâng cao chất lượng điện năng, trong đó ổn định điện áp là một trong những vấn đề chính mà ngành điện Việt Nam cũng như

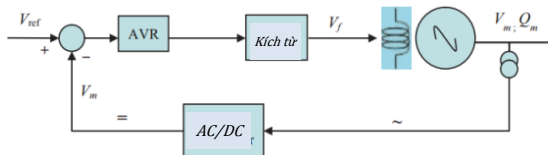
các nước phát triển trên thế giới quan tâm. Một sự cố tan rã HTĐ, trong đó việc mất ổn định hay sụp đổ điện áp là một trong những nguyên nhân chính và hậu quả của nó là vô cùng lớn khi xem xét dưới góc độ kinh tế và an ninh năng lượng. Vì vậy, để hạn chế thiệt hại do sự dao động điện áp thì cần phải trang bị hệ thống tự động ổn định điện áp cho các máy phát đồng bộ ba pha [1], [2].

Trong HTĐ của Việt Nam, Nhà máy Thủy điện Hòa Bình (NMTĐHB) là một công trình điện lực có quy mô lớn, có tính năng kỹ thuật phức tạp và hiện đại, bao gồm 8 tổ máy với tổng công suất đặt 1920 MW và giữ vai trò rất quan trọng trong việc điều chỉnh tần số cũng như cung cấp một lượng công suất rất lớn cho HTĐ. Bài báo này sẽ nghiên cứu và đề xuất giải pháp nhằm nâng cao ổn định điện áp cho máy phát điện tại Nhà máy Thủy điện Hoà Bình.

2. VẤN ĐỀ ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP CHO MÁY PHÁT ĐIỆN CỦA NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN HÒA BÌNH

Vấn đề ổn định điện áp phát ra của máy phát là vô cùng quan trọng. Dòng điện kích từ ngoài việc tạo từ trường cho rotor, còn có thể dùng để điều chỉnh điện áp (AVR) máy phát [3], [4]. Đặc tính của hệ thống (HT) kích từ và cấu trúc tự động điều khiển kích từ có ý nghĩa quyết định đối với chất lượng điện năng và tính ổn định của hệ thống [5].

Để có thể thay đổi trị số của dòng điện kích từ nhằm đáp ứng được các yêu cầu trên, cần phải có một bộ phận điều khiển bao gồm một vòng lặp điều khiển kín kết hợp với một bộ tự động điều chỉnh điện áp (AVR) [6], [7], [8] như hình 1.

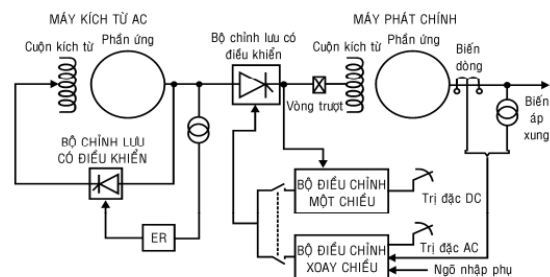


Hình 1. Sơ đồ khối vòng lặp KT MPĐ đồng bộ

Bài báo này tập trung nghiên cứu về HT kích từ xoay chiều có HT điều khiển.

2.1. Hệ thống kích từ

Các máy phát điện (MPĐ) của Nhà máy Thủy điện Hòa Bình (NMTĐHB) được trang bị hệ thống kích từ độc lập bằng cầu chỉnh lưu thyristor kiểu CTH-500-2000-3-5T4. HT kích từ của máy phát xoay chiều là tự kích, chỉnh lưu có điều khiển và sử dụng bộ điều chỉnh điện áp tĩnh độc lập để duy trì điện áp ở ngõ ra.



Hình 2. HT kích từ cho MPĐ của NMTĐHB

Hình 2 biểu diễn sơ đồ hệ thống chỉnh lưu có điều khiển được cung cấp bởi MPĐ xoay chiều.

Ưu điểm nổi bật của HT kích từ này đó là sử dụng là HT kích từ độc lập, đảm bảo cung cấp nguồn kích từ ổn định, liên tục, vận hành và sửa chữa linh hoạt.

Tuy nhiên, HT kích từ của MPĐ chính đã có thời gian vận hành lâu năm, đã lạc hậu về mặt công nghệ, cấp độ điều khiển chỉ là dạng analog, không còn phù hợp với công nghệ số hóa hiện nay. Một số phần tử đã được thay thế bằng thiết bị kỹ thuật số nhưng chỉ mang tính chất nhỏ lẻ, cục bộ và không bảo đảm chức năng đồng bộ hệ thống. Hiện tại mô hình HT kích từ máy phát TĐHB chưa được trang bị bộ ổn định hệ thống điện (PSS).

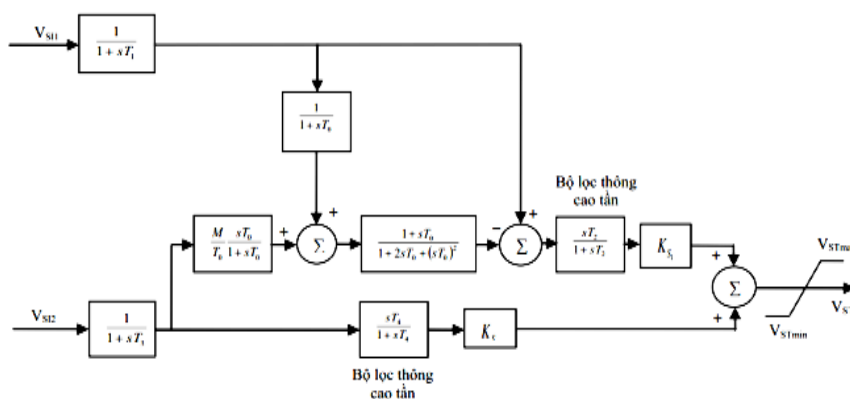
Vì vậy, để đảm bảo tính ổn định và nâng

cao độ tin cậy vận hành, việc nâng cấp và hiện đại hóa bộ AVR kích từ bằng thyristor theo công nghệ số tự động điều chỉnh theo quy luật điều khiển PID và trang bị PSS [9], [10] thực sự rất cần thiết.

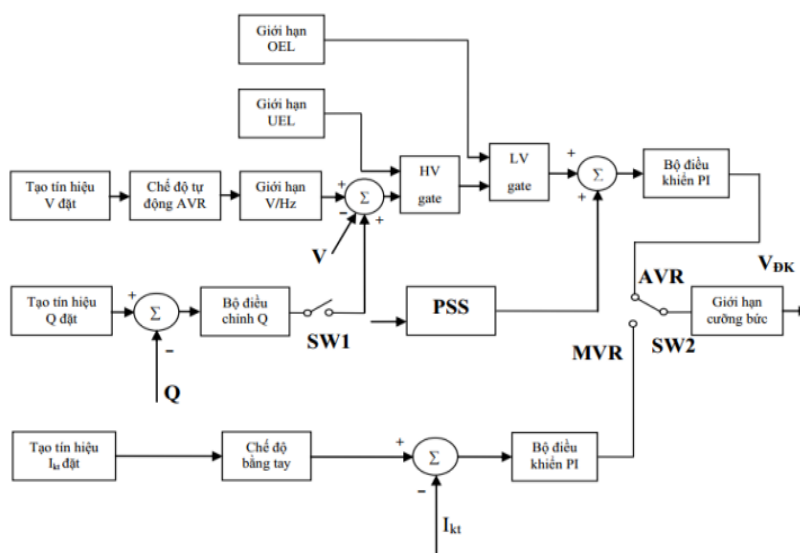
2.2. Nghiên cứu lựa chọn thông số của PSS cho máy phát điện

Hiện nay, trên thế giới, các nhà sản xuất đã đưa ra các mô hình PSS tiên tiến, trong đó có thể hệ mới nhất là PSS4B. Vượt qua cấu trúc bộ lọc song song để tối ưu hóa

điều chỉnh, PSS4B được thiết kế bao gồm 3 dải tần mạnh mẽ, nó sử dụng độ lệch tốc độ trực tính toán và công suất hoạt động thu được từ các đầu dò qua các bộ lọc để điều chỉnh. Các bộ lọc được điều chỉnh cho tần số thấp, tần số trung gian và tần số cao. Tín hiệu đi qua mỗi băng tần có một đầu ra độc lập và được tổng hợp lại để đưa ra tín hiệu ổn định [10], [11], [12]. Như vậy bộ PSS4B thể hiện sự tối ưu vượt trội so với các bộ ổn định công suất thế hệ trước đó.



Hình 3. Sơ đồ khối bộ ổn định công suất PSS4B



Hình 4. Sơ đồ khối HT tự động điều chỉnh điện áp và ổn định công suất máy phát điện

Đối với bộ ổn định công suất PSS4B, trong đó:

- Đầu vào $V_{SI1} = P$ (công suất điện) và $V_{SI2} = \Delta\omega$ (sai lệch tốc độ góc).
- T_1, T_3 : là hằng số thời gian đặc trưng cho bộ chuyển đổi.
- T_2 và T_4 : là hằng số thời gian bộ lọc thông cao tần.
- K_{S1} và K_{S2} : là hai khâu khuếch đại.
- T_0 : là hằng số thời gian khởi động của máy phát đồng bộ.

Lựa chọn hệ thống kích từ có PSS cho máy phát Thủy điện Hòa Bình

Căn cứ vào tình hình vận hành MPĐ của NMTĐHB, đề xuất việc sử dụng thiết bị ổn định công suất PSS4B [16]. Từ đó, nhóm tác giả lựa chọn mô hình khối PSS4B để nghiên cứu, phân tích, đánh giá, mô phỏng cho máy phát điện của NMTĐHB, đưa ra sơ đồ hệ thống tự động điều chỉnh kích từ máy phát có trang bị PSS như hình 4.

3. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

3.1. Ứng dụng Matlab Simulink mô phỏng hệ thống điều khiển kích từ máy phát Thủy điện Hòa Bình

Tiến hành mô hình hóa MPĐ đồng bộ và hệ thống điều khiển kích từ [13] để khảo sát từ dữ liệu thực tế của máy phát điện NMTĐHB, làm cơ sở căn cứ cho việc áp dụng trên đối tượng thực tế.

Các thành phần chính của HT kích từ và điều khiển điện áp của MPĐ thuộc NMTĐ HB và tham số của hệ thống điện mô phỏng được lựa chọn [14], [15], [16] như sau:

- Công suất cơ bản được chọn chung cho toàn hệ thống là $S_{cb} = 1000 \text{ MVA}$.

- Tham số MPĐ đồng bộ:

$P_n = 266,67 \text{ MVA}$; $V_n = 15,75 \text{ kV}$;
 $f_n = 50 \text{ Hz}$; $X_d = 1,24 \text{ pu}$; $X'_d = 0,36 \text{ pu}$;
 $X''_d = 0,24 \text{ pu}$; $X_q = 0,8 \text{ pu}$; $X''_q = 0,24 \text{ pu}$;
 $T_{d'} = 1,01\text{s}$; $T_{d''} = 0,053\text{s}$; $T_{qo''} = 0,1\text{s}$;
 $R_s = 0,00285 \text{ pu}$; $H_s = 3,2 \text{ s}$; $F = 0 \text{ pu}$;
 $p = 24$.

- Hệ thống điều khiển kích từ

Ta dùng mô hình ST1A do hệ thống điều khiển kích từ NMTĐHB là hệ thống điều khiển kích từ kiểu tĩnh với các tham số:

$T_r = 0,02\text{s}$; $K_a = 300$; $T_a = 0,001\text{s}$;

$K_f = 0,001$; $T_f = 0,3\text{s}$; $V_{r_{min}} = -4 \text{ pu}$;

$V_{r_{max}} = 4,3 \text{ pu}$

- Tham số hệ thống điều tốc governor:

$K_a = 10/3$; $T_a = 0,07\text{s}$; $g_{min} = 0,0\text{pu}$;

$g_{max} = 0,975\text{pu}$; $V_{g_{min}} = -0,1\text{pu/s}$;

$V_{g_{max}} = 0,1\text{pu/s}$; $R_p = 0,05$; $K_p = 1,163$;

$K_i = 0,105$; $K_d = 0$; $T_d = 0,01\text{s}$; $T_w = 2,67\text{s}$.

- Tham số bộ ổn định PSS:

- Dải tần số thấp: $F_L = 0,2\text{Hz}$; $K = 30$.

- Dải tần số trung bình: $F_I = 1,25\text{Hz}$;
 $K_I = 40$.

- Dải tần số cao: $F_H = 12 \text{ Hz}$; $K_H = 30$.

- Giới hạn tín hiệu: $V_{L_{max}} = 0,075$;

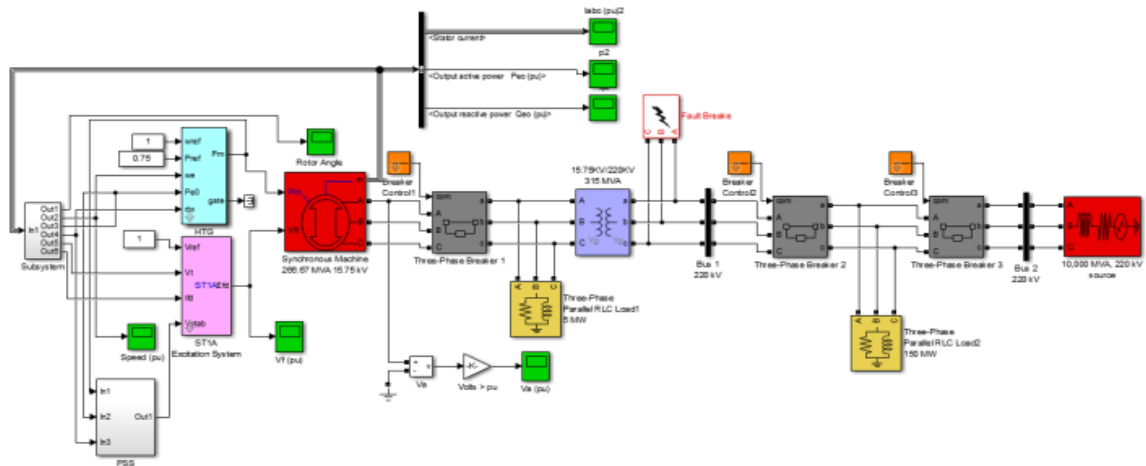
$V_{I_{max}} = -0,15$; $V_{H_{max}} = 0,15$; $V_{S_{max}} = 0,15$.

- Tham số của máy biến áp:

$P_n = 315 \text{ MVA}$; $f_n = 50 \text{ Hz}$;

$V_1 = 15,75 \text{ kV}$; $V_2 = 220 \text{ kV}$.

Ta có sơ đồ mô phỏng HT điều khiển kích từ MPĐ của NMTĐHB như hình 5.



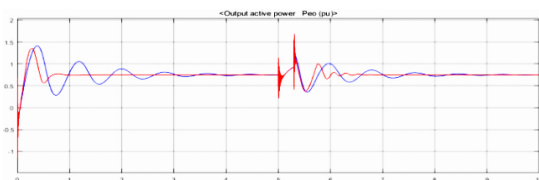
Hình 5. Mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển kích từ máy phát khi xảy ra ngắn mạch

3.2. Phân tích và đánh giá kết quả

3.2.1. Mô phỏng khảo sát ổn định máy phát khi xảy ra ngắn mạch

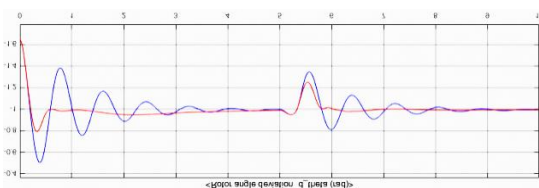
Từ mô hình trên, giả sử tại $t=5s$, xảy ra ngắn mạch 1 pha và duy trì trong 0,3s. Kết quả mô phỏng khi không có PSS (màu xanh) và khi có PSS (màu đỏ) như sau:

(a) Công suất đầu ra máy phát



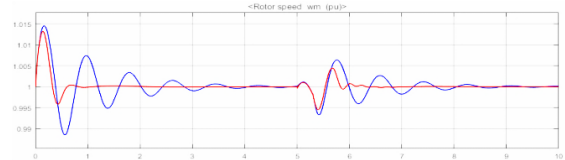
Hình 6a. Mô phỏng công suất đầu ra máy phát khi xảy ra ngắn mạch

(b) Sai lệch góc delta



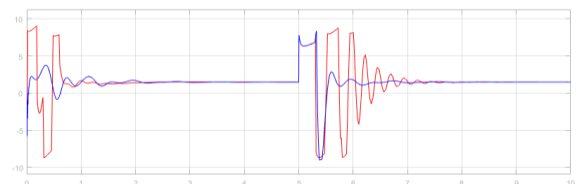
Hình 6b. Mô phỏng sai lệch góc delta khi xảy ra ngắn mạch

(c) Tốc độ rotor máy phát



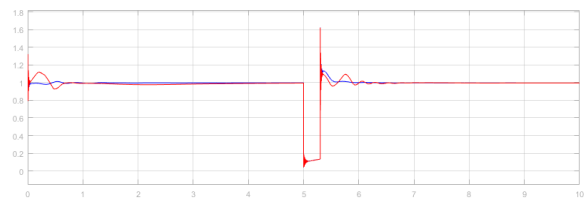
Hình 6c. Mô phỏng tốc độ rotor máy phát khi xảy ra ngắn mạch

(d) Điện áp đầu ra hệ thống kích từ



Hình 6d. Mô phỏng điện áp đầu ra HT kích từ khi xảy ra ngắn mạch

(e) Điện áp đầu cực máy phát



Hình 6e. Mô phỏng điện áp đầu cực máy phát khi xảy ra ngắn mạch

Nhận xét: Từ kết quả mô phỏng trên ta có thể thấy rằng:

- Công suất đầu ra máy phát, sai lệch góc delta và tốc độ rotor máy phát khi có bộ điều khiển công suất PSS ổn định hơn nhiều so với khi không có bộ PSS. Khi khởi động tổ máy và sau khi xảy ra sự cố ngắn mạch thoáng qua biên độ cũng như thời gian dao động khi có PSS đã giảm đi rất nhiều. Khi không có PSS, quá trình khởi động tổ máy tới thời điểm $t \sim 5s$ công suất đầu ra máy phát, sai lệch góc delta và tốc độ rotor máy phát mới bắt đầu ổn định và sau khi xảy ra sự cố ngắn mạch tới thời điểm $t = 10s$ công suất đầu ra máy phát, sai lệch góc delta và tốc độ rotor máy phát mới ổn định trở lại. Nhưng khi có PSS, tổ máy khởi động sau $t = 1s$ công suất đầu ra máy phát, sai lệch góc delta và tốc độ rotor máy phát đã ổn định về đường thẳng và sau khi xảy ra ngắn mạch tại thời điểm $t = 7s$ đã ổn định trở lại.

- Điện áp đầu ra của HT kích từ và điện áp đầu cực máy phát:

- Khi khởi động máy phát, biên độ dao động điện áp khi có PSS lớn hơn so với không có PSS nhưng thời gian ổn định lại nhanh hơn. Khi không có PSS biên độ điện áp dao động nhỏ xong đến thời điểm $t = 4s$ điện áp đầu ra HT kích từ mới ổn định và $t = 1,4s$ điện áp đầu cực máy phát mới ổn định về đường thẳng. Nhưng khi có PSS biên độ dao động điện lớn hơn xong chỉ sau $t = 2,2s$ (đối với điện áp đầu ra hệ thống kích từ) và $t = 0,8s$ (đối với điện áp đầu cực máy phát) thì điện áp đã ổn định về đường thẳng.

- Khi xảy ra ngắn mạch thoáng qua, bộ PSS cũng tác động tăng điện áp kích từ để nhanh đưa điện áp máy phát về ổn định, nhưng khó có thể thấy được hiệu quả của bộ PSS trong trường hợp này, đối với điện áp đầu ra HT kích từ khi có PSS đến thời điểm $t = 8,1s$ đã ổn định về đường thẳng so với khi không có PSS là $t = 8,9s$. Còn đối với điện áp đầu ra máy phát khi có PSS và không có PSS điện áp đều ổn định tại thời điểm $t = 7s$, sự khác biệt là dải biên độ dao động điện áp khi không có PSS dài hơn so với khi có PSS dải này ngắn hơn và tần suất nhiều hơn.

Như vậy ta có thể thấy khi khảo sát ổn định MPĐ lúc mới khởi động tổ máy, bộ PSS đều thể hiện rõ hiệu quả tác động đưa máy phát về vận hành ổn định nhanh chóng hơn. Bởi vì ngắn mạch là một dạng kích động lớn, trong khi bộ PSS tác động thể hiện rõ nét nhất với các loại kích động nhỏ.

Vì vậy để thấy rõ được ưu điểm của bộ PSS trong ổn định điện áp đầu cực máy phát, ta xét trường hợp thứ 2.

3.2.2. Mô phỏng khảo sát ổn định máy phát khi tăng tải

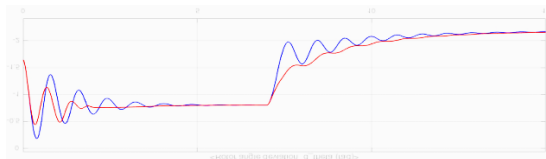
Sau 7 giây ta đóng tải thứ nhất có công suất 400 MW vào hệ thống; tiếp tục 0,2 giây sau ta đóng tiếp tải thứ hai có công suất 300 MW vào hệ thống; tiếp tục 0,2 giây sau ta đóng tiếp tải thứ ba có công suất 400 MW vào hệ thống. Từ mô hình trên ta có kết quả mô phỏng khi không có PSS (màu xanh) và khi có PSS (màu đỏ) như sau:

(a) Công suất đầu ra máy phát



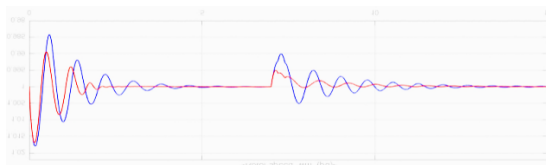
Hình 7a. Mô phỏng công suất đầu ra máy phát khi tăng tải

(b) Sai lệch góc delta



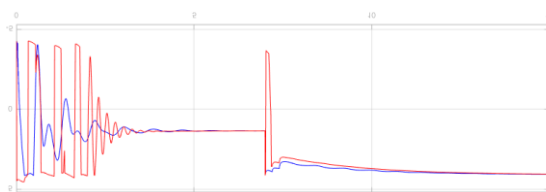
Hình 7b. Mô phỏng sai lệch góc delta khi tăng tải

(c) Tốc độ rotor máy phát



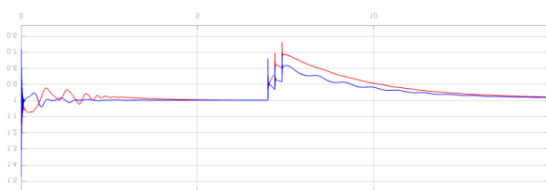
Hình 7c. Mô phỏng tốc độ rotor máy phát khi tăng tải

(d) Điện áp đầu ra hệ thống kích từ



Hình 7d. Mô phỏng điện áp đầu ra HT kích từ khi tăng tải

(e) Điện áp đầu cực máy phát



Hình 7e. Mô phỏng điện áp đầu cực máy phát khi tăng tải

Nhận xét: Khi tăng tải liên tục (*khoảng thời gian từ 7s đến 7,4s*) khảo sát công suất đầu ra máy phát, sai lệch góc delta và tốc độ rotor máy, khi có bộ điều khiển công suất PSS ổn định hơn cả về biên độ và thời gian dao động so với khi không có bộ PSS. Cụ thể: Khi có PSS chỉ sau thời gian $t = 3s$ công suất đầu ra máy phát, sai lệch góc delta và tốc độ rotor máy phát đã ổn định về đường thẳng so với khi không có PSS phải mất $t = 6,8s$.

Đối với điện áp đầu ra máy phát, khi mới khởi động tổ máy chỉ cấp nguồn cho tải tự dùng nhỏ (5MW) nên việc bộ PSS tác động tăng điện áp kích từ làm cho biên độ dao động điện áp đầu cực máy phát cao hơn so với khi không có PSS nhưng mức độ ổn định nhanh chóng ở thời điểm $t = 4s$. Nếu phóng to kết quả mô phỏng điện áp máy phát khi không có PSS ta có thể thấy biên độ dao động tuy nhỏ hơn nhưng tần suất dao động nhiều hơn và cũng ổn định ở thời điểm $t = 4s$. Hiệu quả của bộ PSS lúc này thể hiện rõ ở kết quả khảo sát điện áp đầu ra hệ thống kích từ, sau $t = 4s$ điện áp đầu ra HT kích từ đã ổn định về đường thẳng so với khi không có PSS phải mất $t \sim 7s$.

Khi ta đóng tải liên tiếp trong 0,4s ta thấy rõ hiệu quả của bộ PSS tác động đến điện áp đầu ra HT kích từ và đầu cực máy phát, lúc này biên độ và tần suất dao động điện áp giảm hẳn về gần như đường thẳng so với không có PSS.

4. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng thí điểm cho thấy với phương pháp đề xuất khi sử dụng các bộ ổn định công suất PSS thì khả năng tác

động sẽ cho đặc tính công suất, tốc độ tổ máy, điện áp máy phát ổn định nhanh hơn khi không có PSS. Như vậy với kết quả lựa chọn sử dụng bộ điều khiển PSS4B trong nghiên cứu này cho phép khuyến cáo sử dụng PSS nhằm ổn định tín hiệu dao động nhỏ trong hệ thống điện. Nó giải quyết bài toán khi trên lưới bị kích động

nhỏ tác động trong lúc vận hành thao tác đóng - ngắt tải đối với hệ thống hoặc đóng ngắt nguồn cấp từ các nhà máy điện vào lưới điện, đồng thời qua đó nó cũng thể hiện được tính ưu việt của hệ thống điều khiển kích từ kiểu tĩnh cho MPĐ đồng bộ trong hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control", Publisher McGraw-Hill Education (India) Pvt Ltd, 1994.
- [2] R.A Lawson, D.A. Swann, and G.F Wright, "Minimization of Power System Stabilizer Torsional Interaction on Large Turbine-Generators IEEE Trans". PAS, Vol.97, Feb.1978, pp 183-190.
- [3] PGS.TS Trần Bách, "Ổn định hệ thống điện", NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2001.
- [4] GS.TS Lã Văn Út, "Phân tích và điều khiển ổn định hệ thống điện", NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2001.
- [5] IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines - 2007.
- [6] Sandro Corsi, "Voltage control and Protection in Electrical Power System, from system component to Wide-Area Control", 2015.
- [7] Ferrari E, Floris R, Saccomanno F (1969) "Stability limits of turbo-alternators and static exciter with different control structures. Part 1: stability analysis at small variations". LXX AEI annual meeting, Rimini.
- [8] Kimbark EW (1956) Power system stability, vol 3. Wiley, New York.
- [9] Corsi S, Pozzi M, Sforza M, Dell'Olio G, "The coordinated automatic voltage control of the Italian transmission grid, part II: control apparatus and field performance of the consolidated hierarchical system". IEEE T Power Syst 19(4):1733-1741, 2004.
- [10] IEEE Std.421.5-1992, IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies.
- [11] IEEE Tutorial course, "Power System Stabilization Via Excitation Control", 81 EHO 175-PWR.
- [12] Nguyễn Hiền Trung, Nguyễn Như Hiền, "Nghiên cứu hiệu quả của các bộ ổn định công suất cho máy phát điện đồng bộ kết nối lưới điện", Tạp chí Khoa học và Công nghệ, 64(02): 63-69, 2010.
- [13] Nguyễn Phùng Quang (2004), Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [14] KS. Nguyễn Xuân Thắng, Nguyễn Văn Minh, Phạm Văn Vương (2004), Sổ tay hệ thống thiết bị Công ty Thủy điện Hòa Bình, Hòa Bình.
- [15] KS. Phạm Văn Vương, Nguyễn Ngọc Thắng (2004), Quy trình vận hành hệ thống kích thích máy phát điện, Hòa Bình.

- [16] Lê Xuân Quyết, "Nghiên cứu nâng cấp hệ thống điều khiển kích từ của Nhà máy Thủy điện Hòa Bình", Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Điện lực, 2017.
- [17] ABB Industrie AG, "Impact of excitation system on power system stability".
- [18] Trần Quang Khánh (2004), "Vận hành hệ thống điện", NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Ngọc Trung tốt nghiệp đại học năm 2003, nhận bằng Thạc sĩ năm 2006 chuyên ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Tiến sĩ kỹ thuật điện năm 2014 tại Đại học Palermo - Cộng hòa Italia.

Lĩnh vực nghiên cứu: lưới điện thông minh - SmartGrid, bảo vệ rơ le và giám sát điều khiển, tự động hóa trong hệ thống điện, ổn định hệ thống điện.