

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TÍCH HỢP NHÀ MÁY NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO ĐỐI VỚI VẤN ĐỀ TAN RÃ HỆ THỐNG ĐIỆN

RESEARCH OF EFFECTS OF RENEWABLE POWER PLANTS INTEGRATION TO POWER SYSTEM BLACKOUT

Nguyễn Đăng Toàn

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 19/6/2023, Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2023, Phản biện: PGS.TS Trịnh Trọng Chương

Tóm tắt:

Hiện nay, các nguồn năng lượng tái tạo ngày càng được tích hợp vào hệ thống điện. Một số lo ngại rằng việc tích hợp này có thể là nguyên nhân dẫn đến tan rã hệ thống điện. Nhiều bài báo đã nghiên cứu ảnh hưởng của các nguồn năng lượng tái tạo đối với sự mất ổn định tần số. Bài báo này thực hiện sự so sánh ảnh hưởng của các nguồn truyền thống và nguồn tái tạo đến sự sụp đổ hệ thống điện có nguyên nhân từ sự mất ổn định góc rotor máy phát điện và sự sụp đổ điện áp bằng phần mềm PSS/E. Bài báo cũng đề xuất các biện pháp ngăn chặn sự cố tan rã HTĐ với sự tích hợp ngày càng nhiều các nguồn năng lượng tái tạo.

Từ khóa:

Tích hợp nhà máy năng lượng tái tạo, nhà máy điện mặt trời, nhà máy điện gió, tan rã hệ thống điện, mô phỏng động hệ thống điện.

Abstract:

Nowadays, the integration of renewable power plant into power system is currently increased. Some concerns that the integration may be cause of power system blackout. Some papers have discussed the influences of renewable energy power plants to the phenomenon of frequency instability. The paper compared the influence of traditional power plant and renewable power plant to power system blackout caused by angle instability and voltage collapse by using dynamic simulation of PSS/E software. The paper also proposed remedial methods to prevent power system blackout with highly penetration of renewable power plants.

Keywords:

Integration of renewable power plant, solar power plant, wind power plant, power system blackout, dynamic simulation of power system.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Với sự thiếu hụt năng lượng hóa thạch ngày càng tăng, cùng với xu hướng năng lượng gió và mặt trời đã trở nên rẻ hơn

đáng kể, công nghệ hoàn thiện và do đó ngày càng được tích hợp vào hệ thống điện (HTĐ) càng nhiều. Một số người cho rằng sự tích hợp các nhà máy điện gió,

mặt trời là một trong những nguyên nhân dẫn đến sự cung cấp điện thiếu tin cậy, hoặc tan rã HTĐ. Đặc biệt là sau sự kiện tan rã HTĐ ngày 17/8/2022 tại California do "sự gián đoạn" của các nguồn năng lượng tái tạo, sự kết hợp của một đợt nắng nóng khắc nghiệt do biến đổi khí hậu, quy hoạch sai lầm và thiếu nguồn phát điện linh hoạt cũng như thiếu sự lưu trữ điện [1]. Hay sự kiện mất điện từ ngày 10 đến 27/2/2021 tại Texas, cũng có nguyên nhân từ sự thiếu hụt nguồn năng lượng gió và mặt trời gây ra sự cố mất điện lớn, kết hợp với yếu tố bão tố làm hư hỏng hệ thống cơ sở hạ tầng, gián đoạn nguồn cung khí đốt (một số thiết bị bị đóng băng do thời tiết lạnh) đã dẫn đến hầu hết tình trạng thiếu điện và dẫn đến tan rã HTĐ của bang Texas [1].

Tác giả [2] nghiên cứu ảnh hưởng của nguồn điện mặt trời đến sự ổn định với kích động nhỏ và ổn định tần số với các mức độ tích hợp nguồn năng lượng mặt trời khác nhau bằng phương pháp mô phỏng động. Trong đó khẳng định các nguồn năng lượng mặt trời với các bộ biến tần có điều khiển tiên tiến sẽ đóng góp vào sự nâng cao ổn định với kích động nhỏ.

Lasantha Meegahapola và cộng sự [3], chứng tỏ rằng với sự có mặt ngày càng tăng của các nguồn năng lượng tái tạo với các bộ biến đổi công suất, sẽ có ảnh hưởng đến các dạng ổn định hệ thống điện do sự giảm hàng số quán tính, vấn đề với dự trữ công suất phản kháng, khả năng vượt qua sự cố của tần số tại các nhà máy năng lượng tái tạo, do đó các nhà

hoạch định và vận hành hệ thống điện cần có những chiến lược để đảm bảo ổn định tần số hệ thống điện.

Andreas Ulbig và cộng sự [4] khẳng định các nguồn năng lượng tái tạo có ảnh hưởng lớn đến ổn định tần số hệ thống điện và đề xuất những điều khiển nhanh trong hệ thống tự động điều chỉnh công suất tác dụng, điều chỉnh tần số để nâng cao ổn định tần số.

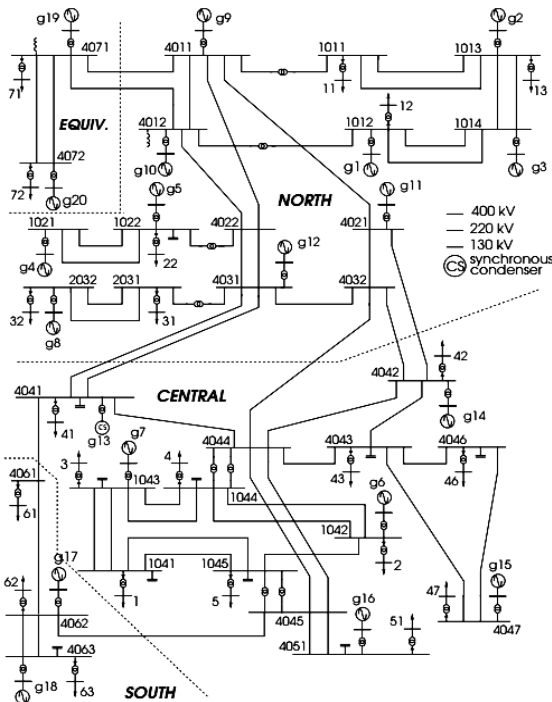
Tuy nhiên, ít các nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của nguồn năng lượng tái tạo đến một sự cố nghiêm trọng như tan rã HTĐ, khi có mặt đầy đủ các mô hình động, hệ thống bảo vệ role, tự động điều áp dưới tải. Do đó, bài báo này đi vào phân tích ảnh hưởng của các nhà máy điện mặt trời, điện gió đến sự tan rã hệ thống điện do mất ổn định góc rotor do dao động và mất ổn định điện áp. Công cụ mô phỏng là phần mềm PSS/E. Những kết quả nghiên cứu và đề xuất sẽ là những tham khảo cho HTĐ Việt Nam khi tích hợp ngày càng nhiều các nguồn năng lượng tái tạo, trong khi vẫn xảy ra những sự cố mất điện trong những ngày gần đây.

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG MÔ PHỎNG

2.1. Mô hình hệ thống điện

Bài báo sử dụng lưới điện chuẩn Nordic 32 [5] gồm 32 nút, gồm 4 vùng, vùng Miền Bắc với việc dư thừa các máy phát điện (MPĐ) thủy điện. Vùng Trung tâm với tập trung phụ tải và một số nhà máy nhiệt điện, vùng Miền Nam (4061, 4062, 4063) với một số nhà máy nhiệt điện, và vùng Ngoài tương đương (nút 4071, 4072) kết nối với vùng Miền Bắc.

Trong đó, 20 nhà máy với 22 MPĐ (máy phát nhiệt điện: g6, g7, g14, g15, g16, g17, g18; máy phát thủy điện: g1, g2, g3, g4, g13, g16, g17, g18, g5, g8, g9, g10, g11, g12, g19, g20, g13), 22 tải, nút PQ là 14, nút trung gian là 7, 11 nút có bù cố định (1022, 1041, 1043, 1044, 1045, 4012 (bù kháng điện -100 MVar), 4041, 4043, 4046, 4071 (bù kháng điện -200 MVar), 01 nhà máy bù đồng bộ (4062), 9 máy biến áp với bộ điều áp dưới tải (41-4041, 42-4042, 43-4042, 46-4046, 47-4047, 51-4051, 61-4061, 62-4062, 63-4063, 1044-4044 hai MBA, 1045-4045 hai MBA). Hệ thống có nhiều đường dây truyền tải dài, truyền tải công suất từ Miền Bắc đến miền Trung tâm, được chỉnh sửa để tạo ra các kịch bản vận hành gần tới hạn.

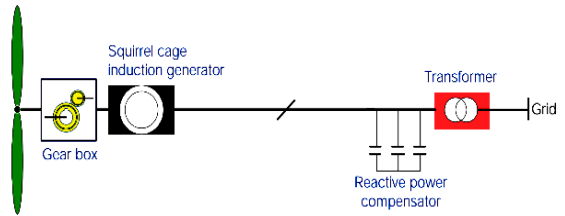


Hình 1. Lưới điện Nordic 32 nút

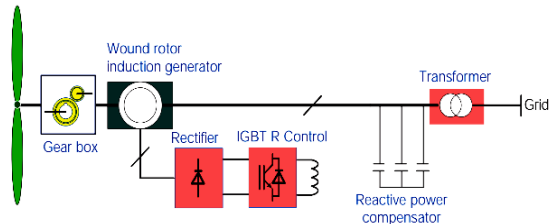
Mô hình động máy phát thủy điện cực lớn GENSAL, máy phát nhiệt điện cực ần

GENROU, hệ thống điều tốc turbin HYGOV, hệ thống kích từ SEXS, hệ thống ổn định công suất STABS2, hệ thống giới hạn kích từ MAXEX2, bộ tự động điều chỉnh điện áp dưới tải OTCT1T [4].

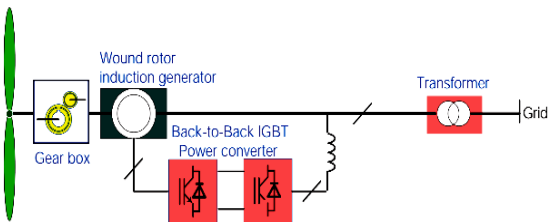
2.2. Các mô hình nhà máy điện gió



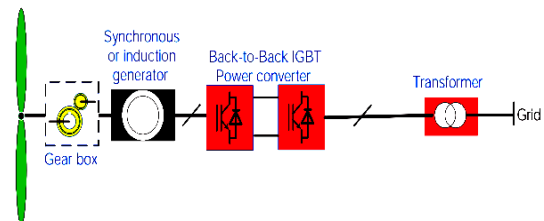
a) SCIG: MPĐ không đồng bộ, tốc độ cố định (loại cũ- ngày càng ít sử dụng)



b) WRIG: MPĐ không đồng bộ, tốc độ điều chỉnh (loại cũ- ngày càng ít sử dụng)



c) DFIG: MPĐ không đồng bộ, kích từ kép (hiện đang chiếm tỷ trọng lớn)



d) FCWT: MPĐ đồng bộ biến đổi hoàn toàn (xu hướng ngày càng nhiều trong hệ thống)

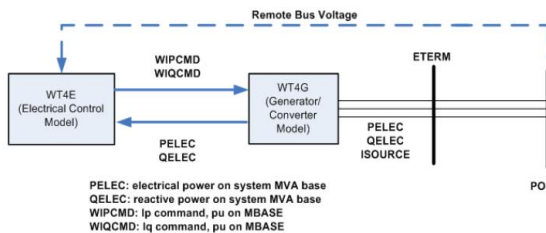
Hình 2. Các loại mô hình turbin gió khác nhau

Có rất nhiều loại mô hình nhà máy điện gió gắn với các loại turbin khác nhau, được liệt kê trong hình dưới đây. Trong bài báo, tác giả sẽ sử dụng mô hình nhà máy điện gió loại đồng bộ, nam châm vĩnh cửu – FCWT [5], [6], [7].

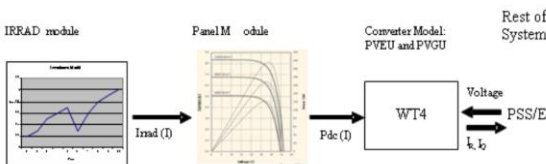
Loại MPĐ này có những ưu điểm chính sau:

- Biến dạng sóng hài thấp, do đó chỉ cần các bộ lọc dạng thụ động công suất nhỏ;
- Khả năng điều chỉnh hiệu suất cao;
- Hiệu suất chuyển đổi cao;
- Phản ứng nhanh với các điều kiện bất thường, bao gồm cả nhiễu loạn, chẳng hạn như ngắn mạch trên HTĐ;
- Khả năng điều khiển cả công suất tác dụng và phản kháng.

Các turbin gió được tương đương hóa thành một turbin, mô hình loại 4, tên mô hình là : WT4E1 (Electrical Control for Type 4 Wind Generator) cho phần điều khiển và WT4G1 (Wind Generator Model with Power Converter for Type 4) cho mô hình phần MPĐ [5], [6], [7].



Hình 3. Tích hợp môđun nhà máy gió vào PSS/E



Hình 4. Tích hợp môđun nhà máy PV vào PSS/E

2.3. Các mô hình nhà máy điện mặt trời

Bài báo sử dụng mô hình nhà máy PV, được tương đương hóa theo [5], [6]. Mô hình động sử dụng để mô phỏng gồm:

- PVGU: Môđun bộ biến đổi/máy phát;
- PVEU: Môđun điều khiển điện;
- PANEL: Đường cong tuyến tính của đặc tính đầu ra của tấm pin;
- IRRAD: Tuyến tính hóa bức xạ mặt trời.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Một kịch bản tan rã HTĐ do dao động và sụp đổ điện áp được giới thiệu trong phần này. Bài báo mô phỏng ba trường hợp cho mỗi kịch bản với lưới điện gồm các nguồn điện truyền thống (nhà máy nhiệt điện, thủy điện) và trường hợp có mặt của nhà máy điện gió, mặt trời tại nút 1022.

3.1. Kịch bản sự cố

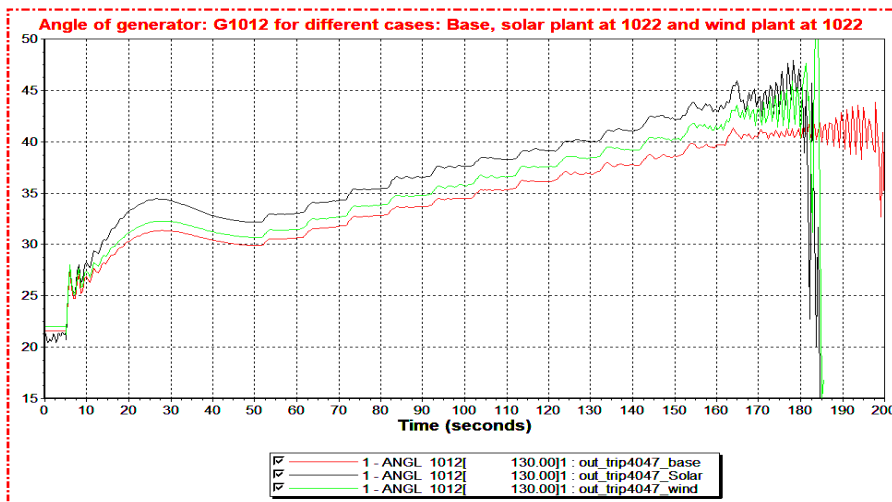
Kịch bản 1 được đề xuất như sau: Cắt MPĐ tại nút 4047 tại vùng Trung tâm phụ tải tại thời điểm $t=5$ s, sự cố này làm thiếu hụt 540 MW và 152 MVar công suất tại trung tâm phụ tải. Điều này làm tăng công suất truyền tải từ các vùng khác đến vùng trung tâm.

Từ kết quả mô phỏng cho trường hợp cơ bản thấy rằng hệ thống mất ổn định do dao động góc rotor và sụp đổ điện áp tại 200 s. Đó là kết quả của nhiều yếu tố như: sự mất cân bằng công suất tác dụng, phản kháng và có tác động của thiết bị bảo vệ quá kích thích và sự tác động các hệ thống tự động điều áp dưới tải.

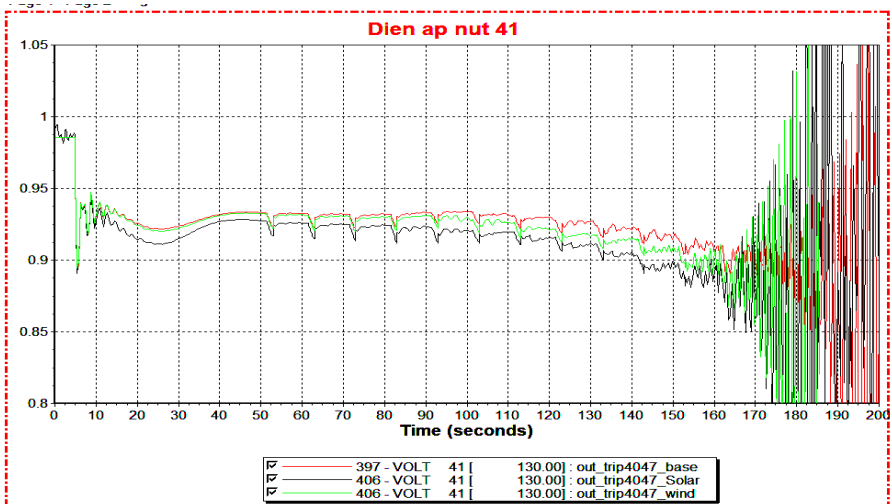
Khi thay thế MPĐ thủy điện tại nút 1022 bằng nhà máy điện mặt trời, điện gió có công suất tương đương. Kết quả mô phỏng được thể hiện cùng với trường hợp cơ bản trong các Hình 5, Hình 6, Hình 7.

Các kết quả mô phỏng cho thấy không có sự khác nhau nhiều về thời gian xảy ra tan rã HTĐ đối với trường hợp thay thế MPĐ thủy điện tại nút 1022 (công suất 180 MW) bởi nhà máy PV, nhà máy gió có công suất tương đương.

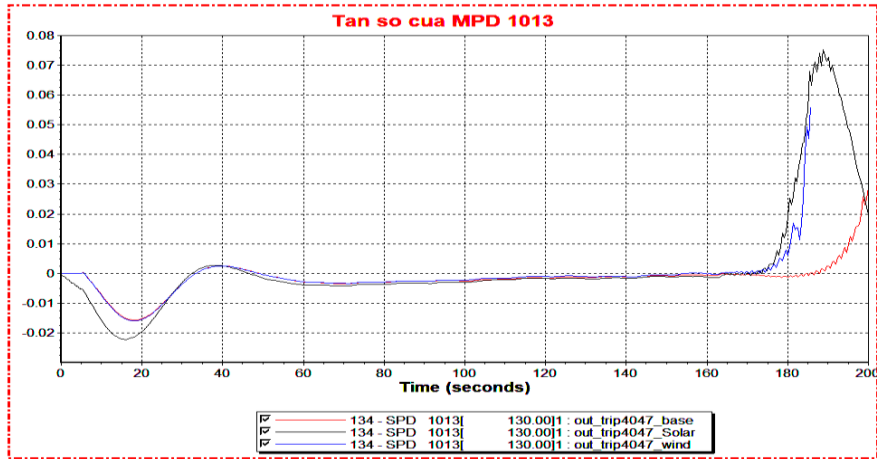
HTĐ bắt đầu dao động mạnh và chia tách cách nhau giữa trường hợp cơ bản và khi thay thế bằng nhà máy mặt trời và gió là khoảng gần 10 s, đối với một sự cố tan rã hệ thống điện lớn coi như không kịp có những tác động ngăn chặn cần thiết. Sự khác biệt một chút là do MPĐ 1022 thủy điện có hằng số quán tính $H=3$ s, trong khi các MPĐ mặt trời, gió với mô hình loại 4 chỉ có bộ biến đổi.



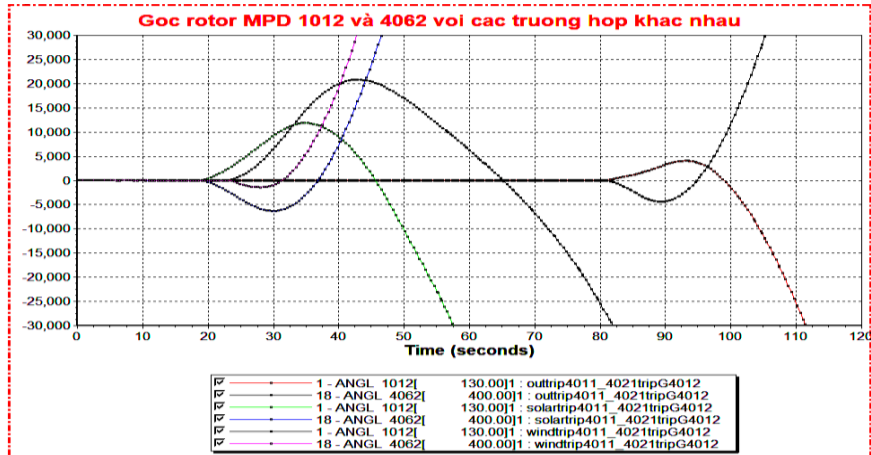
Hình 5. Góc rotor MPĐ 1012 cho các trường hợp khác nhau



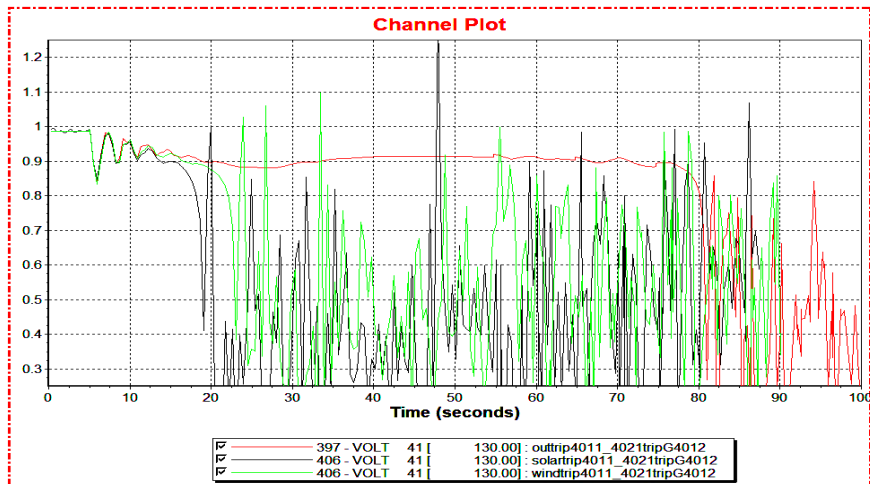
Hình 6. Sự biến động điện áp tại nút 41 cho các trường hợp khác nhau



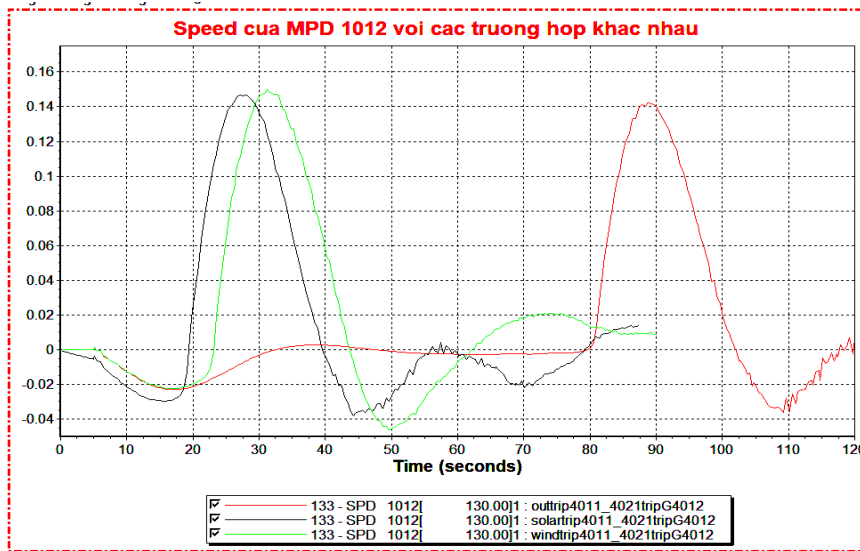
Hình 7. Sự biến động tốc độ MPĐ 1013 cho các trường hợp khác nhau



Hình 8. Góc rotor MPĐ 1012 và MPĐ 4062 cho các trường hợp khác nhau



Hình 9. Sự biến động điện áp tại nút 41 cho các trường hợp khác nhau



Hình 10. Sự biến động tốc độ MPĐ 1012 cho các trường hợp khác nhau

3.2. Kịch bản sự cố 2

Kịch bản 2 được đề xuất như sau: tại $t=5$ s, sự cố xảy ra làm cắt đường dây 4011-4021 làm giảm khả năng truyền tải trong vùng miền Bắc, sau đó 0,1 s có sự cố tại nhà máy 1022, làm mất 250 MW và 150 MVar. Điều này làm thiếu hụt công suất truyền đến vùng trung tâm.

Từ kết quả mô phỏng cho trường hợp cơ bản thấy rằng hệ thống mất ổn định và sụp đổ điện áp tại khoảng 80 s. Kết quả của sự mất cân bằng công suất phản kháng, sự tác động của hệ thống tự động bảo vệ kích từ làm giảm công suất phản kháng đầu ra của các MPĐ. Trong khi đó hệ thống tự động điều áp dưới tải của các MBA tiếp tục tác động đòi hỏi công suất phản kháng từ lưới về để giữ điện áp các nút điều chỉnh như yêu cầu.

Khi thay thế MPĐ thủy điện tại nút 1022 bằng nhà máy điện mặt trời, điện gió có công suất tương đương. Kết quả mô

phỏng được thể hiện cùng với trường hợp cơ bản trong các Hình 8, 9, 10. Các kết quả mô phỏng (Hình 5, 6, 7) cho thấy có sự khác biệt về thời gian dẫn đến sụp đổ điện áp ở các trường hợp khác nhau. Trong đó trường hợp nhà máy điện mặt trời sụp đổ điện áp ở khoảng 25 s, và trường hợp nhà máy điện gió sụp đổ điện áp ở khoảng 20 s khi thay MPĐ thủy điện tại nút 1022 (công suất 180MW) bởi nhà máy PV, nhà máy gió có công suất tương đương.

Sự khác biệt về thời gian tan rã HTĐ trong trường hợp này là do các nhà máy điện mặt trời/gió trong trường hợp này có khả năng hạn chế trong việc điều chỉnh công suất phản kháng của các mô hình MPĐ gió và mặt trời. Hơn nữa, sự cố này là nguy hiểm hơn trường hợp 1, các MPĐ bị tác động bởi hệ thống các thiết bị bảo vệ kích từ đã tác động sớm hơn để giảm công suất phản kháng nhiều sau khi cắt MPĐ1022. Điều này đã dẫn đến tan rã HTĐ.

Đối với các HTĐ tích hợp nhiều nguồn năng lượng tái tạo, để ngăn chặn tan rã HTĐ rất cần các biện pháp sau đây [12]:

- Tiết kiệm điện năng và điều khiển phụ tải linh hoạt: đặc biệt là giảm nhu cầu ở thời gian cao điểm.
- Tăng cường dự báo phụ tải, dự báo nguồn phát tái tạo, đồng thời phối hợp, điều khiển các nguồn truyền thống và tái tạo để đảm bảo cân bằng phát tải theo thời gian thực.
- Áp dụng một số hình thức lưu trữ năng lượng, như thủy điện tích năng, hệ thống pin lưu trữ công suất lớn (BESS), xe điện, lưu trữ điều hòa không khí/ lưu trữ đá trong các tòa nhà, hệ thống sạc thông minh theo sự thay đổi nguồn phát năng lượng tái tạo.
- Các bài học kinh nghiệm từ những sai lầm trong quá khứ phải được nghiên cứu lại, kết hợp vào các kịch bản mới cũng như sử dụng những kinh nghiệm đã đúc kết được để giúp phát triển công nghệ mới và cải tiến cho các hệ thống điều khiển, giám sát và bảo vệ HTĐ.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích và mô phỏng hai kịch bản tan rã HTĐ – một trường hợp nguyên nhân do dao động công suất, và một trường hợp do sụp đổ điện áp, với trường hợp cơ bản và khi có mặt nhà máy điện mặt trời, điện gió. Các kết quả cho thấy có sự khác biệt về thời gian dẫn đến tan rã tương ứng với các nguyên nhân tan rã HTĐ khi có mặt các nhà máy năng lượng tái tạo. Bản thân các nhà máy năng lượng tái tạo trong mô phỏng ngắn hạn có

thể coi như tương đương với nhà máy điện truyền thống, tuy nhiên của thiếu hụt hằng số quán tính do sử dụng các bộ biến đổi điện tử và khả năng điều chỉnh công suất phản kháng hạn chế của các nhà máy năng lượng tái tạo là những nguyên nhân dẫn đến tính chất ổn định kém hơn.

Tan rã HTĐ có nhiều nguyên nhân, nhưng chủ yếu là sự thiếu hụt các nguồn công suất dự phòng trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt hiếm có, sự thiếu phối hợp trong vận hành, điều độ và những kế hoạch an ninh phòng ngừa. Khi tích hợp ngày càng nhiều các nguồn năng lượng tái tạo, sự cần thiết phải phối hợp điều độ, có những giải pháp vận hành, ứng dụng nhiều hơn các thiết bị ổn định tần số, bù công suất phản kháng như các nguồn BESS, hệ thống truyền tải xoay chiều linh hoạt FACTS, hoặc hệ thống truyền tải một chiều HVDC.

5. PHỤ LỤC

Thông số của MPĐ mặt trời tại nút 1022

1022: PVGU1			
0,02	TIQCcmd, (s)	1,2	HVRC, (pu)
0,02	TIpCmd, (s)	2	CURHVRCR- (pu)
0,4	VLVPL1, (pu)	2	RIp_LVPL,
0,9	VLVPL2 (pu)	0,02	T_LVPL, (s)
1,11	GLVPL - LVPL gain		

1022: PVEU1			
0,15	Tfv	-0,5	dPMN (pu)
18	Kpv	0,05	T_POWER
5	Kiv	0,1	KQi

0,05	Kpp	0,9	VMINCL
0,1	Kip	1,1	VMAXCL
0	Kf	120	KVi
0,08	Tf	0,05	Tv
0,47	QMX	0,05	Tp
-0,47	QMN	1,7	ImaxTD
1,1	IPMAX	1,11	Iphl
0	TRV	1,11	Iqhl
0,5	dPMX (pu)	10	PMAX

1022: PANELU1			
0,16	P200, PDCmax at 200 W/m ² , pu		
0,38	P400, PDCmax at 400 W/m ² , pu		
0,59	P600, PDCmax at 600 W/m ² , pu		
0,85	P800, PDCmax at 800 W/m ² , pu		
1	P1000, PDCmax at 1000 W/m ² , pu		

1022: IRRADU1			
5	T1, (s)	0	T6, s
1000	I1, W/m ²	0	I6, , W/m ²
10	T2, (s)	0	T7, s
900	I2, W/m ²	0	I7, W/m ²
15	T3, (s)	0	T8, s
850	I3, , W/m ²	0	I8, W/m ²

20	T4, (s)	0	T9, s
800	I4, W/m ²	0	I9, /m ²
25	T5, s	0	T10, s
700	I5, W/m ²	0	I10, W/m ²

Thông số của MPĐ gió

1022: WT4G1			
0,02	TIQCmd, s	1,2	HVRC (pu)
0,02	TIpCmd, s	2	CURHVRCR (pu)
0,4	VLVPL1 (pu)	2	RIp_LVPL
0,9	VLVPL2 (pu)	0,02	T_LVPL, s
1,11	GLVPL		

1022: WT4E1			
0,15	Tfv	-0,5	dPMN (pu)
18	Kpv	0,05	T_POWER
5	Kiv	0,1	KQi
0,05	Kpp	0,9	VMINCL
0,1	Kip	1,1	VMAXCL
0	Kf	120	KVi
0,08	Tf	0,05	Tv
0,47	QMX	0,05	Tp
-0,47	QMN	1,7	ImaxTD
1,1	IPMAX	1,11	Iphl
0	TRV	1,11	Iqhl
0,5	dPMX (pu)		

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Amory B. Lovins, M.V. Ramana, Three Myths About Renewable Energy and the Grid, Debunked , <https://e360.yale.edu/features/three-myths-about-renewable-energy-and-the-grid-debunked>
- [2] Daniel Remon, Antoni M. Cantarellas, Juan Manuel Mauricio, Pedro Rodriguez, "Power System Stability Analysis under Increasing Penetration of Photovoltaic Power Plants with Synchronous Power Controllers" IET Renewable Power Generation, 1 March 2017.
- [3] Lasantha Meegahapola, Alfeu Sguarezi, Jack Stanley Bryant, Mingchen Gu, Eliomar R. Conde D. and Rafael B.A. Cunha, "Power System Stability with Power-Electronic Converter Interfaced

- Renewable Power Generation: Present Issues and Future Trends”, *Energies* 2020, 13, 3441; doi:10.3390/en13133441.
- [4] Andreas Ulbig, Theodor S. Borsche and Göran Andersson, “Impact of Low Rotational Inertia on Power System Stability and Operation”, Power Systems Laboratory, ETH Zurich: online at: <https://www.researchgate.net/publication/259441097>
- [5] Thierry VAN CUTSEM, Lampros PAPANGELIS Description, “Modeling and Simulation Results of a Test System for Voltage Stability Analysis” University of Liege, Belgium, 2013.
- [6] Thông số động của các mô hình turbin gió, https://www.esig.energy/wiki-main-page/generic-models-individual-turbines/#Generic_Type_IV_Model_.28Phase_II.29
- [7] WECC REMTF, WECC Guide for Representation of Photovoltaic Systems In Large-Scale Load Flow Simulations, August 2010, [Online]. Available: <https://www.wecc.biz/Reliability/WECC%20PV%20Plant%20Power%20Flow%20Modeling%20Guidelines%20-%20August%202010.pdf>
- [8] E. Muljadi, A. Ellis, et al, “Equivalencing the Collector System of a Large Wind Power Plant”, IEEE Power Engineering Society Annual Conference, Montreal, Quebec, June 12-16, 2006.
- [9] Trần Quốc Tuấn, lecture note: “Smart charging strategies of electric vehicles and Smart buiding”, Ho Chi Minh city, 19-20 December 2022.
- [10] Trần Quốc Tuấn, lecture note: “Microgrids: Smart control, and energy management”, Ho Chi Minh city, 19-20 December 2022.
- [11] D. Novosel, “System Blackouts: Description and Prevention,” in IEEE PSRC System Protection RC, WG C6 “Wide Area Protection and Control”, Cigre TF38.02.24 Defense Plans November 2003.
- [12] Nguyễn Đăng Toàn, “Nghiên cứu ảnh hưởng của thiết bị bảo vệ rơle đến sự tan rã hệ thống điện lớn”, Tạp chí Khoa học và công nghệ năng lượng - Đại học Điện lực, năm 2017.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Đăng Toàn tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện tại Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2001; nhận bằng Thạc sĩ ngành quản lý hệ thống điện (EPSM) tại AIT - Thái Lan năm 2004, Tiến sĩ tại Grenoble - INP - Pháp năm 2008. Hiện nay tác giả công tác tại Khoa Công nghệ năng lượng - Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: ổn định hệ thống điện, HVDC/FACTS, năng lượng mới.