

VAI TRÒ CỦA HỆ THỐNG LƯU TRỮ ĐẾN ỔN ĐỊNH TẦN SỐ LƯỚI ĐIỆN SIÊU NHỎ ĐỘC LẬP

THE ROLES OF ENERGY STORAGE SYSTEMS IN STABILIZING FREQUENCY OF THE ISLANDED MICROGRID

Nguyễn Hữu Hiếu, Nguyễn Văn Tấn, Nguyễn Bình Nam, Trương Đình Minh Đức, Đào Hữu Đan, Lê Quốc Cường

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; nhieuu@dut.udn.vn, tan78dhhbk@dut.udn.vn, nbnam@dut.udn.vn, minhducqti1996@gmail.com, daohuudan2310@gmail.com, le.cuong.4298@gmail.com

Tóm tắt - Microgrid được xem là giải pháp để tích hợp các nguồn năng lượng phân tán vào lưới điện hiện nay. Tuy nhiên, các nguồn năng lượng tái tạo có công suất đầu ra biến đổi phụ thuộc vào điều kiện thời tiết và môi trường gây khó khăn trong việc ổn định tần số và điện áp của hệ thống Microgrid độc lập. Do vậy, trong Microgrid cần phải có một nguồn có khả năng điều độ đáp ứng nhanh với các thay đổi của nguồn tái tạo để ổn định hệ thống. Hệ thống lưu trữ là một nguồn đáp ứng yêu cầu đáp ứng nhanh và có khả năng điều độ. Do vậy, bài báo tập trung phân tích, mô hình hóa và đánh giá vai trò của hệ thống lưu trữ trong ổn định tần số Microgrid độc lập, và các kết quả được mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink.

Từ khóa - Microgrid; hệ thống lưu trữ năng lượng; Pin; Siêu tụ điện; Năng lượng tái tạo

1. Đặt vấn đề

Việt Nam có tiềm năng rất lớn để phát triển các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, năng lượng gió [1]. Tuy nhiên, sự thâm nhập ngày càng tăng của các nguồn năng lượng tái tạo sẽ ảnh hưởng đến ổn định, độ tin cậy và chất lượng điện năng của lưới điện [2-3]. Microgrid là một cấu trúc lưới đang được quan tâm nghiên cứu để nâng cao khả năng tích hợp và tối ưu vận hành của các nguồn năng lượng tái tạo [4-5].

Microgrid là lưới điện bao gồm: Các nguồn năng lượng phân tán (DER- Distributed Energy Resource), nguồn Microturbine (máy phát điện Diesel, nhà máy nhiệt điện công suất nhỏ), hệ thống lưu trữ (ESS – Energy Storage System), tải linh hoạt và các phần tử này có thể điều khiển được [6]–[8]. Nhờ có khả năng điều khiển, Microgrid có thể vận hành ở chế độ kết nối lưới, hoặc độc lập, có thể linh hoạt chuyển đổi giữa hai chế độ khi có yêu cầu. So với các hệ thống điện truyền thống, Microgrid khi hoạt động độc lập có quán tính hệ thống thấp, các DER sử dụng năng lượng tái tạo có công suất đầu ra biến động, ngẫu nhiên và gián đoạn nên gây khó khăn trong việc điều khiển và cân bằng công suất trong hệ thống. Thách thức đặt ra đối với Microgrid độc lập đó là phải đảm bảo công suất giữa nguồn và phụ tải luôn cân bằng khi có sự thay đổi công suất để ổn định tần số và điện áp, cũng như có khả năng tương thích cao do vậy cần phải có một nguồn có khả năng điều độ và đáp ứng nhanh [9].

Trong Microgrid, hệ thống lưu trữ và nguồn Microturbine được xem là nguồn có khả năng điều độ tham gia vào việc điều khiển cân bằng công suất, ổn định tần số hệ thống [10-11]. Hệ thống lưu trữ có khả năng đáp ứng nhanh giúp giảm thiểu các vấn đề dao động và gián đoạn của các nguồn năng lượng tái tạo nhằm ổn định điện áp và tần số, cải thiện chất lượng điện năng dẫn đến tăng khả

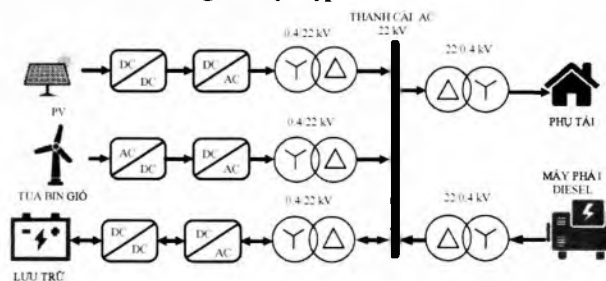
Abstract - The microgrid is considered as a solution to integrate renewable energy resources into current power systems. However, the output power from these energy sources varies depending on weather and environment conditions, thereby making it difficult to stabilize the Microgrid's output power and frequency when it is operated in islanded mode. Therefore, it is necessary for the Microgrid to include a source capable of promptly meeting the changes of renewable sources to stabilize the system. Energy storage systems are characterized by prompt response and stabilization. This article focuses on analyzing, modeling and evaluating the roles of the energy storage system in stabilizing the frequency of the islanded Microgrid, and the research results are demonstrated via simulation results using the Matlab/Simulink software.

Key words - Microgrid; energy storage system; battery; supercapacitor; renewable energy

năng thâm nhập của DER [12]. Chi phí đầu tư của các hệ thống lưu trữ cao đòi hỏi phải lập mô hình chính xác và tính toán dung lượng lưu trữ tối ưu của ESS [13]. Việc xây dựng một mô hình lưu trữ năng lượng cần xem xét cả hai khía cạnh kinh tế và kỹ thuật của hệ thống thực tế [14-15].

Các nghiên cứu trước đây đánh giá hệ thống lưu trữ chỉ gồm Pin hoặc Siêu tụ điện [10-12]. Bài báo tiến hành mô hình hóa hệ thống Microgrid độc lập, nghiên cứu và tính toán hệ thống lưu trữ năng lượng bao gồm cả Siêu tụ điện và Pin. Đồng thời đánh giá được vai trò của hệ thống lưu trữ lai (HESS – Hybrid Energy Storage System) trong việc ổn định tần số của hệ thống Microgrid độc lập đối với sự thay đổi của đồ thị phụ tải cũng như là sự biến thiên của các nguồn năng lượng tái tạo (mặt trời, gió, ...).

2. Cấu trúc Microgrid độc lập



Hình 1. Cấu trúc Microgrid độc lập

Trong bài báo này, cấu trúc Microgrid độc lập bao gồm các nguồn phân tán: Năng lượng tái tạo (mặt trời, gió), máy phát Diesel và hệ thống lưu trữ (Pin, Siêu tụ điện), được kết nối chung vào thanh cái AC cung cấp cho tải như Hình 1. Trong mô hình, giả thiết các nguồn phân tán được điều khiển phát công suất cực đại (Maximum Power Point – MPP) và theo đường công suất phát cho trước. Phụ tải của

hệ thống cũng giả thiết thay đổi tối đa 10% so với giá trị ban đầu và theo đường đặc tính tải cho trước. Khi có sự thay đổi của nguồn và tải thì các nguồn có khả năng điều độ sẽ được điều khiển để đáp ứng với sự thay đổi này để ổn định tần số Microgrid.

Giả thiết Microgrid độc lập có các thông số định mức và tại thời điểm ban đầu như trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số hệ thống Microgrid tại thời điểm ban đầu

Đại lượng	Định mức	Thời điểm ban đầu
P_{PV}	400 kW	100 kW
P_W	200 kW	100 kW
P_{load}	1,8 MW	1,26 MW
P_{diesel}	2 MW	1,06 MW
f_{MG}	50 Hz	50 Hz

2.1. Phương pháp điều khiển công suất dựa theo độ dốc

Trong Microgrid độc lập, với sự thâm nhập cao của năng lượng tái tạo thì hệ thống luôn có sự biến động ngẫu nhiên về công suất nên việc điều ổn định tần số là một vấn đề khó khăn. Do đó, cần có phương pháp điều khiển để phân bố công suất chính xác, tức thời giữa các nguồn có khả năng điều độ trong cấp điều khiển sơ cấp nhằm đáp ứng kịp thời sự biến động để ổn định tần số.

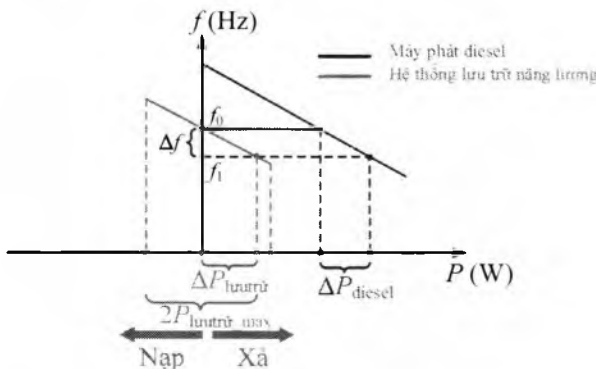
Phương pháp phân bố công suất dựa trên đường đặc tính như Hình 2 còn gọi là phương pháp dựa theo độ dốc (Droop Method), được thể hiện [16-18] qua phương trình sau:

$$f = f_0 - K_p \cdot \Delta P \tag{1}$$

Trong đó, K_p là hệ số đặc trưng cho các đường đặc tính độ dốc ($P-f$). ΔP là độ lệch công suất tác dụng cần thay đổi của các nguồn.

Hệ thống Microgrid là sự phối hợp giữa các nguồn có khả năng điều độ là máy phát Diesel và HESS để giữ ổn định Microgrid khi có sự thay đổi công suất của phụ tải và các nguồn phân tán.

Khi công suất của nguồn nhỏ hơn phụ tải dẫn đến tần số của hệ thống giảm so với tần số định mức, lúc này công suất của máy phát Diesel và HESS (hoạt động ở trạng thái xả $\Delta P_{lưu trữ} > 0$) đồng thời được điều chỉnh tăng theo đặc tính $P-f$ để cân bằng với phụ tải và nguồn phát.



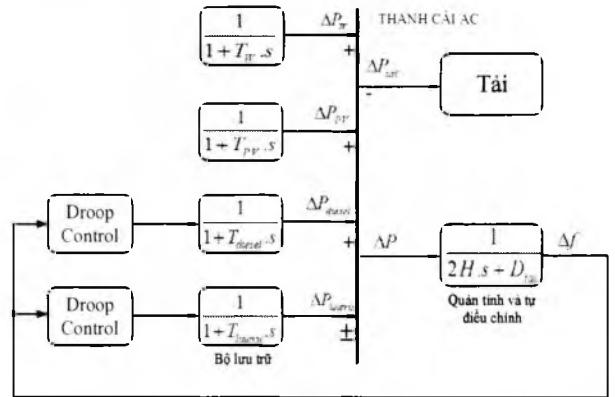
Hình 2. Đặc tính độ dốc $P-f$

Ngược lại, khi công suất của nguồn lớn hơn công suất

của phụ tải dẫn đến tần số của hệ thống tăng so với tần số định mức lúc này công suất của máy phát Diesel và hệ thống lưu trữ (hoạt động ở trạng thái nạp $\Delta P_{lưu trữ} < 0$) được điều chỉnh giảm P theo đặc tính $P-f$ để cân bằng với phụ tải.

2.2. Mô hình động học của Microgrid

Để phân tích đánh giá chính xác các đặc tính của hệ thống Microgrid độc lập, tiến hành xây dựng mô hình động học của Microgrid. Đầu tiên, mô hình động học của nguồn phân tán được thể hiện bằng các hàm truyền xét với các dao động nhỏ quanh điểm cân bằng. Sau đó, kết hợp những mô hình hàm truyền tạo thành mô hình động học của hệ thống Microgrid [19-20].



Hình 3. Mô hình đáp ứng tần số của Microgrid độc lập

Một mô hình đáp ứng tần số trong Microgrid được thể hiện như Hình 3. Dựa vào đó, các nguồn phân tán trong Microgrid được mô phỏng bằng một hàm truyền đơn giản theo [21] có dạng phương trình như sau:

$$G(s) = \frac{1}{T.s + 1} \tag{2}$$

Với, T là hằng số thời gian đặc trưng cho từng nguồn năng lượng.

Trong hệ thống Microgrid, để đảm bảo sự ổn định tần số hệ thống, công suất ra phải bằng với nhu cầu phụ tải và tổn hao phát sinh trong lưới. Vấn đề mất cân bằng công suất được có thể được giải quyết bằng hai yếu tố: Động năng cung cấp bởi máy phát đồng bộ - đặc trưng bởi hệ số quán tính H của hệ thống, và ảnh hưởng của tần số đến tải - đặc trưng bởi hệ số damping D_{tai} . Qua đó, mối liên hệ giữa độ lệch tần số Δf và độ chênh lệch công suất của nguồn và tải ΔP phụ thuộc vào hằng số quán tính hệ thống được thể hiện thông qua phương trình:

Mô hình tín hiệu nhỏ của Microgrid được biểu diễn như sau:

$$\frac{d\Delta f}{dt} = \frac{1}{2H} \cdot \Delta P - \frac{D_{tai}}{2H} \cdot \Delta f \tag{3}$$

Trong đó:

$$\Delta P = \Delta P_{PV} + \Delta P_W + \Delta P_{lưu trữ} + \Delta P_{diesel} - \Delta P_{tai} \tag{4}$$

Δf là độ lệch tần số của Microgrid.

ΔP_{PV} , ΔP_W , ΔP_{diesel} , $\Delta P_{lưu trữ}$ và ΔP_{tai} lần lượt là độ chênh lệch công suất tác dụng của PV, tua-bin gió, máy phát Diesel, hệ thống lưu trữ và tải.

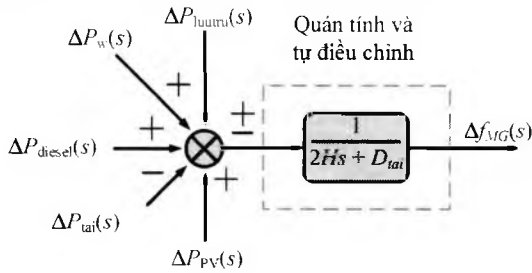
$\Delta P_{lưu trữ}$ có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn 0 tùy thuộc vào trạng thái xả hay nạp của hệ thống lưu trữ.

Áp dụng biến đổi Laplace phương trình (3), ta được:

$$\frac{\Delta f(s)}{\Delta P(s)} = \frac{1}{2H.s + D_{tai}} \quad (5)$$

$$\Delta f(s) = \frac{1}{2H.s + D_{tai}} \Delta P(s) \quad (6)$$

Từ phương trình (6), mô hình động học của Microgrid theo [19] được đơn giản hóa như ở Hình 4:



Hình 4. Mô hình động học của Microgrid

Dựa vào mô hình động học của Microgrid thể hiện trên Hình 4, ta phân tích được ảnh hưởng của các nguồn năng lượng như: nguồn năng lượng tái tạo và hệ thống lưu trữ lại (HESS) đến sự thay đổi của tần số trong Microgrid.

3. Hệ thống lưu trữ năng lượng

3.1. Các hình thức lưu trữ năng lượng phổ biến

Có hai hình thức lưu trữ năng lượng phổ biến trong Microgrid là Pin và Siêu tụ điện. Vì công suất đầu ra của các nguồn năng lượng tái tạo thay đổi liên tục dẫn đến tình trạng sạc/ xả liên tục cho hệ thống lưu trữ, do đó siêu tụ được sử dụng cùng với Pin để đáp ứng nhanh chóng các thay đổi cũng như tăng tuổi thọ cho Pin. Bởi vì Siêu tụ điện có mật độ năng lượng thấp hơn Pin nhưng với mật độ công suất cao và khả năng đáp ứng nhanh nên rất hữu ích trong việc hỗ trợ cho Pin (thời gian đáp ứng chậm) những lúc hệ thống cần huy động công suất nhanh chóng hay sự dao động nhanh của các nguồn năng lượng tái tạo do điều kiện tự nhiên cũng như thay đổi nhanh của phụ tải tiêu thụ. Để đánh giá vai trò của hệ thống lưu trữ lại, bài báo tập trung mô hình hóa Siêu tụ điện, Pin và mô phỏng, đánh giá ổn định tần số của Microgrid độc lập khi có và không có hệ thống lưu trữ.

3.2. Lưu trữ sử dụng Siêu tụ điện

3.2.1. Mô hình Siêu tụ điện

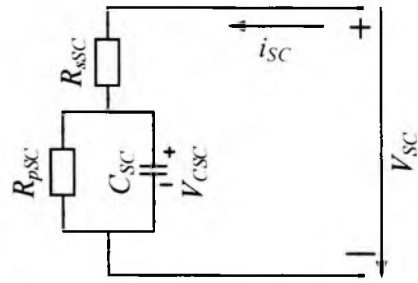
Có nhiều mô hình mạch tương đương cho một siêu tụ. Ở trong bài báo, nhóm tác giả nghiên cứu mô hình siêu tụ cổ điển [22]. Bao gồm hai nhánh song song RC, được mắc như trong Hình 5 [23-24]. Ngoài điện dung C_{SC} của siêu tụ, mô hình này còn tính đến hiện tượng tự xả được thể hiện bằng các điện trở tương đương R_{SC} và R_{psc} .

Dựa vào mô hình ở Hình 5 ta có, các phương trình động học của Siêu tụ điện theo tài liệu [25] như sau:

$$\frac{dV_{SC}}{dt} = -\frac{1}{R_{psc}} V_{SC} + \frac{1}{C_{SC}} i_{SC} \quad (7)$$

$$V_{SC} = V_{CSC} + R_{SC} i_{SC} \quad (8)$$

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



Hình 5. Mô hình siêu tụ cổ điển

3.2.2. Tính toán Siêu tụ điện cho hệ thống

Việc tính toán dung lượng của Siêu tụ điện được xét trong trường hợp công suất của nguồn năng lượng phân tán và tải thay đổi lớn nhất trong khoảng thời gian khảo sát. Việc tính toán chính xác được dung lượng Siêu tụ điện giúp tối ưu hóa bài toán về kinh tế của hệ thống [26].

$$C_{SC} = \frac{2\Delta E_{SC}}{V_{SCmax}^2 - V_{SCmin}^2} \quad (9)$$

Trong đó:

V_{SCmax}, V_{SCmin} là các giá trị giới hạn điện áp hoạt động an toàn của Siêu tụ điện. Với điện áp định mức của Siêu tụ điện là $V_{SCnom} = 600V$ thì:

$$V_{SCmin} = 50\% V_{SCnom} = 300(V)$$

$$V_{SCmax} = 97,5\% V_{SCnom} = 585(V)$$

ΔE_{sc} là độ lệch năng lượng giữa 2 trạng thái trong khoảng thời gian t.

$$\Delta E_{SC} = P_{max} t$$

P_{max} được lấy bằng 20% tổng công suất của nguồn năng lượng tái tạo. $P_{max} = 20\% \cdot 600 = 120(kW)$

t là tổng thời gian đáp ứng xét trong trường hợp nguồn năng lượng tái tạo thay đổi lớn nhất. Giả sử $t = 12,5(s)$.

Từ phương trình (9) suy ra được $C_{SC} = 11,89F$.

Siêu tụ điện đang nghiên cứu là loại BMOD0165 P048. Mắc 13 cells nối tiếp với nhau ta được bảng thông số sau:

Bảng 2. Thông số Siêu tụ điện

	1 cell	Hệ thống
Điện dung siêu tụ (C_{sc})	165.1 F	12,69 F
Điện trở nối tiếp (R_{sc})	6,3 mΩ	81,9 mΩ
Điện trở song song (R_{psc})	86,625 Ω	1126,1Ω
Điện áp ngõ ra SC (V_{sc})	48 V	624V

3.3. Lưu trữ sử dụng Pin

3.3.1. Mô hình một cell Pin

Cell Pin được nghiên cứu là TCL PL-383562 Li-ion batteries, 4,0-V, 850-mAh [27].

Mạch mô hình bao gồm một nguồn áp DC, một chuỗi

điện trở mắc nối tiếp và 2 mạch RC mắc song song với nhau được thể hiện như Hình 6. Nguồn áp DC được thể hiện bởi điện áp hở mạch V_{OC} , điện trở R_s đặc trưng cho nội trở, và các mạch song song RC (R_1C_1 và R_2C_2) theo [28] mô tả đáp ứng trong thời gian ngắn của điện áp được đặc trưng bởi V_{batt} . SOC% (State of Charge) thể hiện trạng thái sạc của Pin. Trong mô hình này, các thông số tính toán dựa vào SOC_0 ban đầu và dòng điện sạc/xả của Pin.

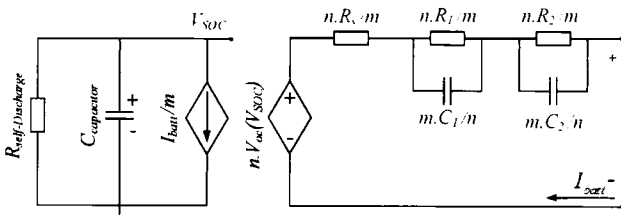
Công thức tính SOC(%) [12]:

$$SOC = SOC_0 - \int_0^t \frac{i(\tau)}{Cap} d\tau \quad (10)$$

Với, SOC_0 (%) là giá trị ban đầu của trạng thái sạc của Pin. $i(t)$ (A) là dòng sạc vào Pin. Cap (Ah) là tổng dung lượng của Pin.

3.3.2. Kết nối các cells Pin trong hệ thống

Trong thực tế, dung lượng của một cell Pin là quá nhỏ so với hệ thống điện cần cung cấp. Do vậy, cần một phương án để có thể kết nối các cells Pin lại với nhau [28].



Hình 6. Sơ đồ tương đương của mạch điện gồm m nhánh song song và n cells mắc nối tiếp

Khi các cells Pin được nối với nhau (ở đây bao gồm m nhánh song song và n cells mắc nối tiếp) thì các đại lượng đặc trưng trong mô hình tương đương cũng thay đổi [29]. Đồng thời công suất và điện áp đầu ra của hệ thống Pin đạt được yêu cầu của hệ thống.

3.3.3. Tính toán dung lượng Pin cho hệ thống

Việc tính toán kích thước dung lượng của Pin đáp ứng cho hệ thống có thể có 2 phương án để tính toán với yêu cầu hệ thống Pin duy trì được tính ổn định tần số của lưới trong vòng 1h.

Cách thứ nhất là dựa vào năng lượng sản xuất của các nguồn năng lượng tái tạo đang khảo sát. Dung lượng Pin phải chứa ước tính từ 1,5 – 2 lần lượng điện được sản xuất trong 1 giờ của nguồn năng lượng tái tạo.

Cách thứ hai là tùy thuộc vào tải sử dụng, ta tính toán dung lượng Pin dựa trên yêu cầu sử dụng của phụ tải. Theo đó mà giá thành cũng tăng cao.

Trong bài báo ta sử dụng nguồn năng lượng tái tạo kết hợp với máy phát điện Diesel nên nếu tính toán dựa theo phụ tải sẽ tốn kinh phí rất lớn. Chúng ta tính toán với Pin đáp ứng cho nguồn năng lượng tái tạo là năng lượng gió 200kW và năng lượng mặt trời 400kW. Xét trong trường hợp xấu nhất có thể xảy ra là Pin duy trì trong vòng 1h với năng lượng gió và năng lượng mặt trời mất hết công suất.

Phương trình tính toán của dung lượng Pin như sau:

$$C_{batt} = 1.5 \cdot \frac{P_{max} \cdot t_{max}}{\eta} \quad (11)$$

Trong đó, C_{batt} là dung lượng của hệ thống Pin. $P_{max} \cdot t_{max}$ lần lượt là công suất lớn nhất và thời gian đáp ứng đảm bảo ổn định hệ thống Pin.

η là hiệu suất sạc/xả của hệ thống Pin. Đối với Pin Lithium ion thì hệ số $\eta = 0,8$.

Xét trong hệ thống khảo sát, ta tính được dung lượng của hệ thống Pin sẽ là:

$$C_{batt} = 1.5 \cdot \frac{600 \cdot 1}{0,8} = 1125(kWh)$$

Cell Pin được nghiên cứu là TCL PL-383562 Li-ion batteries, 4,0-V, 850-mAh. Trước hết, để có thể đưa điện áp cho bộ chuyển đổi DC/DC 2 chiều đây công suất lên thành cái DC thì ta chọn điện áp đầu ra của hệ thống Pin là 600.

Số cells Pin mắc nối tiếp:

$$n = \frac{V_{out}}{V_{cell}} = \frac{600}{4} = 150(cells)$$

Số nhánh mắc song song:

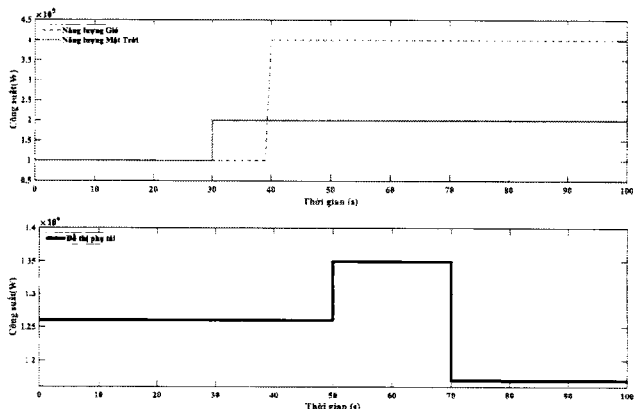
$$m = \frac{C_{batt}}{V_{out} \cdot Cap_{cell}} = \frac{1125}{600 \cdot 0,85} = 2206 (nhánh)$$

Bảng 3. Thông số Pin

Số nhánh song song (m)	2206
Số cells Pin mắc nối tiếp (n)	150
Dung lượng hệ thống Pin (Cap)	1875 Ah
Điện áp ngõ ra của hệ thống Pin (V_{batt})	600 V
Giá trị SOC ban đầu (SOC_0)	50%

4. Mô phỏng đánh giá tác dụng của hệ thống lưu trữ

Bài báo mô phỏng, đánh giá vai trò của hệ lưu trữ trong Microgrid độc lập, do vậy giả thiết cho đồ thị phụ tải và nguồn năng lượng tái tạo thay đổi như kịch bản trong Hình 7. Phân tích ổn định tần số của Microgrid độc lập với 2 kịch bản: có hệ thống lưu trữ và không có hệ thống lưu trữ.



Hình 7. Kịch bản công suất gió, công suất mặt trời và đồ thị phụ tải

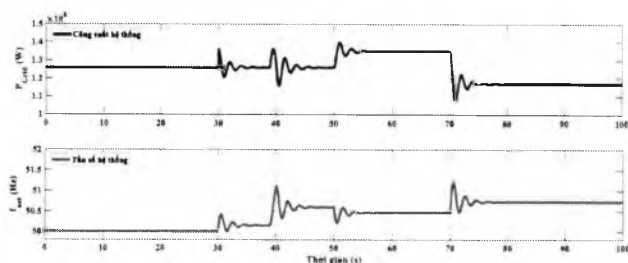
Ban đầu công suất của năng lượng gió và mặt trời là 100kW. Tại giây thứ 30, công suất gió đạt cực đại là 200kW.

Tại giây thứ 40, công suất mặt trời đạt cực đại là 400kW.

Yêu cầu của phụ tải ban đầu là 1,26MW. Đến giây thứ 50, yêu cầu của phụ tải tăng 5% lên 1,35MW. Giây thứ 70 thì yêu cầu của phụ tải giảm 10% xuống còn 1,17MW.

4.1. Trường hợp không có hệ thống lưu trữ

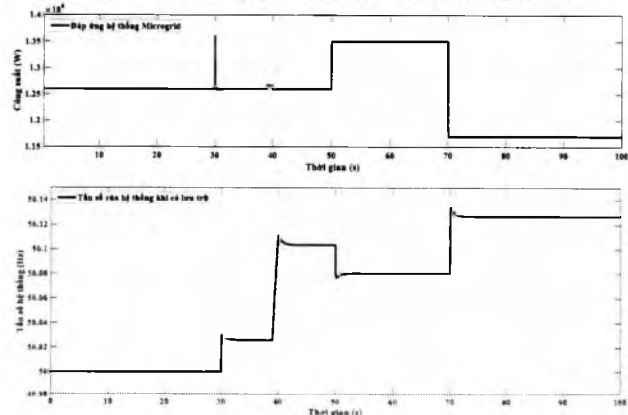
Từ Hình 8 nhận thấy, khi phụ tải và nguồn năng lượng tái tạo thay đổi thì sau một thời gian hệ thống mới đáp ứng cân bằng công suất dẫn đến tần số mất ổn định, có độ vọt lố vượt quá giới hạn cho phép ($50 \pm 0,2$ Hz). Như vậy, khi không có hệ thống lưu trữ thì Microgrid sẽ mất ổn định, giảm chất lượng điện năng.



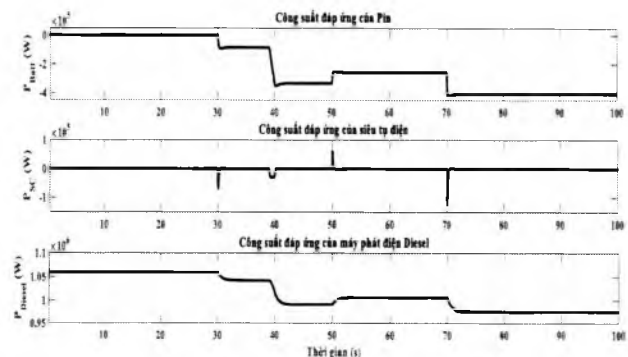
Hình 8. Công suất và tần số của hệ thống Microgrid khi không có lưu trữ

4.2. Trường hợp có hệ thống lưu trữ

Mô phỏng với kịch bản có hệ thống lưu trữ thì đáp ứng công suất và tần số hệ thống như Hình 9, Hình 10 là đáp ứng công suất của máy phát Diesel và hệ thống lưu trữ.



Hình 9. Công suất và tần số của hệ thống Microgrid khi có lưu trữ

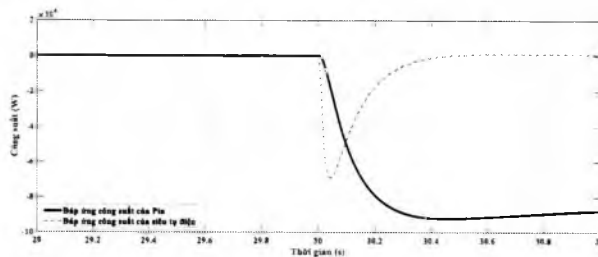


Hình 10. Đáp ứng công suất của Pin, Siêu tụ điện và máy phát Diesel

Việc tích hợp hệ thống lưu trữ lai Pin – Siêu tụ điện giúp hệ thống đáp ứng nhanh sự thay đổi công suất của đồ

thị phụ tải cũng như là các nguồn năng lượng tái tạo. Siêu tụ điện đáp ứng tức thời sự thay đổi công suất của hệ thống. Sau đó, Pin và máy phát Diesel đáp ứng được sự thay đổi công suất thì Siêu tụ điện sẽ không tác động nữa.

Tại thời điểm giây thứ 30, 40 và 50, khi có sự thay đổi của phụ tải và nguồn năng lượng tái tạo thì máy phát Diesel và hệ thống lưu trữ sẽ được điều khiển đáp ứng công suất dựa theo đường đặc tính độ dốc $P-f$. Hình 10 cho ta thấy, khi có các thay đổi công suất đột ngột trong hệ thống thì lưu trữ vẫn duy động được công suất đáp ứng kịp thời, đảm bảo tần số không bị dao động vọt lố quá giới hạn cho phép.



Hình 11. So sánh đáp ứng công suất giữa Pin và Siêu tụ điện

Từ Hình 11, ta thấy được sự khác biệt giữa thời gian đáp ứng của Pin và Siêu tụ điện. Từ đó, việc sử dụng hệ thống lưu trữ lai (HESS) là cần thiết, giúp ổn định tần số hệ thống và đảm bảo chất lượng điện năng.

5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất hệ thống lưu trữ kết hợp Pin và Siêu tụ điện trong Microgrid độc lập. Từ kết quả mô phỏng cho thấy, sự kết hợp Pin và Siêu tụ điện tạo thành một hệ thống lưu trữ với mật độ năng lượng và mật độ công suất cao. Siêu tụ điện được xem như là hệ thống lưu trữ đáp ứng nhanh sự thay đổi công suất tức thời, trong khi đó Pin với khả năng lưu trữ dài hạn, dùng để duy trì công suất.

Bài báo chỉ ra vai trò của hệ thống lưu trữ lai Pin – Siêu tụ điện trong việc ổn định tần số hệ thống Microgrid độc lập ở mức điều khiển sơ cấp.

Microgrid có cấu trúc phức tạp, có nhiều yếu tố bất định, phi tuyến và nhiều đầu vào ra. Nhưng trong hệ thống lưu trữ, các vòng điều khiển dòng điện, điện áp sử dụng bộ điều khiển truyền thống PI, nên chất lượng điều khiển chưa đảm bảo dẫn đến tần số Microgrid có độ vọt lố và thời gian quá độ còn lớn. Do vậy, hướng nghiên cứu trong tương lai là sử dụng bộ điều khiển nâng cao cho hệ thống lưu trữ để đáp ứng được tần số của Microgrid. Bên cạnh đó, đề xuất các thuật toán quản lý năng lượng cho hệ thống lưu trữ một cách hiệu quả, giúp nâng cao tuổi thọ của hệ thống lưu trữ.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo dưới đề tài nghiên cứu khoa học số B2019-DNA-13.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M.Q. Duong, T.V. Dinh, V.T. Nguyen, H.V.P. Nguyen, N.T.N. Tran, T.T.M. Le, "Effects of FSIG and DFIG Wind Power Plants on Ninh Thuan Power Grid Vietnam", *GMSARN International Journal 12 (2018)*, pp. 133 - 138.
- [2] M. Q. Duong, N. T. N. Tran, G. N. Sava, and M. Scripcariu, "The impacts of distributed generation penetration into the power

- system”, 2017 11th Int. Conf. Electromechanical Power Syst. SIEMEN 2017 - Proc., vol. 2017–Janua, pp. 295–301, 2017.
- [3] N. Hatzigiorgiou *et al.*, “Energy management and control of island power systems with increased penetration from renewable sources”, 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309).
- [4] X. Fang, S. Misra, G. Xue, and D. Yang, “Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey”, *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 14, no. 4, pp. 944–980, 2012.
- [5] N. Hatzigiorgiou, “Microgrid, the key to unlock distributed energy resources?”, *IEEE power energy Mag.*, no. june, pp. 2008–2010, 2008.
- [6] R. H. Lasseter, “Microgrid”, in 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309), vol. 1, pp. 305–308.
- [7] N. Van Tan, L. H. Lam, D. M. Quan, N. H. Hieu, and L. K. Hung, “A Thorough Overview of Hierarchical Structure of Microgrid Systems”, in 2018 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), 2018, pp. 710–715.
- [8] N. Hatzigiorgiou, *Microgrid: architectures and control*, Nikos Hatz. Wiley-IEEE Press.
- [9] O. Palizban and K. Kauhaniemi, “Microgrid control principles in island mode operation”, in 2013 IEEE Grenoble Conference, 2013, pp. 1–6.
- [10] H. Han, X. Hou, J. Yang, J. Wu, M. Su, and J. M. Guerrero, “Review of Power Sharing Control Strategies for Islanding Operation of AC Microgrid”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 200–215, Jan. 2016.
- [11] D. E. Olivares *et al.*, “Trends in Microgrid Control”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1905–1919, Jul. 2014.
- [12] D. Wu, F. Tang, T. Dragicevic, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, “Autonomous Active Power Control for Islanded AC Microgrid With Photovoltaic Generation and Energy Storage System”, *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 29, no. 4, pp. 882–892, Dec. 2014.
- [13] M. Pedrasa, T. S.-P. of the 2006 Australasian, and undefined 2006. “A survey of techniques used to control Microgrid generation and storage during island operation”, *researchgate.net*.
- [14] S. Bahramirad, W. Reder, and A. Khodaei, “Reliability-constrained optimal sizing of energy storage system in a Microgrid”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 2056–2062, 2012.
- [15] P. J. Hall, D. Euan, and J. Bain, “Energy-storage technologies and electricity generation.” *Energy Policy*, Volume 36, Issue 12, December 2008, Pages 4352–4355.
- [16] M. S. Mahmoud, S. Azher Hussain, and M. A. Abido, “Modeling and control of Microgrid: An overview”, *J. Franklin Inst.*, vol. 351, no. 5, pp. 2822–2859, 2014.
- [17] J. Mongkoltanatas, D. Riu, and X. Lepivert, “Energy storage design for primary frequency control for islanding micro grid”, *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, no. 1, pp. 5643–5649, 2012.
- [18] C. L. Moreira and J. A. P. Lopes, “Microgrid Operation and Control under Emergency Conditions”, *Intelligent Automation and Soft Computing*, Vol. 15, No. X, pp. 1–18, 2009.
- [19] V. Tan Nguyen, D. Hung Hoang, H. Hieu Nguyen, K. Hung Le, T. Khanh Truong, and Q. Cuong Le, “Analysis of Uncertainties for the Operation and Stability of an Islanded Microgrid”, 2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE).
- [20] H. Bevrani, M. R. Feizi, and S. Ataee, “Robust Frequency Control in an Islanded Microgrid: H_∞ and μ -Synthesis Approaches”, *IEEE Trans. Smart Grid*, pp. 1–1, 2015.
- [21] H. Bevrani, M. R. Feizi, and S. Ataee, “Robust Frequency Control in an Islanded Microgrid: H_∞ and μ -Synthesis Approaches”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 2, pp. 706–717, 2016.
- [22] J. Arkhangelski, P. Roncero-Sánchez, M. Abdou-Tankari, J. Vázquez, and G. Lefebvre, “Control and Restrictions of a Hybrid Renewable Energy System Connected to the Grid: A Battery and Supercapacitor Storage Case”, *Energies*, vol. 12, no. 14, p. 2776, 2019.
- [23] A. S. Samosir and A. H. M. Yatim, “Implementation of Dynamic Evolution Control of Bidirectional DC–DC Converter for Interfacing Ultracapacitor Energy Storage to Fuel-Cell System”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 10, pp. 3468–3473, Oct. 2010.
- [24] A. M. Gee, F. V. P. Robinson, and R. W. Dunn, “Analysis of battery lifetime extension in a small-scale wind-energy system using supercapacitors”, *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 28, no. 1, pp. 24–33, 2013.
- [25] Z. Shi, F. Auger, E. Schaeffer, P. Guillemet, and L. Loron, “Interconnected Observers for online supercapacitor ageing monitoring”, in *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2013, pp. 6746–6751.
- [26] N. Mendis, K. M. Muttaqi, and S. Perera, “Active power management of a super capacitor-battery hybrid energy storage system for standalone operation of DFIG based wind turbines”, *Conf. Rec. - IAS Annu. Meet. (IEEE Ind. Appl. Soc.)*, pp. 1–8, 2012.
- [27] L. W. Yao, J. A. Aziz, P. Y. Kong, and N. R. N. Idris, “Modeling of lithium-ion battery using MATLAB simulink”, *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, pp. 1729–1734, 2013.
- [28] M. Chen and G. A. Rincón-Mora, “Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance”, *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 21, no. 2, pp. 504–511, Jun. 2006.
- [29] Z. Miao, L. Xu, V. R. Disfani, and L. Fan, “An SOC-based battery management system for Microgrid”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 2, pp. 966–973, 2014.

(BBT nhận bài: 18/10/2019, hoàn tất thủ tục phản biện: 09/3/2020)