

ỨNG DỤNG CẤU TRÚC HỆ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO LAI NHẪM NÂNG CAO KHẢ NĂNG TÍCH HỢP NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI CHO PHỤ TẢI SÂN BAY

APPLICATION OF HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM IN THE SOLAR POWER INTEGRATION CAPACITY FOR AIRPORT LOAD

Nguyễn Hữu Hiếu¹, Nguyễn Văn Tấn^{1*}, Trương Thị Bích Thanh¹, Nguyễn Văn Thiên Sơn¹,
Nguyễn Văn Xuân¹, Trương Thế Khánh¹

¹Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: tan78dnhk@dut.udn.vn

(Nhận bài: 28/10/2020; Chấp nhận đăng: 15/01/2021)

Tóm tắt - Hiện nay, việc tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo vào hệ thống điện ngày càng nhiều nhằm đáp ứng nhu cầu phụ tải tăng cao, thay thế những nguồn năng lượng sử dụng nhiên liệu hóa thạch, hạn chế ô nhiễm môi trường. Tuy nhiên, những nguồn năng lượng tái tạo này dễ bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bất định như bức xạ mặt trời, nhiệt độ, sức gió, ... nên khó khăn trong việc ổn định tần số và điện áp, đặc biệt đối với các phụ tải nhạy cảm như phụ tải sân bay. Nhiều giải pháp được đưa ra giúp ổn định tần số và điện áp trong đó có phương pháp sử dụng hệ thống lưu trữ. Bài báo đề xuất mô hình hệ năng lượng tái tạo lai kết hợp với hệ thống lưu trữ lại cho phụ tải sân bay, sau đó phân tích, đánh giá vai trò của hệ thống lưu trữ trong ổn định tần số ở phụ tải sân bay vận hành ở chế độ độc lập khi tích hợp thêm năng lượng mặt trời và các kết quả được mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink.

Từ khóa - Hệ năng lượng tái tạo lai; Nguồn năng lượng phân tán; Hệ thống lưu trữ lại; Ổn định tần số.

1. Đặt vấn đề

Với sự phát triển mạnh của các ngành công nghiệp dẫn đến nhu cầu tiêu thụ năng lượng tăng cao trong khi nguồn nhiên liệu hóa thạch ngày càng cạn kiệt. Nhiều câu hỏi được đặt ra là làm sao để vẫn đáp ứng được nhu cầu năng lượng phục vụ cho việc phát triển trong khi vẫn cắt giảm được lượng khí CO₂ phát thải do quá trình sản xuất điện năng gây ra? Và phát triển nguồn năng lượng tái tạo là câu trả lời tốt nhất để giải quyết các vấn đề trên. Năng lượng tái tạo có lợi thế cạnh tranh vì chúng cung cấp nguồn cung cấp năng lượng dài hạn dựa trên các nguồn sẵn có tại địa phương và do đó có thể giúp giảm sự phụ thuộc vào nhập khẩu năng lượng và các nguồn nhiên liệu hóa thạch [1]. Tuy nhiên, do đặc tính bất định và không thể điều độ của các nguồn năng lượng tái tạo gây ra khó khăn việc tích hợp chúng vào lưới điện. Để khắc phục những khó khăn trên, nhiều mô hình kết hợp sử dụng năng lượng tái tạo được đưa ra như: PV-Diesel, Wind-Diesel, PV-Wind-Diesel, ... gọi chung là hệ thống năng lượng tái tạo lai [1].

Hệ thống năng lượng tái tạo lai là thuật ngữ được sử dụng để mô tả bất kỳ một hệ thống năng lượng nào có nhiều hơn 1 loại máy phát [1]. Cấu trúc thông thường của chúng gồm một hoặc nhiều máy phát Diesel kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo điển hình như PV, gió. Cấu trúc này cho phép kết hợp linh hoạt các nguồn năng lượng tái tạo có tiềm

Abstract - Nowadays, many renewable energy sources are integrated into the power system to meet the increasing load demand as well as contribute to the replacement of conventional energy sources using fossil fuel and to the minimization of environmental pollution. However, these renewable energy sources are susceptible to uncertain factors (such as solar radiation, temperature, wind power, etc.) making it difficult to stabilize frequency and voltage, especially for sensitive loads such as airport loads. Various solutions are offered for frequency and voltage stability including the method of using storage systems. This paper proposes the structure of hybrid renewable energy system combined with hybrid energy storage system for airport load, then analyzes and evaluates the role of the storage system in frequency stability of airport loads operating in islanded mode with solar energy integration. The results are simulated using Matlab/Simulink software.

Key words - Hybrid renewable energy system; Distributed generation; Hybrid energy storage system; Frequency stability.

năng tại những địa phương khác nhau tạo thành nguồn độc lập mà không phải phụ thuộc vào lưới điện, đặc biệt là tại những nơi vùng sâu không có lưới điện và nguồn phát chủ yếu là máy phát Diesel có chi phí vận hành đắt đỏ. Với ưu điểm trên, nhiều mô hình nghiên cứu về các hệ thống lai đã được đưa ra như: Ruther R. [2] đưa ra nghiên cứu về mô hình kết hợp PV có công suất 25kWp với một máy phát Diesel 54 kW không có lưu trữ ở một ngôi làng phía bắc Brazil; Ajan [3] nghiên cứu khả năng và tính kinh tế của hệ thống sử dụng PV để bổ sung nguồn cung cấp dựa trên máy phát Diesel 150 kW tại một trường trung học không có lưới điện ở phía đông Malaysia.

Tuy nhiên, do công suất đầu ra của PV, gió bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thời tiết, nhiệt độ, vị trí lắp đặt và thời gian đáp ứng công suất chậm của máy phát Diesel gây ra dao động tần số dẫn đến hệ thống không ổn định. Nhiều nghiên cứu đã được tiến hành nhằm giảm ổn định tần số hệ thống khi có sự thâm nhập của các nguồn năng lượng tái tạo, trong đó có phương pháp sử dụng hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS) [4] – [7].

Hiện nay, ở các hộ phụ tải “nhạy cảm” loại 1 như sân bay, các khu công nghệ cao ... có rất nhiều tiềm năng về sử dụng năng lượng mặt trời. Tuy nhiên, vấn đề đặt ra là khi các hộ phụ tải này chuyển sang vận hành ở chế độ độc lập (do bị sự cố) thì việc vận hành ổn định và đảm bảo các

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Nguyen Huu Hieu, Nguyen Van Tan, Trương Thị Bích Thanh, Nguyen Van Thiên Sơn, Nguyen Van Xuan, Trương Thế Khanh)

yêu cầu về chất lượng điện năng hệ thống điện lai PV-Diesel là một thách thức. Bài báo tiến hành mô hình hóa hệ thống điện cho phụ tải là sân bay Đà Nẵng khi vận hành độc lập có tích hợp PV và hệ thống lưu trữ lại. Từ đó, đưa ra phân tích, so sánh và đánh giá ổn định tần số giữa hai trường hợp của hệ thống năng lượng tái tạo lai PV-Diesel khi có và không có hệ thống lưu trữ, nhằm chứng minh hiệu quả của việc sử dụng hệ thống lưu trữ trong việc nâng cao chất lượng điện năng đối với các phụ tải nhạy cảm.

2. Đối tượng nghiên cứu

2.1. Đặc điểm



Hình 1. Mặt bằng mái sân bay quốc tế Đà Nẵng

Sân bay quốc tế Đà Nẵng có tổng diện tích khoảng 842 ha. Trong đó, diện tích mái dự kiến lắp đặt hệ thống PV tại nhà ga hành khách là tương đối lớn (3290,74 m²) được thể hiện trong Hình 1. Sân bay quốc tế Đà Nẵng được trang bị các hệ thống phụ tải hiện đại như: Hệ thống đèn hiệu, đèn cảnh báo; Hệ thống radar; Hệ thống quan trắc và khí tượng; Hệ thống

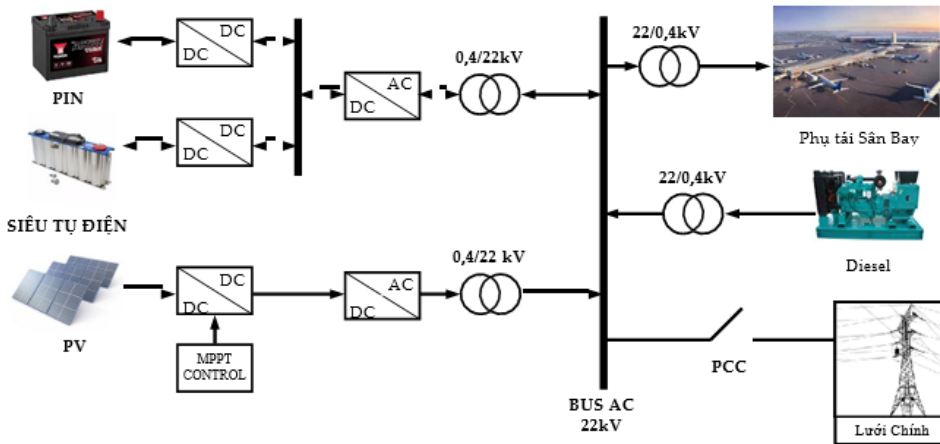
thường trực khẩn cấp,... Với yêu cầu cung cấp điện liên tục để đảm bảo an toàn, an ninh hàng không, việc sử dụng một hệ thống điện có khả năng vận hành độc lập khi lưới điện chính bị sự cố cho các phụ tải nhạy cảm nêu trên sẽ là một giải pháp phù hợp. Yêu cầu về chất lượng điện năng của phụ tải nhạy cảm (ở đây là sân bay) sẽ có sự khác nhau so với phụ tải thông thường (tham khảo tiêu chuẩn European Standard EN 50160) ở chế độ độc lập như trong Bảng 1 [8].

2.2. Hệ thống khảo sát

Mô hình của hệ thống điện sân bay Đà Nẵng được mô tả trong Hình 2. Đây là một hệ thống điện có thể hoạt động ở hai chế độ là nối lưới và độc lập. Chế độ vận hành độc lập được thực hiện trong một số trường hợp như: Lưới điện chính bị sự cố, yêu cầu của người vận hành hoặc vận hành nhằm đạt được mục tiêu kinh tế. Trong bài viết này, chỉ xét đến trường hợp hệ thống điện vận hành ở chế độ độc lập nhằm đánh giá khả năng thâm nhập của năng lượng mặt trời. Hệ thống khảo sát là hệ thống năng lượng tái tạo lai PV-Diesel, bao gồm một hệ thống pin mặt trời PV với thuật toán bám điểm công suất cực đại MPPT (Maximum Power Point Tracking) [9], [10], hai máy phát điện Diesel, hệ thống lưu trữ kết hợp pin và siêu tụ, phụ tải AC. Hệ thống kết nối với lưới điện thông qua điểm kết nối chung.

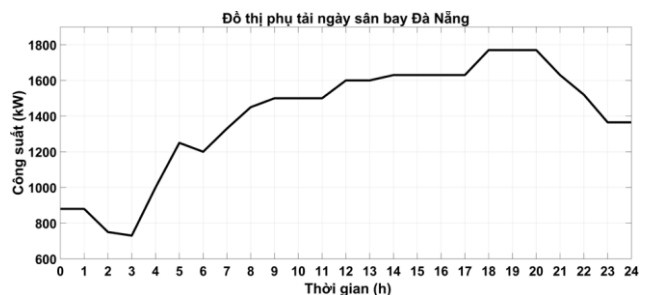
Bảng 1. Sự khác nhau về yêu cầu chất lượng điện năng giữa phụ tải sân bay và phụ tải thông thường

Thông số	Phụ tải sân bay	Phụ tải thông thường
Độ lệch tần số (Δf)	$\pm 0,2$ Hz	± 1 Hz
Thời gian phục hồi tần số sau sự cố	3 s	10 s
Độ lệch điện áp (ΔU)	$\pm 3\%$	$\pm 10\%$



Hình 2. Cấu trúc hệ thống khảo sát

Trong quá trình khảo sát, một đồ thị phụ tải ngày điển hình của sân bay có thể thu được như trong Hình 3. Từ đồ thị phụ tải, ta có thể thấy, giai đoạn thấp điểm chỉ kéo dài trong khoảng vài giờ (từ 0h đến 5h). Trong các khoảng thời gian còn lại trong ngày, nhu cầu cung cấp điện của phụ tải sân bay là khá lớn và liên tục. Việc đưa nguồn năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ thống điện bằng cách sử dụng mô hình như trên giúp giảm thiểu các vấn đề mặt năng lượng. Tuy nhiên, bài toán đảm bảo chất lượng điện năng và độ tin cậy khi tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo như mặt trời cũng cần phải cân nhắc [11].



Hình 3. Đồ thị phụ tải ngày sân bay Đà Nẵng

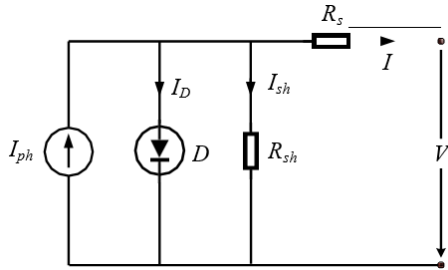
2.3. Mô hình của các phần tử trong hệ thống

2.3.1. Mô hình PV

Sơ đồ mạch tương đương của một cell pin PV được mô tả như trong Hình 4. Phương trình đặc tính V-I của nó được mô tả như sau:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_s \left[\exp \frac{V_{PV} + I_{PV} R_s}{nV_t} - 1 \right] - \frac{V_{PV} + I_{PV} R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

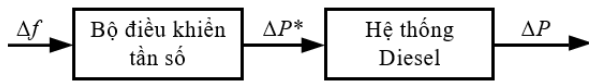
Trong đó, I_{ph} là dòng phát quang hay là dòng quang điện; I_0 là dòng bão hòa; q là điện tích của điện tử, với $q = 1,6.10^{-19}$ (C); k là hằng số Boltzmann, với $k = 1,38.10^{-23}$ (J/K); T là nhiệt độ làm việc (K), n là hệ số lý tưởng diode, R_s là điện trở nối tiếp, R_{sh} là điện trở shunt.



Hình 4. Sơ đồ mạch tương đương của 1 cell pin PV

2.3.2. Mô hình máy phát điện Diesel

Mô hình của một máy phát điện Diesel đơn giản như Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ khối mô hình hóa máy phát Diesel

Mô hình trên gồm khối điều khiển tần số sơ cấp được mô hình hóa theo phương trình (2), khối máy phát Diesel gồm cơ cấu truyền động, bộ điều tốc, động cơ được đại diện bởi hàm truyền bậc 1 như phương trình (3).

$$\Delta P^*(s) = -(K_p + \frac{K_i}{s}) \cdot \Delta f(s) \quad (2)$$

$$\Delta P(s) = \frac{1}{T_g \cdot s + 1} \cdot \Delta P^*(s) \quad (3)$$

Trong đó, ΔP^* là tham chiếu độ lệch công suất; Δf là sự chênh lệch giữa tần số thực tế f và tần số danh định f_0 ; K_p và K_i lần lượt là khâu tỉ lệ và khâu tích phân của bộ điều khiển PI; T_g là độ trễ của máy phát điện Diesel.

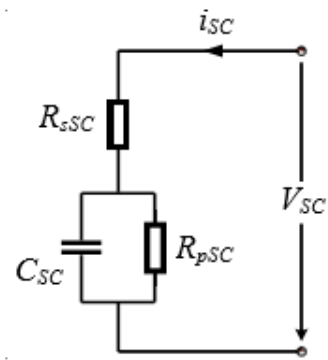
2.3.3. Mô hình siêu tụ điện

Bài viết này áp dụng mô hình siêu tụ cổ điển [12] bao gồm 2 nhánh song song RC, ngoài điện dung CSC của siêu tụ còn có điện trở R_{pSC} và R_{sSC} đặc trưng cho hiện tượng tự xả của siêu tụ. Mô hình của siêu tụ được mô tả trong Hình 6.

Các phương trình động học của siêu tụ theo [12] như sau:

$$\begin{cases} \frac{dV_{CSC}}{dt} = -\frac{1}{R_{pSC}} V_{CSC} + \frac{1}{C_{SC}} i_{SC} \\ V_{SC} = V_{CSC} - R_{sSC} i_{SC} \end{cases} \quad (4)$$

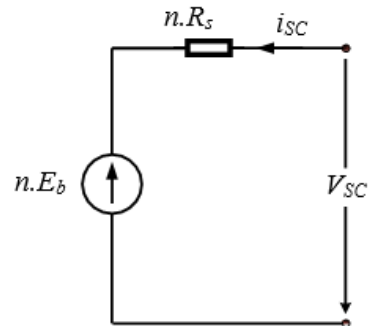
Trong đó, V_{SC} là điện áp, và i_{SC} là dòng điện của mô hình siêu tụ.



Hình 6. Mô hình siêu tụ cổ điển

2.3.4. Mô hình pin lưu trữ

Mô hình hóa của hệ thống pin lưu trữ bao gồm n nguồn áp DC nối tiếp, một chuỗi n điện trở mắc nối tiếp được thể hiện như Hình 7 (với n là số cell pin mắc nối tiếp). Một phần tử pin được đặc trưng bởi điện áp E_b , nội trở R_s . Theo đó, điện áp của hệ thống pin lưu trữ V_{bat} được tính theo (5) [13]. SOC (State of Charge) là thông số quan trọng của hệ thống pin lưu trữ, thể hiện trạng thái sạc của pin và có công thức tính theo (6) [14].



Hình 7. Mô hình hệ thống pin lưu trữ

$$V_{bat} = n.E_b + n.R_s i_{bat} \quad (5)$$

$$SoC(t) = SoC_0 + \int_0^t \frac{i_{pin} dt}{C_{cap}} \quad (6)$$

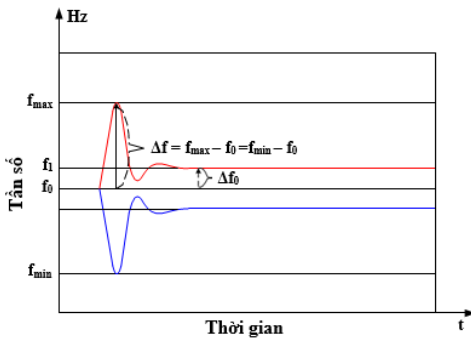
Trong đó, n là số cell pin mắc nối tiếp; E_b và R_s lần lượt là điện áp và nội trở của 1 cell pin; V_{bat} và i_{bat} lần lượt là điện áp và dòng điện của mô hình hệ thống pin lưu trữ; SoC_0 (%) là giá trị ban đầu của trạng thái sạc của Pin; $i(t)$ (A) là dòng sạc vào pin theo thời gian t ; Cap (Ah) là tổng dung lượng của pin.

3. Đánh giá sự thâm nhập của nguồn năng lượng mặt trời vào trong hệ thống

Được đề cập trong [15], bản thân nguồn năng lượng mặt trời không đóng góp vào quán tính hệ thống cũng như tham gia vào quá trình điều chỉnh tần số tải. Việc tích hợp năng lượng mặt trời với quy mô lớn vào hệ thống điện có thể dẫn đến mất khả năng đáp ứng quán tính và điều chỉnh tần số [16]. Quán tính của hệ thống có ảnh hưởng rất lớn đến độ ổn định và khả năng vận hành lâu dài của hệ thống. Một hệ thống có hệ số quán tính nhỏ sẽ dẫn đến khi mất cân bằng công suất thì độ lệch tần số sẽ lớn và tăng nhanh hơn so với hệ thống thông thường, đặc biệt đối với các hệ thống độc lập. Khác với các hệ thống điện thông thường có được sự hỗ trợ từ lưới điện chính, hệ thống điện độc lập có những

đặc điểm riêng biệt khiến chúng dễ bị tác động bởi sai lệch tần số, vì đặc điểm chính của chúng là giá trị động năng thấp do số lượng máy phát kết nối hệ thống nhỏ và hầu hết các máy phát này là máy phát Diesel [17], [18].

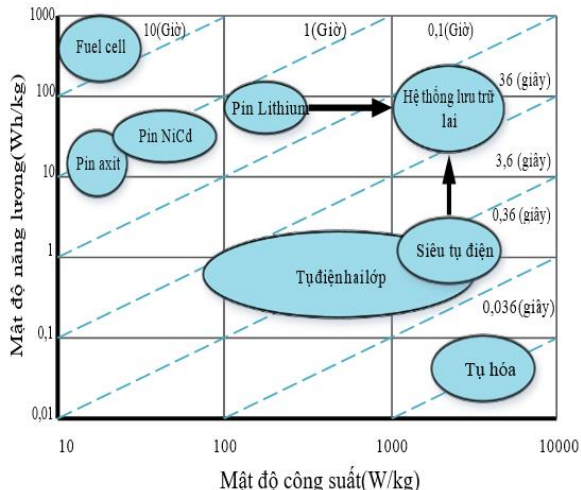
Hình 8 thể hiện sự dao động tần số hệ thống. Đường đặc tính màu đỏ đại diện cho sự mất cân bằng công suất trong hệ thống do tải giảm trong khi công suất PV tăng và đường đặc tính màu xanh đại diện cho trường hợp công suất tải tăng trong khi công suất PV giảm. Sự mất cân bằng công suất tác dụng dẫn đến độ lệch tần số Δf lớn. Do hệ thống có hệ số quán tính nhỏ nên trong trường hợp này không thể phục hồi lại tần số ở mức ban đầu f_0 mà xác lập một tần số mới f_1 có độ lệch Δf_0 , gọi là độ sai lệch tĩnh. Trong một số trường hợp f_1 có thể nằm ngoài vùng giới hạn cho phép (f_{\min} , f_{\max}) của hệ thống. Để đáp ứng được yêu cầu về chất lượng điện năng của phụ tải thì việc sử dụng hệ thống lưu trữ lại là điều cần thiết.



Hình 8. Đáp ứng tần số của hệ thống khi có dao động

4. Vai trò của hệ thống lưu trữ lại (Hybrid Energy Storage System – HESS)

Tần số lưới điện thông thường được điều chỉnh bởi các máy phát đồng bộ kết nối trực tiếp vào hệ thống. Tuy vậy, trong trường hợp lưới điện tích hợp nhiều các nguồn năng lượng tái tạo, khả năng điều chỉnh tần số của các máy phát đồng bộ là không đủ để đáp ứng kịp thời do có quán tính lớn. Do đó, một hệ thống lưu trữ năng lượng là phương án thay thế thích hợp nhằm đảm bảo ổn định tần số của hệ thống điện [19]. Hình 9 thể hiện đặc tính của các công nghệ lưu trữ phổ biến hiện nay.



Hình 9. Mật độ năng lượng và mật độ công suất của các loại lưu trữ [19]

Theo [20], có 2 nhóm thiết bị lưu trữ chính:

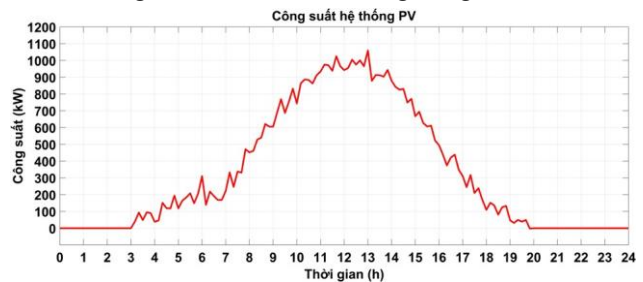
- Các thiết bị lưu trữ với mật độ công suất cao có khả năng đáp ứng lượng công suất lớn trong thời gian ngắn với đặc tính động nhanh nhưng không thể lưu trữ lượng lớn công suất (siêu tụ điện,...).

- Các thiết bị lưu trữ có mật độ năng lượng cao, có khả năng cung cấp một lượng công suất trong thời gian dài với đặc tính động chậm (pin điện hóa, pin nhiên liệu,...).

Đối tượng nghiên cứu của bài viết này là “phụ tải sân bay”, là một loại phụ tải nhạy cảm có yêu cầu cao về chất lượng điện năng cũng như độ ổn định và tin cậy của hệ thống, đặc biệt là khi có những ảnh hưởng do sự thâm nhập cao của PV vào hệ thống. Do đó, sử dụng hệ thống lưu trữ đơn lẻ không thể đáp ứng được sự thay đổi liên tục của nguồn năng lượng tái tạo và yêu cầu của phụ tải. Để thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng điện năng của các phụ tải này thì việc sử dụng hệ thống lưu trữ lại (kết hợp 2 hay nhiều loại thiết bị lưu trữ) là điều cần thiết. Thông thường, hệ thống lưu trữ lại gồm bộ lưu trữ có mật độ công suất cao dùng để hấp thụ hoặc cung cấp công suất nhất thời và công suất đỉnh trong khi bộ lưu trữ năng lượng cao đáp ứng nhu cầu năng lượng dài hạn. Vì vậy, hệ thống lưu trữ lại có được những lợi thế và khác phục được những nhược điểm của các bộ lưu trữ đơn lẻ. Vai trò của nó trong việc ổn định nhanh dao động tần số được trình bày trong [12]. Hệ thống HESS được sử dụng trong bài viết này gồm pin lithium-ion và siêu tụ.

5. Mô phỏng

Việc sử dụng hệ thống lưu trữ lại nhằm ổn định nhanh các sự thay đổi trong hệ thống được làm rõ bằng cách mô phỏng mô hình hệ thống và so sánh kết quả giữa hai trường hợp khi có và không có hệ thống lưu trữ. Đồ thị công suất hệ thống năng lượng mặt trời (hệ PV) trong 1 ngày lấy từ phần mềm PVsyst được mô tả trong Hình 10. Các thông số của hệ thống được thể hiện như trong Bảng 2.



Hình 10. Công suất hệ PV tại khu vực Sân bay Đà Nẵng

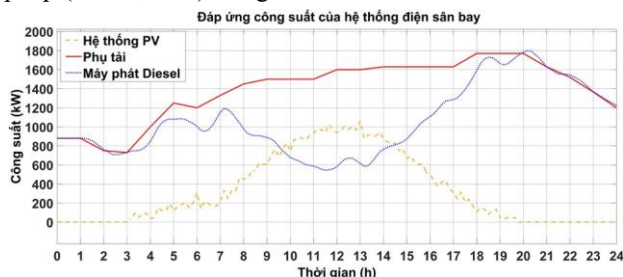
Bảng 2. Các thông số của hệ thống

Đại lượng	Mô tả	Giá trị
P_{PV-max}	Công suất cực đại của hệ thống PV ở bức xạ 1000 W/m ² và 25°C	1 MW
P_{Diesel}	Công suất hoạt động ban đầu của máy phát Diesel	880 kW
$P_{HESS-max}$	Công suất tối đa của hệ thống lưu trữ	1 MW
V_{HESS}	Điện áp của hệ thống lưu trữ	600V
f	Tần số định mức của hệ thống	50 Hz

5.1. Trường hợp không có hệ thống lưu trữ

Từ kết quả mô phỏng ở Hình 11 và Hình 12 ta thấy, máy phát Diesel đáp ứng công suất chậm trong khi công

suất đầu ra của PV và phụ tải dao động lớn dẫn đến tần số của hệ thống có độ quá điều chỉnh vượt qua giới hạn cho phép ($50 \pm 0,2$ Hz) trong hầu hết các thời điểm.



Hình 11. Đáp ứng công suất của hệ thống khi không có lưu trữ



Hình 12. Tần số của hệ thống khi không có lưu trữ

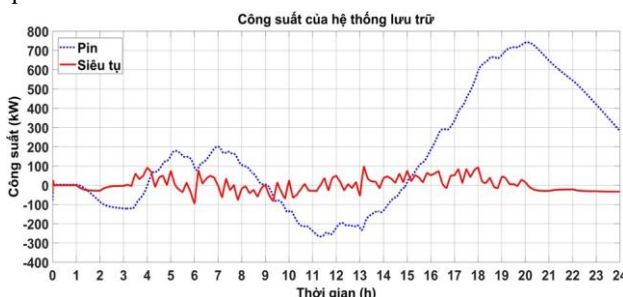
5.2. Trường hợp có hệ thống lưu trữ

Kết quả mô phỏng của trường hợp hệ thống có lưu trữ có đáp ứng công suất hệ thống như Hình 13, đáp ứng công suất của pin và siêu tụ như Hình 14, đáp ứng tần số của hệ thống như Hình 15.



Hình 13. Đáp ứng công suất của hệ thống khi có lưu trữ

Từ Hình 13 ta thấy, đường đặc tính vận hành của máy phát Diesel bằng phẳng hơn trong trường hợp không có lưu trữ. Đó là nhờ tác dụng của bộ lưu trữ lai có tốc độ đáp ứng công suất nhanh nên sẽ tiến hành hấp thu hoặc phát công suất kịp thời theo sự biến động công suất của PV và phụ tải, bù đắp được nhược điểm tốc độ đáp ứng chậm của máy phát Diesel. Nhờ đó, máy phát Diesel có thể vận hành ở đường đặc tính bằng phẳng, ít điều chỉnh và vận hành hiệu quả hơn.



Hình 14. Đáp ứng công suất của pin và siêu tụ

Hình 14 ta thấy, tốc độ đáp ứng công suất của pin và siêu tụ khi công suất tải và PV biến động. Khi phụ tải tăng lên đột ngột, siêu tụ phát công suất trước tiên nhằm cân bằng công suất tức thời và nó dừng hoạt động khi giá trị công suất phát ra của pin đủ để cân bằng công suất trong hệ thống. Từ Hình 14 ta cũng thấy, số lần nạp xả của pin trong suốt thời gian vận hành nhỏ. Do đó, việc có thêm siêu tụ vào hệ thống lưu trữ sẽ cải thiện đáng kể về tuổi thọ của pin.

Hình 15 đã chứng minh tính hiệu quả của bộ lưu trữ lai trong việc ổn định dao động tần số trong hệ thống. Dao động tần số trong hệ thống ổn định trong khoảng $50 \pm 0,2$ Hz, đáp ứng được yêu cầu về chất lượng điện năng của phụ tải sân bay khi có sự thâm nhập cao của hệ thống PV.



Hình 15. Tần số của hệ thống khi có lưu trữ

6. Kết luận

Bài viết đã đề xuất ứng dụng bộ lưu trữ lai trong hệ thống năng lượng tái tạo lai PV-Diesel cho phụ tải thực tế. Qua kết quả mô phỏng, sự kết hợp của pin và siêu tụ đã tạo thành một hệ thống lưu trữ mới kế thừa được những ưu điểm và khắc phục được những nhược điểm của hệ thống lưu trữ chỉ có pin hoặc siêu tụ trong việc đáp ứng công suất và lưu trữ lâu dài.

Bài viết chứng minh được tính hiệu quả của hệ thống lưu trữ lai trong việc ổn định tần số hệ thống, đáp ứng được yêu cầu về chất lượng điện năng của phụ tải sân bay Đà Nẵng, giúp nâng cao hiệu quả sử dụng PV khi nó chiếm tỉ lệ cao về công suất phát (58,9% tổng công suất phát toàn hệ thống).

Các vòng điều khiển trong hệ thống lưu trữ sử dụng bộ điều khiển truyền thống PI nên chất lượng điều khiển chưa tối ưu, đường đặc tính tần số không bằng phẳng. Vì vậy, hướng nghiên cứu tương lai là sử dụng bộ điều khiển nâng cao cho hệ thống lưu trữ để làm phẳng đường đặc tính tần số, nâng cao độ ổn định của hệ thống lai PV-Diesel, tạo điều kiện cho sự thâm nhập cao hơn của năng lượng tái tạo trong tương lai.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2019-DN02-70.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Yamegueu, Y. Azoumah, X. Py, and N. Zongo, "Experimental study of electricity generation by Solar PV/diesel hybrid systems without battery storage for off-grid areas", *Renew. Energy*, vol. 36, pp. 1780–1787, 2011.
- [2] R. Rütther, D. C. Martins, and E. Bazzo, "Hybrid diesel/photovoltaic systems without storage for isolated mini- grids in Northern Brazil", in *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2000, pp. 1567–1570.

- [3] C. Ajan, S. S. Ahmed, H. Ahmad, F. Taha, and A. Mohd Zin, "On the policy of photovoltaic and diesel generation mix for an off-grid site: East Malaysian perspectives", *Sol. Energy*, vol. 74, pp. 453–467, 2003.
- [4] J.-S. Park, T. Katagi, S. Yamamoto, and T. Hashimoto, "Operation control of photovoltaic/diesel hybrid generating system considering fluctuation of solar radiation", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells - Sol. ENERG MATER Sol. CELLS*, vol. 67, pp. 535–542, 2001.
- [5] A. Jossen, J. Garcke, and D. Sauer, "Operation conditions of batteries in PV applications", *Sol. Energy*, vol. 76, pp. 759–769, 2004.
- [6] P. Arun, R. Banerjee, and S. Bandyopadhyay, "Optimum sizing of photovoltaic battery systems incorporating uncertainty through design space approach", *Sol. Energy*, vol. 83, pp. 1013–1025, 2009.
- [7] V. Svoboda *et al.*, "Operating conditions of batteries in off-grid renewable energy systems", *Sol. Energy*, vol. 81, pp. 1409–1425, 2007.
- [8] "Application guide to the European Standard EN 50160 on 'Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems'". Available online: <https://www.pasma.com.au/pdf/GuideToEN50160.pdf?fbclid=IwAR1rGku1itOhvErbWoa1llxRmnkhvlnFufqLNMBKSW6Vb20e8qTkoJnEf8>.
- [9] B. Nguyen, V. Nguyen, Q. Duong, K. Le, H. Nguyen Huu, and A. Doan, "Propose a MPPT Algorithm Based on Thevenin Equivalent Circuit for Improving Photovoltaic System Operation", *Front. Energy Res.*, vol. 8, 2020.
- [10] N. Tan, N. Nam, N. Hieu, K. Le, Q. Duong, and L. Hong Lam, "A Proposal for an MPPT Algorithm Based on the Fluctuations of the PV Output Power, Output Voltage, and Control Duty Cycle for Improving the Performance of PV Systems in Microgrid", *Energies*, vol. 13, p. 4326, 2020.
- [11] V. Nguyen, D. Hoang, H. Nguyen Huu, K. Le, T. Truong, and Q. Le, "Analysis of Uncertainties for the Operation and Stability of an Islanded Microgrid", *2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSSE)*, 2019, pp. 178–183.
- [12] Nguyễn Hữu Hiếu, Nguyễn Văn Tấn, Nguyễn Bình Nam, Trương Đình Minh Đức, Đào Hữu Đan, Lê Quốc Cường, "Vai trò của hệ thống lưu trữ đến ổn định tần số lưới điện siêu nhỏ độc lập", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, vol. 18, no. 5.2, 2020.
- [13] Z. Cabrane, M. Ouassaid, and M. Maaroufi, "Battery and Supercapacitor for Photovoltaic Energy Storage: A Fuzzy Logic Management", *IET Renew. Power Gener.*, vol. 11, 2017.
- [14] L. Letting, J. L. Munda, and Y. Hamam, "Dynamic Performance Analysis of an Integrated Wind-Photovoltaic Microgrid with Storage", *Int. J. Smart Grid Clean Energy*, vol. 3, pp. 307–317, 2014.
- [15] M. El-Shennawy, S. Farghal, A. Amin, and S. Abdelkader, "Impact of Renewable Energy Sources on Inertia and Frequency Response of Power Systems", *Bull. Fac. Eng. Mansoura Univ.*, vol. 43, pp. 19–23, 2020.
- [16] O. Alba Betancourt, Z. Sanchez, P. Abo-Ahmed, E. Hill, X. Zhao, and F. P. Sanchez, "Battery Energy Storage Systems for Primary Frequency Regulation in Island Power Systems", 2020, pp. 1–10.
- [17] M. Datta, T. Senju, A. Yona, and T. Funabashi, "A frequency control method for isolated photovoltaic-diesel hybrid power system with use of full renewable energy", in *Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, 2009, pp. 1283–1288.
- [18] I. Egido, F. Fernandez-Bernal, P. Centeno, and L. Rouco, "Maximum Frequency Deviation Calculation in Small Isolated Power Systems", *Power Syst. IEEE Trans.*, vol. 24, pp. 1731–1738, 2009.
- [19] J. Mongkoltanatas, "Participation d'un système de stockage à la stabilité des réseaux insulaires", Grenoble, 2014.
- [20] P. Thounthong, V. Chunkag, P. Sethakul, S. Sikkabut, serge Pierfederici, and B. Davat, "Energy management of fuel cell/solar cell/supercapacitor hybrid power source", *J. Power Sources*, vol. 196, pp. 313–324, 2011.