

Ứng dụng Power World Simulator vận hành tối ưu để ổn định hệ thống điện

Application of Power World Simulator for optimal operation and power system stability

Phạm Ngọc Hiệp

Trường Đại học Bà Rịa-Vũng Tàu

Email tác giả liên hệ: hieppn@bvu.edu.vn

THÔNG TIN

TÓM TẮT

Ngày nhận: 01/08/2024

Ngày nhận lại: 23/05/2025

Duyệt đăng: 11/06/2025

Từ khóa:

Power World Simulator; phân bố công suất; vận hành hệ thống điện; ổn định hệ thống điện

Power World Simulator là phần mềm ứng dụng để mô phỏng hệ thống điện. Bài báo này nghiên cứu vận hành tối ưu hệ thống điện 7 nút và đề xuất biện pháp giải quyết tắc nghẽn đường dây truyền tải khi hệ thống điện gặp sự cố làm ổn định thị trường giá điện. Phương pháp giải quyết tắc nghẽn dựa trên tái điều độ các nguồn phát, cực tiểu tổng chi phí vận hành, bù công suất phản kháng, lắp thêm thiết bị FACTS trên đường dây và xây dựng đường dây mới trong quy hoạch dài hạn. Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu quả về kinh tế lẫn kỹ thuật khi vận hành hệ thống điện và giải quyết tắc nghẽn đảm bảo thị trường điện ổn định, có thể ứng dụng cho thị trường điện bán buôn cạnh tranh tại Việt Nam trong tương lai.

ABSTRACT

Keywords:

Power World Simulator; power distribution; power system operation; power system stability

Power World Simulator is an application software used for simulating power systems. This paper studies the optimal operation of a 7-bus power system and proposes solutions to transmission line congestion when system faults occur, in order to stabilize the electricity market prices. The congestion mitigation methods are based on redispatching generation units, minimizing total operating costs, compensating reactive power, installing FACTS devices on transmission lines, and constructing new lines in long-term planning. The simulation results demonstrate both economic and technical efficiency in power system operation and congestion management, helping to ensure a stable electricity market. These solutions can be applied to the competitive wholesale electricity market in Vietnam in the future.

1. Giới thiệu

Power World Simulator là phần mềm được ứng dụng thiết kế để mô phỏng hoạt động của hệ thống điện. Trong chế độ chuẩn Simulator giải bài toán trào lưu công suất bằng thuật toán Newton – Raphson. Mục đích của vận hành tối ưu là xác định cực tiểu hàm chi phí bằng cách thay đổi các ràng buộc cân bằng và không cân bằng công suất của máy phát.

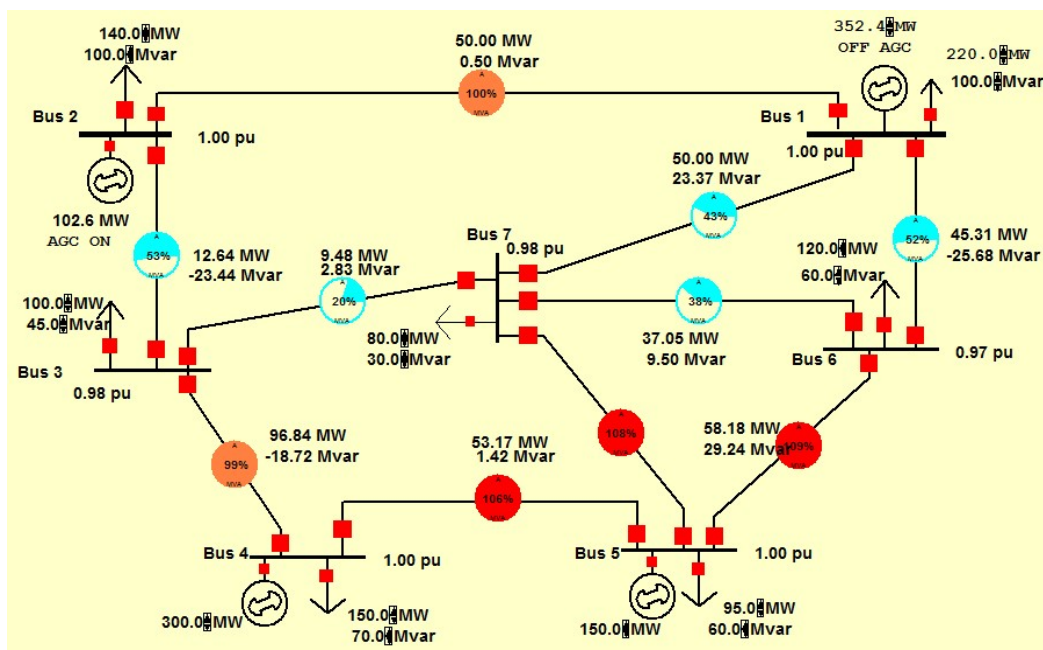
Vấn đề tắc nghẽn trên đường dây truyền tải thường xuyên xảy ra do nguyên nhân khách quan và chủ quan như thời tiết, nhu cầu thay đổi phụ tải hoặc tuổi thọ thiết bị điện cũng như hoạt động mua bán điện cạnh tranh thông qua chào giá, nhất là trong vận hành thị trường ngắn hạn. Việc tắc nghẽn truyền tải sẽ ảnh hưởng rất lớn đến điện áp tại các nút, tăng

tổn thất điện áp và tổn thất công suất, làm tăng giá điện nút tại các bus dẫn đến hệ thống điện không ổn định. Vì vậy, cần tìm ra giải pháp vận hành tối ưu hệ thống điện là bài toán cần được nghiên cứu. Phương pháp giải quyết tắc nghẽn bằng thiết bị FACTS được sử dụng trong [6]. Tuy nhiên, phương pháp này giá thành đầu tư cao, làm tăng chi phí toàn cục của hệ thống điện.

Trên cơ sở tối ưu hệ thống điện phải giữ cho mỗi thiết bị nằm trong phạm vi vận hành mong muốn ở chế độ xác lập. Điều này sẽ tính đến công suất phát cực đại và cực tiểu của máy phát, dòng công suất biểu kiến cực đại trên đường dây truyền tải và máy biến áp, cũng như điện áp nút của hệ thống nằm trong giới hạn cho phép. Do đó, tác giả chỉ quan tâm đến vận hành ở chế độ xác lập của hệ thống điện.

2. Xây dựng mô hình hệ thống điện 7 nút trong Power World Simulator

Trong bài báo này, ta tiến hành xây dựng mô hình hệ thống điện 7 nút bằng phần mềm Power World Simulator nhằm vận hành tối ưu để ổn định hệ thống điện, đảm bảo giá thị trường giá điện. Sơ đồ hệ thống điện 7 nút như sau:



Hình 1: Sơ đồ hệ thống điện 7 nút

Để đạt được mục đích vận hành tối ưu hệ thống điện, sẽ thực thi các chức năng điều khiển ở chế độ xác lập. Các chức năng này gồm điều khiển máy phát và điều khiển hệ thống truyền tải. Đối với máy phát, sẽ điều khiển công suất tác dụng đầu ra và điện áp của máy phát. Đối với hệ thống truyền tải, điều khiển tỉ số nấc phân áp của máy biến áp điều áp dưới tải hoặc góc dịch pha của máy biến áp, điều khiển chuyển mạch rẽ nhánh và tất cả các thiết bị bảo vệ. Bài toán tối ưu xác định dữ liệu chi phí biên của hệ thống. Dữ liệu chi phí này dùng để phân tích định giá của sự truyền công suất tác dụng cũng như định giá các dịch vụ phụ trợ như điều khiển điện áp bằng cách điều khiển bù công suất phản kháng.

Các thông số máy phát, thông số đường dây của hệ thống điện 7 nút được trình bày trong các bảng 1; 3 và hàm chi phí máy phát được tuyến tính hóa trong bảng 2 như sau:

Bảng 1

Thông số nút của mô hình hệ thống điện 7 nút

STT	Nút	V (pu)	PL (MW)	QL (MVar)	PGen (MW)
1	1	1.00	220	100	393.89
2	2	1.00	140	100	198
3	3	1.00	90	50	0
4	4	1.00	150	70	243.11
5	5	1.00	95	60	250
6	6	0.97	190	40	0
7	7	0.97	200	90	0

Bảng 2

Hàm chi phí của các máy phát

STT	MW	\$/MWhr
1	100.0	12.13
2	101.0	12.13
3	102.0	12.14
4	103.0	12.14
5	104.0	12.14
6	105.0	12.14
7	106.0	12.15
8	107.0	12.15

Bảng 3

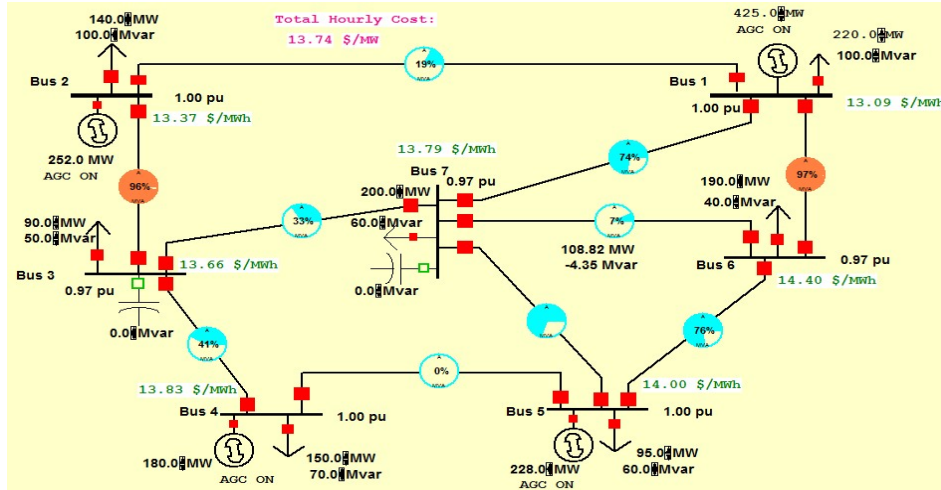
Thông số đường dây của mô hình hệ thống điện 7 nút

STT	Từ nút	Đến nút	R (pu)	X (pu)	B (pu)	Dung lượng (MVA)
1	1	2	0	0.1	0	100
2	6	1	0	0.1	0	120
3	7	1	0	0.1	0	150
4	2	3	0	0.1	0	100
5	3	4	0	0.1	0	100
6	3	7	0	0.1	0	100
7	4	5	0	0.1	0	100
8	5	6	0	0.1	0	100
9	7	5	0	0.1	0	100
10	7	6	0	0.1	0	100

3. Kết quả mô phỏng hệ thống điện và đề xuất giải pháp giảm thiểu tắc nghẽn

3.1. Kết quả mô phỏng hệ thống điện 7 nút khi vận hành chế độ xác lập.

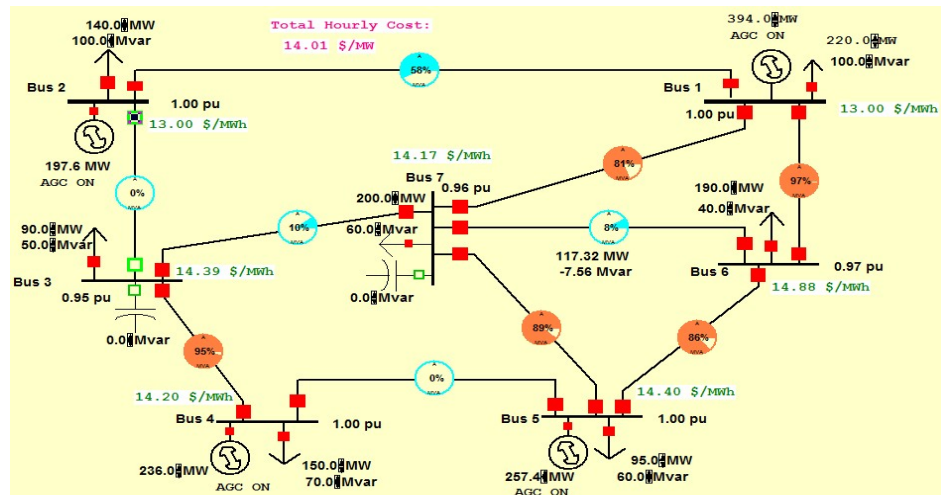
Khi tải hoạt động đúng yêu cầu thiết kế xây dựng ban đầu thì hệ thống điện 7 nút ổn định với giá điện thị trường là 13.74 \$/MWh. Điện áp các nút đạt yêu cầu cho phép từ 0.97pu đến 1.0pu. Kết quả mô phỏng hệ thống điện 7 nút kết hợp với giá điện thị trường được trình bày như hình 2.



Hình 2: Kết quả mô phỏng hệ thống điện 7 nút ở chế độ xác lập

3.2. Kết quả mô phỏng khi hệ thống điện khi sự cố đứt đường dây từ bus 2 đến bus 3

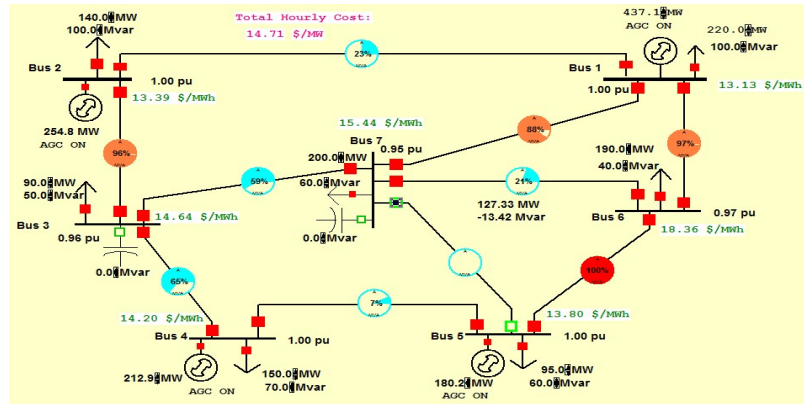
Khi khi sự cố đứt đường dây từ bus 2 đến bus 3 thì điện áp sụt giảm tại bus 3 (từ 0.97pu xuống 0.95pu) và bus 7 (từ 0.97pu xuống 0.96pu) gây mất ổn định tĩnh, dẫn đến giá điện nút tại các bus (3; 4; 5; 6; 7) cũng có sự biến động. Trong đó, biến động nhiều nhất ở bus 3 (từ 13.66 \$/MWh lên 14.39 \$/MWh) và giá điện nút tại bus 6 cao nhất là 14.88 \$/MWh làm mất ổn định thị trường điện cạnh tranh. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3: Kết quả mô phỏng hệ thống điện 7 nút khi sự cố đứt đường dây từ bus 2 đến bus 3

3.3. Kết quả mô phỏng khi hệ thống điện bị sự cố đứt đường dây từ bus 6 đến bus 7

Khi khi sự cố đứt đường dây từ bus 6 đến bus 7 thì điện áp sụt giảm nhiều tại bus 7 (từ 0.97pu xuống 0.95pu) gây mất ổn định tĩnh, cần có giải pháp ổn định cho hệ thống điện. Sự cố nặng nề nhất là đường dây từ bus 5 đến bus 6 quá tải 100%, dẫn đến giá điện nút tại các bus có biến động tăng giá. Trong đó, tăng nhiều ở bus 6 (từ 14.40 \$/MWh lên 18.36 \$/MWh), kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình 4.

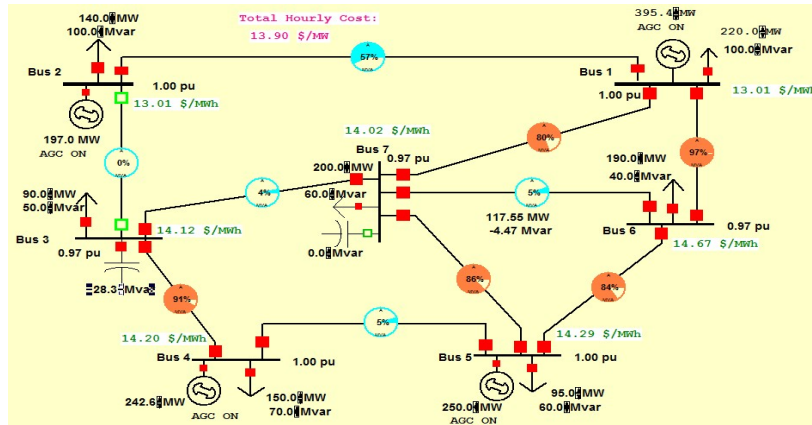


Hình 4: Kết quả mô phỏng hệ thống điện khi sự cố đứt đường dây từ bus 6 đến bus 7

3.4. Đề xuất giải pháp giảm thiểu tắc nghẽn hệ thống điện

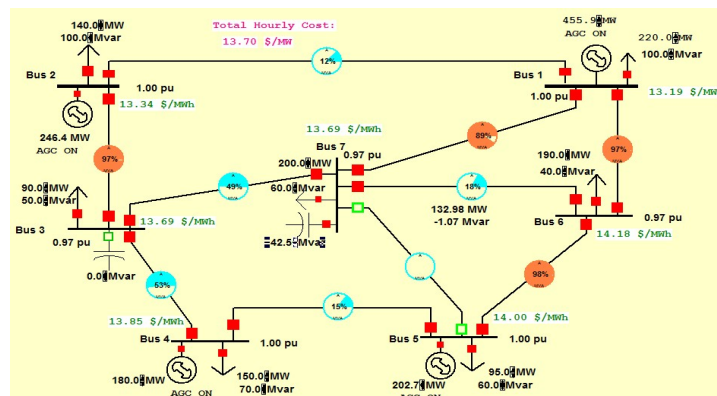
Giải pháp: Tiến hành lắp thêm tụ bù công suất phản kháng để xử lý các vấn đề tắc nghẽn trên đường dây nhằm ổn định thị trường giá điện nút tại các bus tắc nghẽn.

Để giải quyết giảm thiểu tắc nghẽn khi sự cố đứt đường dây từ bus 2 đến bus 3, giảm tổn thất điện áp, giảm tổn thất công suất và ổn định giá điện thị trường tại các bus. Ta thực hiện bù công suất phản kháng 28.3 Mvar tại bus 3. Khi đó điện áp tại các nút đạt từ 0.97pu đến 1.00pu thỏa chỉ tiêu kỹ thuật và giá điện thị trường ổn định của hệ thống điện 7 bus là 13.90 \$/MWh đạt chỉ tiêu kinh tế. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình 5.



Hình 5: Kết quả mô phỏng hệ thống điện sau khi bù công suất phản kháng tại bus 3

Và thực hiện bù công suất phản kháng 42.5 Mvar tại bus 7 khi sự cố đứt đường dây từ bus 5 đến bus 7. Khi đó điện áp tại các nút đạt từ 0.97pu đến 1.00pu và giá điện thị trường ổn định mức 13.70\$/MWh. Kết quả mô phỏng như Hình 6.



Hình 6: Kết quả mô phỏng hệ thống điện sau khi bù công suất phản kháng tại bus 7

Như vậy, với giải pháp bù công suất phản kháng khi hệ thống điện gặp sự cố đứt dây thì hiện tượng tắc nghẽn trên đường dây làm mất ổn định tĩnh hệ thống điện và biến động giá tăng giá điện nút tại các bus đã được xử lý thỏa chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật. Trong bài báo, tác giả đã đưa giá điện thị trường ổn định trở lại đạt mức giá 13.90 \$/MWh gần đơn giá mong muốn ban đầu 13.70 \$/MWh. Các mô hình hệ thống điện nhiều hơn 7 nút và giải pháp mới sẽ tiếp tục được nghiên cứu, phát triển nhằm cải thiện tình trạng tắc nghẽn đường dây của hệ thống điện và ổn định thị trường giá điện theo thời gian thực.

4. Kết luận

Để giải quyết các vấn đề tắc nghẽn trong thị trường điện, tác giả sử dụng phần mềm Power World Simulator mô phỏng bài toán giá điện nút tại các bus và giải quyết tắc nghẽn đường dây cho hệ thống điện 7 nút, phân tích ảnh hưởng của sự cố trên đường dây đến giá điện của thị trường điện. Bài báo nghiên cứu vận hành tối ưu mô hình hệ thống điện 7 nút đáp ứng tốt các chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật. Điện áp vận hành tại các nút ổn định từ 0.97pu đến 1.0pu, giá điện tại các nút ổn định với đơn giá thị trường điện ban đầu là 13.74 \$/MWh. Kết quả thực hiện giải pháp đề xuất bù công suất phản kháng tại các nút có điện áp không thỏa chỉ tiêu kỹ thuật, giúp cho hệ thống hoạt động ổn định hơn, giảm thiểu tác động đường dây bị tắc nghẽn. Theo đó, giá điện ở các nút không chênh lệch lớn so với đơn giá thị trường điện ban đầu. Ngoài ra, để giải quyết tắc nghẽn triệt để, có thể phát triển các giải pháp mới như qui hoạch lắp thêm đường dây mới, lắp thêm thiết bị FACTS để cải thiện biên độ điện áp và chia nhỏ giải quyết từng phần nguyên nhân gây ra tắc nghẽn.

Tài liệu tham khảo

Lê, M. T. (2015). Nghiên cứu giá điện và thị trường các dịch vụ phụ trợ trong thị trường điện. *Hutech*.

Nguyễn, K. L. (2022). Mô phỏng thị trường điện bán buôn: giải quyết tắc nghẽn và các yếu tố ảnh hưởng giá điện. *Tạp chí Tự động hóa ngày nay*.

Doãn, T. C, Nguyễn T. T. (2016). Ứng dụng bài toán tối ưu hóa trào lưu công suất để phân tích ổn định điện áp của hệ thống điện. *Tạp chí Khoa học, Đại học Hồng Đức*.

Arner, D.W. Barberis, J. Buckley, R.P. (2015). The Evolution of FinTech: A New Post-Crisis Paradigm. *University of Hong Kong's Faculty of Law*.

Yousefifi, T.T. Nguyen, H. Zareipour, O.P. (2012). Congestion Management using Demand Response and FACTS devices. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*.

Murali, M. S. Kumari, M. (2013). An Overview of Transmission Pricing Methods in A Pool Based Power Market. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*.