

LỰA CHỌN THIẾT BỊ ĐỂ HỖ TRỢ ỔN ĐỊNH HỆ THỐNG ĐIỆN KHI ĐÁU NỔI NHÀ MÁY ĐIỆN MẶT TRỜI CÔNG SUẤT LỚN

SELECTION OF DEVICES TO SUPPORT POWER SYSTEM STABILITY WHEN CONNECTED WITH LARGE-SCALE PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS

Đinh Thành Việt¹, Lê Cao Quyền², Trần Việt Thành²

¹Dại học Đà Nẵng; dtviet@ac.udn.vn,

²Công ty Cổ phần Tư vấn xây dựng Điện 4; lecaoquyen@gmail.com, tranvietthanh90@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo nghiên cứu các tác động của nhà máy điện (NMD) mặt trời có công suất lớn tại khu vực tỉnh Đắk Lắk (quy hoạch năm 2025). Thực hiện mô hình hóa các thiết bị điện, BESS, STATCOM, mô hình toán học của pin mặt trời, cấu trúc lưới điện trên phần mềm PSS/E phù hợp với quy hoạch điện năm 2025. Thực hiện giả định các kịch bản nguy hiểm bằng cách thay đổi cường độ bức xạ mặt trời, mô phỏng các sự cố ngắn mạch 3 pha trên đường dây truyền tải có đấu nối với nhà máy điện mặt trời. Các kết quả nghiên cứu tập trung vào sự dao động của tần số và điện áp theo các kịch bản nguy hiểm. Để nâng cao hơn sự ổn định của hệ thống điện, bài báo đề xuất ứng dụng các thiết bị STATCOM, BESS lắp đặt tại thanh cái 220 kV nhà máy điện mặt trời, đồng thời so sánh và lựa chọn thiết bị BESS để hỗ trợ ổn định hệ thống điện khi nhà máy điện mặt trời công suất lớn đấu nối vào hệ thống.

Từ khóa - điện mặt trời; BESS; MPPT; cường độ bức xạ mặt trời; STATCOM; hệ thống điện.

1. Đặt vấn đề

Nghiên cứu kết nối điện mặt trời với hệ thống điện hiện hữu đang là vấn đề quan tâm của nhiều quốc gia trên thế giới, trong đó có Việt Nam. Hiện tại, trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về tác động của các nhà máy điện mặt trời công suất lớn đối với lưới điện, chẳng hạn như [1], [2]. Tại Việt Nam hiện nay vẫn chưa có các nhà máy điện mặt trời có công suất và quy mô lớn, nên mới chỉ có các công trình nghiên cứu những ảnh hưởng đến lưới điện liên quan đến điện mặt trời công suất nhỏ, lắp mái, tác động đến các lưới điện phân phối. Khi tỷ trọng điện mặt trời tăng dần, cần có các nghiên cứu sâu hơn về sự ảnh hưởng của điện mặt trời công suất lớn đối với lưới điện Việt Nam. Trong bối cảnh đó, bài báo tiến hành nghiên cứu các tác động của nhà máy điện mặt trời có công suất lớn khu vực tỉnh Đắk Lắk (quy hoạch đến năm 2025).

Theo Tổng sơ đồ điện VII (TSĐ VII) hiệu chỉnh, tính đến năm 2025 cơ cấu nguồn điện sử dụng năng lượng tái tạo rất lớn, chiếm đến 12,5%, trong đó điện mặt trời chiếm tỷ trọng cao nhất [3]. Chỉ riêng đối với tỉnh Đắk Lắk, quy hoạch nguồn điện mặt trời khu vực huyện Ea Súp của tỉnh lên đến gần 1.400 MW tính đến năm 2025. Công suất điện mặt trời lớn ảnh hưởng đến chất lượng điện năng của khu vực đầu nối, nhất là khi bị gián đoạn bởi bức xạ mặt trời. Ngoài ra, sự cố ngắn mạch trên lưới điện có đấu nối với nguồn điện mặt trời công suất lớn cũng gây ra những ảnh hưởng tương tự đến tần số, ổn định hệ thống điện phải quan tâm. Để giải quyết vấn đề này, hiện tại có rất nhiều thiết bị hỗ trợ, tuy nhiên theo [4] thì thiết bị bù STATCOM phù hợp với ổn định hệ thống điện Việt Nam, ngoài ra, với đặc tính của thiết bị BESS có khả năng nạp và xả năng lượng khi cần thiết nên rất phù hợp để hỗ trợ hệ thống khi có tích

Abstract - This paper investigates the impacts of a large-scale photovoltaic power plant in Dak Lak province (planning for 2025). The model of electrical devices, BESS, STATCOM, mathematical models of photovoltaic grid structure have been implemented based on PSS/E software with the power planning for 2025. The risk scenarios by changing intensity of the solar radiation, simulating the three-phase short-circuit on the transmission lines connected to the solar power plant have been presented. The research results focus on frequency and voltage oscillation in dangerous scenarios. To enhance stability of the power system, the paper suggests installing STATCOM, BESS devices at the 220 kV busbar of the solar power plant, to compare their advantages, and to select the BESS device in supporting stability of the power system when a large-scale power plant is connected to the system.

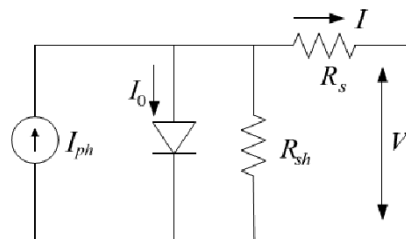
Key words - photovoltaic cell; BESS; MPPT; solar intensity; STATCOM; power system.

nguồn năng lượng tái tạo. Do đó, bài báo đề xuất sử dụng thiết bị BESS (Battery Energy Storage System - Hệ thống Pin tích năng) so sánh với việc sử dụng STATCOM thông qua đánh giá ưu điểm của từng loại thiết bị đối với các tác động phục hồi tần số cũng như ổn định hệ thống. Phần mềm PSS/E-33 được sử dụng trong quá trình mô phỏng, phân tích giải quyết vấn đề này.

2. Mô hình hóa thiết bị

2.1. Pin mặt trời

Pin mặt trời (viết tắt là PV cell) có đặc tính V-I đặc biệt, chịu ảnh hưởng khi thay đổi trở kháng tải, cường độ bức xạ và nhiệt độ. Các PV cell có công suất cực đại khi nó vận hành tại điểm nối giữa đặc tính nguồn dòng và nguồn áp. Thuật toán chọn điểm làm việc cực đại (Maximum Power Point Tracking – MPPT) đảm bảo PV cell có thể vận hành ở điểm có công suất cực đại.



Hình 1. Mô hình thiết bị PV

PV cell là mô hình nguồn dòng, I_{ph} phát ra dòng điện do hiệu ứng quang điện và dòng điện bão hòa ngược. I_0 là dòng qua diode. Trong mô hình còn có R_s là điện trở nối tiếp chính, điện trở của cell, điện trở dây dẫn, điện trở bề mặt; R_{sh} là điện trở song song tạo ra hiện tượng dòng rò theo rìa

của PV cell và dòng rò dọc theo vết nứt nhỏ và các hạt. Mối quan hệ vật lý giữa dòng điện và điện áp được thể hiện theo công thức bên dưới [5]:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+R_s I)}{nKT}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

Trong đó: I là dòng điện ra của cell;

V là điện áp của cell;

I_{ph} là dòng điện phát ra từ hiện tượng quang điện;

I_0 là dòng điện bão hòa của diốt;

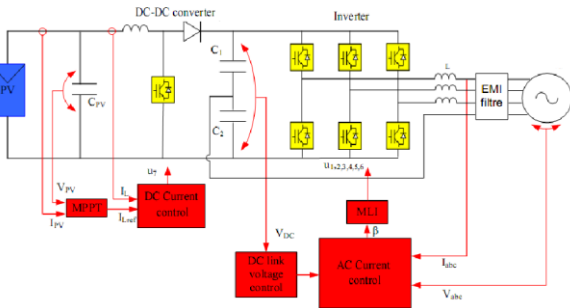
q là điện tích của electron;

k là hằng số Boltzman;

T là nhiệt độ môi trường, n là hệ số lý tưởng.

2.2. Thuật toán chọn điểm làm việc cực đại (MPPT)

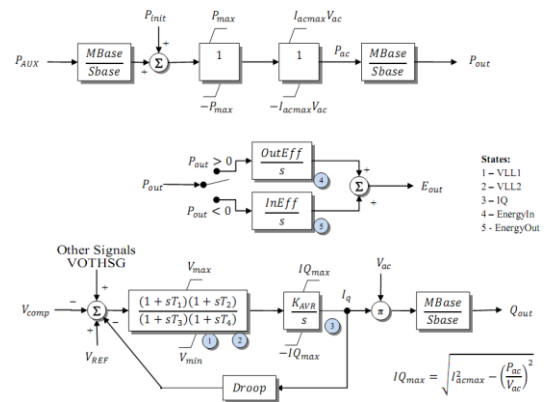
Mục tiêu của việc dùng MPPT trong nhà máy PV là để tối đa hóa công suất đầu ra của pin PV và nâng cao hiệu suất làm việc của việc biến đổi năng lượng. Các công nghệ MPPT được giới thiệu trong tài liệu [6] và cả 2 thuật toán xác định điểm làm việc có công suất lớn nhất Incremental Conductance (INC – thuật toán điện dẫn gia tăng) và Perturbation & Observation (P&O – thuật toán nhiễu loạn và quan sát) cũng đã được mô hình hóa. Tuy nhiên, theo [7] mô hình INC được dùng để mô phỏng động vì đây là phương pháp khắc phục những nhược điểm của phương pháp P&O như sẽ cho kết quả tốt nhất khi thời tiết thay đổi nhanh. Vì vậy, bài báo sử dụng thuật toán INC để mô phỏng. Nguyên lý làm việc của thuật toán là so sánh giá trị điện dẫn tức thời (I/V) với giá trị điện dẫn gia tăng INC (dI/dV). Tại điểm công suất cực đại INC (dI/dV) bằng với điện dẫn tức thời (I/V), nghĩa là độ dốc của đường cong công suất bằng 0. Khi điện dẫn gia tăng bé hơn hoặc lớn hơn điện dẫn tức thời thì điện áp đầu ra của PV hoặc tăng lên hoặc giảm xuống (Hình 2).



Hình 2. Cấu trúc mô hình PV nối lưới có MPPT

2.3. Mô hình Battery Energy Storage System – BESS

Trong vài trường hợp do cường độ bức xạ thay đổi, ngắn mạch trên lưới PV, ... dẫn đến dao động công suất ảnh hưởng đến tần số gây mất cân bằng hệ thống buộc phải sa thải các phụ tải liên quan, gây ra sự mất ổn định hệ thống điện. Thiết bị BESS có thể dùng để nâng cao ổn định hệ thống khi cần thiết, vì nó có thể hấp thụ công suất từ lưới hoặc đẩy công suất lên hệ thống trong trường hợp khẩn cấp. Nếu công suất thiết bị BESS là đủ để hấp thụ hoặc đẩy toàn bộ công suất cần thiết của hệ thống trong trường hợp khẩn cấp thì sẽ giúp giảm thiểu sự mất ổn định về tần số.



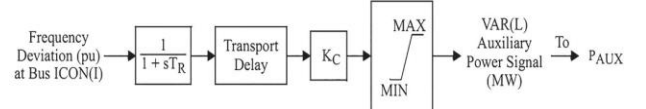
Hình 3. Mô hình thiết bị BESS

2.3.1. Mô hình trào lưu công suất thiết bị BESS

BESS sử dụng trong PSS/E có tên gọi là CBEST. Nó được mô hình hóa như một máy phát thông thường với trở kháng nguồn lớn. Do trở kháng nguồn lớn nên sự tham gia của nó không ảnh hưởng đến việc phân tích trào lưu công suất ở chế độ xác lập.

2.3.2. Mô hình động thiết bị BESS

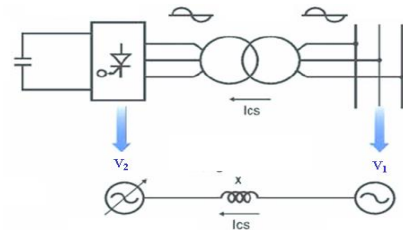
Mô hình động CBEST đại diện và đặc tính động của thiết bị BESS. Nó mô phỏng giới hạn của trào lưu công suất pin (P_{max} và $-P_{max}$) và giới hạn dòng điện AC của bộ chuyển đổi (I_{ACmax} và $-I_{ACmax}$). Nó cũng tính tổng năng lượng ra (E_{out}) của pin bằng cách nhân công suất ra (P_{out}) với thời gian, có xét đến hiệu suất của việc lưu trữ và tổn thất năng lượng. Công suất ra dương thể hiện pin đang xả, khi công suất ra âm thể hiện pin đang sạc. Mô hình này thể hiện công suất định mức đủ lớn đáp ứng tất cả các yêu cầu về năng lượng trong quá trình mô phỏng, vì vậy nó có thể sạc và xả vào bất kỳ thời gian nào, không xác định và ở bất kỳ mức nào.



Hình 4. Mô hình thiết bị điều khiển BESS

2.4. Mô hình thiết bị STATCOM

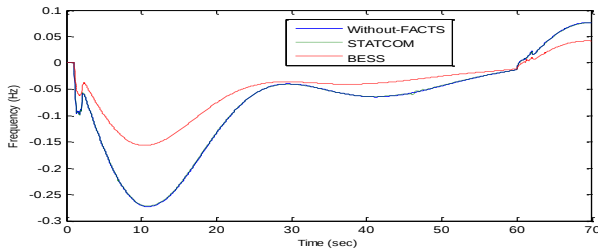
Nguyên lý tạo công suất bù bằng bộ nghịch lưu điện áp được thể trên Hình 5. X là điện của máy biến áp. Bộ nghịch lưu áp sẽ được điều khiển để tạo điện áp 3 pha cùng tần số của điện áp hệ thống. Mỗi áp pha tạo nên bởi bộ nghịch lưu áp sẽ cùng pha với điện áp hệ thống và điện áp tạo thành đó mắc liên kết vào hệ thống lưới điện nhờ máy biến áp liên kết, điện kháng X thường có giá trị nhỏ.



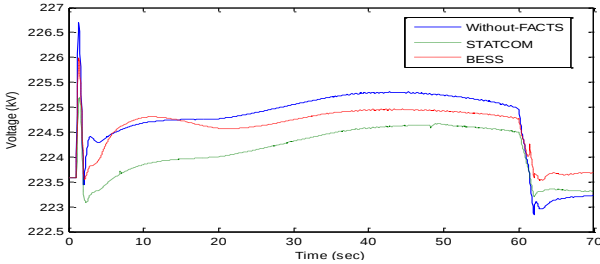
Hình 5. Mô hình STATCOM và sơ đồ tương đương

Mô hình hàm truyền điều khiển STATCOM được thể hiện bên dưới:

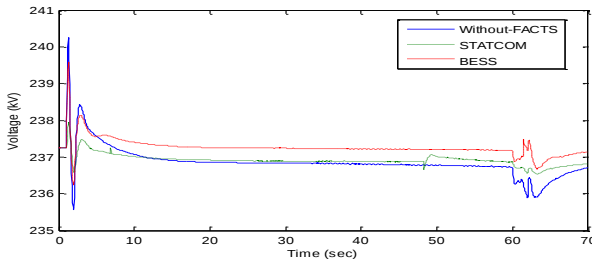
trời thay đổi, tần số hệ thống xảy ra dao động, nhận thấy ứng dụng thiết bị BESS đã giảm sự dao động với 2 trường hợp không ứng dụng thiết bị FACTS và ứng dụng thiết bị STATCOM.



Hình 11. Dao động tần số tại thanh cái 220 kV Không Buk

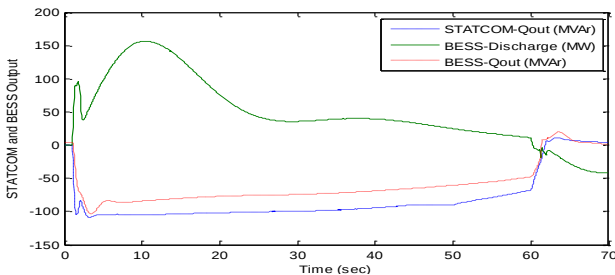


Hình 12. Dao động điện áp tại thanh cái 220 kV Không Buk



Hình 13. Dao động điện áp tại thanh cái 220 kV trạm Solar Buôn Đôn

Hình 12 – 13 thể hiện sự dao động điện áp tại thanh cái 220 kV trạm 220 kV Không Buk và Nhà máy Solar Buôn Đôn. Trường hợp ứng dụng thiết bị STATCOM và BESS chất lượng điện áp được cải thiện và ổn định hơn so với không có thiết bị FACTS.



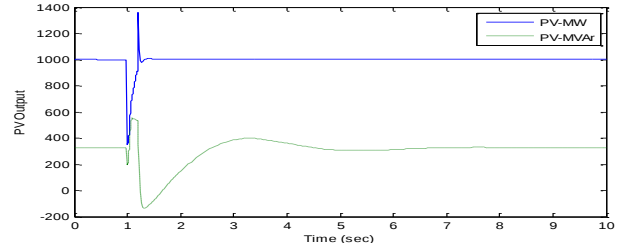
Hình 14. Đáp ứng công suất phản kháng của STATCOM và vận hành của BESS (xả)

Với các kết quả mô phỏng trên, có thể nhận thấy rằng, trường hợp cường độ bức xạ mặt trời thay đổi đột ngột đã gây ra sự gián đoạn về phát công suất của nhà máy điện mặt trời. Hình 11 – 14 là các so sánh của 3 trường hợp có và không có lắp đặt thiết bị hỗ trợ. Kết quả mô phỏng cho thấy, trong quá trình dao động, thiết bị BESS ổn định tần số rất tốt, độ lệch tần số thấp. Trong khi đó, STATCOM không tham gia vào việc ổn định tần số này. Điều này có nghĩa rằng, khi hệ thống bị mất công suất tác dụng thì thiết bị BESS đã

tham gia hỗ trợ bù đắp một phần lượng công suất này. Trong khi đó, STATCOM chỉ với chức năng phát/thu công suất phản kháng sẽ không tham gia hỗ trợ công suất tác dụng. Đối với ổn định điện áp, tại thời điểm bức xạ giảm về 0, STATCOM giữ điện áp khá tốt. Tuy nhiên giai đoạn trở về xác lập, BESS điều khiển biên độ điện áp trở về xác lập với đáp ứng thời gian nhanh hơn so với STATCOM.

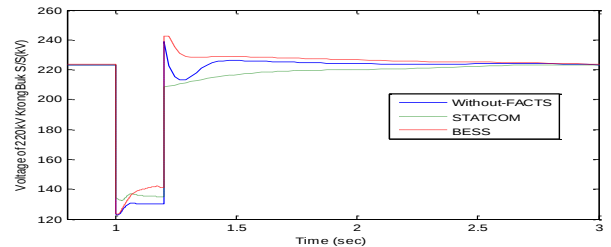
3.1.2. Sự cố ngắn mạch

Xem xét trường hợp cắt loại trừ sự cố 3 pha trên 1 mạch đường dây 220 kV Không Buk - Chư Sê với thời gian tồn tại sự cố 0,2 s. Điểm sự cố nằm gần TBA 220 kV Không Buk. Trường hợp này bức xạ mặt trời đang tính toán ở mức 1.000 W/m^2 .



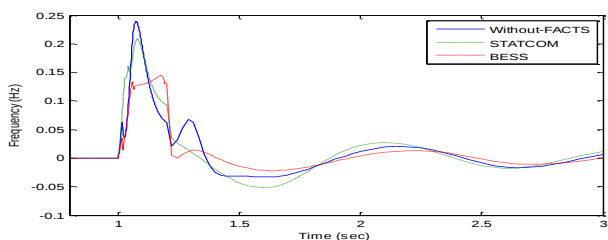
Hình 15. Đáp ứng công suất phát của Solar Buôn Đôn

Hình 15 thể hiện công suất phát của nhà máy điện mặt trời khi xảy ra sự cố trên hệ thống điện. Trong thời gian sự cố, công suất của nhà máy có sự dao động và giảm thấp, tuy nhiên, sau khi loại trừ sự cố thì công suất tác dụng của nhà máy phục hồi ngay lập tức nhưng công suất phản kháng phát vẫn dao động kéo dài khoảng 2 s.

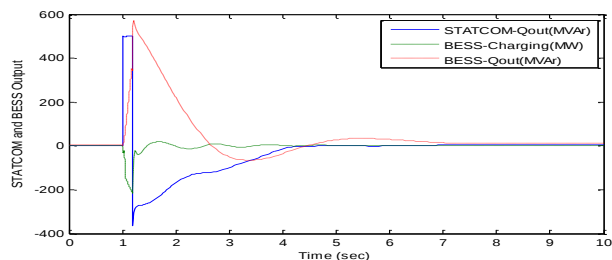


Hình 16. Dao động điện áp tại thanh cái 220 kV Không Buk

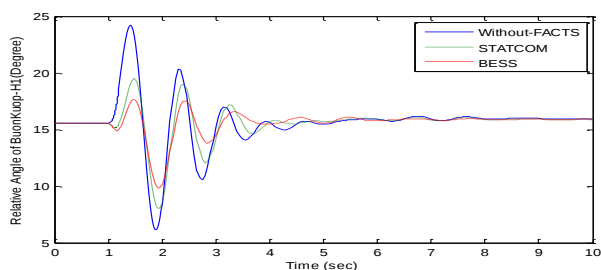
Các tính toán cho thấy, khi sự cố công suất phát của Nhà máy Solar Buôn Đôn giảm xuống thấp, sẽ được phục hồi khi sự cố được loại trừ. Hình 15 thể hiện đáp ứng công suất của nhà máy. Hình 16 thể hiện dao động điện áp tại thanh cái 220 kV Không Buk. Trong thời gian sự cố, công suất phát của nhà máy có sự dao động, sau khi sự cố được loại trừ thì công suất nhà máy trở về ổn định. Sự phục hồi công suất của Nhà máy Solar Buôn Đôn không giống như các nhà máy điện quay và nó phục hồi nhanh hơn. Với lưới điện có tham gia của STATCOM hoặc BESS, sự dao động của hệ thống được cải thiện nhiều hơn. Theo kết quả mô phỏng, BESS kiểm soát ổn định tốt hơn so với STATCOM xét trên tiêu chí đáp ứng tần số của hệ thống (Hình 17) và dao động góc rotor của các tổ máy phát gần khu vực nhà máy (Hình 19), do ngoài hỗ trợ về công suất phản kháng (Hình 18) thì BESS còn hỗ trợ công suất tác dụng. Đổi lại, về điện áp, thiết bị STATCOM linh hoạt hơn và ổn định tốt hơn thiết bị BESS trong thời gian sự cố (Hình 16), ưu điểm này là do STATCOM đáp ứng thời gian cung cấp đến giá trị công suất cực đại rất nhanh. Giai đoạn sau sự cố BESS và STATCOM có thể đánh giá là như nhau.



Hình 17. Dao động tần số tại thanh cái 220 kV Không Bk



Hình 18. Đáp ứng công suất phản kháng của STATCOM và vận hành của BESS (nạp)



Hình 19. Dao động góc rotor máy phát Buôn Kuốp-H1

4. Kết luận

Bài báo thực hiện xây dựng các mô hình thiết bị PV, STATCOM, BESS trên phần mềm PSS/E-33 với khảo sát phân tích ổn định hệ thống qua các trường hợp sự cố nghiêm trọng trong quá trình vận hành. Các kết quả phân tích thấy rằng, Nhà máy Solar Buôn Đôn tạo ra các ảnh hưởng về điện áp cũng như tần số đến hệ thống, tuy nhiên sự dao động này vẫn nằm trong phạm vi cho phép của Thông tư 25/2016/TT – BCT [9]. Nhưng với mục tiêu nâng

cao chất lượng điện năng, tăng độ ổn định của hệ thống điện, bài báo xem xét 2 giải pháp tích hợp vào hệ thống PV là sử dụng thiết bị STATCOM hoặc BESS.

Để nâng cao ổn định về tần số và điện áp khi tích hợp nguồn điện mặt trời công suất lớn thì thiết bị BESS có ưu điểm hơn so với STATCOM. Vì vậy, bài báo kiến nghị ứng dụng thiết bị BESS cho việc hỗ trợ ổn định tần số và điện áp cho hệ thống điện có kết nối NMD mặt trời công suất lớn.

Do đặc tính của thiết bị BESS là có khả năng nạp và xả năng lượng khi cần thiết, vì vậy BESS rất phù hợp với việc hỗ trợ nhà máy điện mặt trời công suất lớn cũng như hệ thống. Ngoài sự ổn định, BESS có thể hỗ trợ về chạy phụ đỉnh (san bằng đồ thị phụ tải) – giảm tổn thất truyền tải, tăng khả năng phát công suất (cung cấp dự phòng quay).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rakibuzzaman Shah, Nadarajah Mithulananthan, Arthit – Sode - Yome and Kwang. Y. Lee, *Impact of Large-Scale PV Penetration on PowerSystem Oscillatory Stability*, Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE.
- [2] Daniel Noel, Felipe Sozinho, Dwight Wilson, Kenan Hatipoglu, *Analysis of Large Scale Photovoltaic Power System Integration into the Existing Utility Grid Using PSAT*, SoutheastCon, 2016 IEEE.
- [3] Quyết định số 428/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ về việc Phê duyệt điều chỉnh Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia giai đoạn 2011 - 2020 có xét đến năm 2030.
- [4] Nguyễn Hồng Anh, Lê Cao Quyền, “Lựa chọn thiết bị bù công suất phản kháng tối ưu cho lưới điện 500kV Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, Số 3(26), 2008.
- [5] JAGow, C. D. Manning, “Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies”, *IEE Proc. Electr. Power Appl.*, Vol. 146, No. 2, March 1999
- [6] Trishan Esum, Patrick L. Chapman, *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 22, No. 2, June 2007.
- [7] Tae-Yeop Kim, Ho-Gyun Ahn, Seung-Kyu Park, Youn-Kyu Lee, *A Novel Maximum Power Point Tracking Control For Photovoltaic Power Systems Under Rapidly Changing Solar Radiation*, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics Proceedings*, Vol. 2, 2001, pp. 1011-1014.
- [8] PSS/E documentation, version 33.0.0
- [9] Quyết định số 25/2016/TT – BCT ngày 30/11/2016, *Thông tư quy định hệ thống truyền tải điện*.

(BBT nhận bài: 13/09/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 25/10/2017)