

NGHIÊN CỨU VÀ MÔ PHỎNG CÂN BẰNG CÔNG SUẤT TRONG HỆ THỐNG MICROGRID VỚI NHIỀU NGUỒN PHÁT

STUDY AND SIMULATION OF POWER BALANCE IN A MICROGRID WITH MULTIPLE SOURCES

Nguyễn Duy Minh^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huic5804.2024.200>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày về cấu trúc của một lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) và nghiên cứu tính toán cân bằng công suất cũng như đánh giá điện áp tại các nút của một Microgrid trong hai chế độ hoạt động khác nhau. Mô hình mô phỏng cho một hệ thống Microgrid đã được xây dựng và tiến hành mô phỏng cho các kịch bản có kết nối lưới và không kết nối lưới. Các kết quả mô phỏng hợp lý thể hiện mô hình được xây dựng hoạt động tốt và là cơ sở để thực hiện các nghiên cứu khác như tính toán bù công suất phản kháng hoặc tối ưu dung lượng và công suất các nguồn lưu trữ điện năng và nguồn phát năng lượng tái tạo đáp ứng nhu cầu của phụ tải trong Microgrid.

Từ khóa: Lưới điện siêu nhỏ, cân bằng công suất, điện áp nút, kết nối lưới, tách lưới.

ABSTRACT

This article outlines the structure of a microgrid and investigates the calculation of power balance, as well as voltage assessment at bus within the microgrid under two operating conditions. A simulation model for the microgrid system has been developed, and simulations have been carried out for several typical scenarios including grid-connected and islanded. The obtained simulation results demonstrate the effectiveness of the model and serve as a foundation for further research, such as calculating reactive power compensation or optimizing the capacity of electricity storage sources and renewable energy generation sources to fulfill the load requirements within the microgrid.

Keywords: Microgrid, power balance, bus voltage, grid-connected, islanded.

¹Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực

*Email: minhnd81@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 16/3/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/6/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2024

1. MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, lưới điện phân phối đang có xu hướng dần chuyển đổi từ lưới điện “thụ động” sang “chủ động” ở đó các quyết định vận hành và điều khiển có thể nằm phân tán và các dòng công suất có thể chạy theo hai chiều từ lưới đến phụ tải và ngược lại [1]. Lưới điện phân phối theo kiểu “chủ động” này có thể dễ dàng tích hợp các nguồn phát điện nhỏ truyền thống cũng như các nguồn năng lượng tái tạo gió và mặt trời, các hệ thống tích trữ năng

lượng, thúc đẩy áp dụng các phương pháp điều chỉnh phụ tải (Demand Side Management-DSM), tạo điều kiện cho việc ứng dụng và phát triển các thiết bị và dịch vụ mới. Ưu điểm nổi bật của một lưới điện chủ động là liên kết một cách hiệu quả nhất giữa nhu cầu phụ tải với các nguồn phát điện, cho phép cả hai phía ra các quyết định sao cho việc hoạt động được hiệu quả và tối ưu nhất.

Lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) là cấu trúc lưới mới ra đời trong xu hướng phát triển lưới điện phân phối thông minh [2, 3]. Cấu trúc và hoạt động của Microgrid dựa trên khả năng kiểm soát hoạt động của toàn bộ lưới điện với sự gia tăng tích hợp của các nguồn phân tán như máy phát, tua-bin nhỏ, tấm năng lượng mặt trời cùng với các thiết bị lưu trữ năng lượng như bánh đà, tụ điện hoặc pin lưu trữ; cùng với đó là các phụ tải thông thường và đặc biệt phụ tải có thể điều khiển được một cách linh hoạt như xe điện, máy giặt, bình nóng lạnh,... Khả năng điều khiển được cho phép Microgrid có thể chủ yếu hoạt động trong chế độ kết nối với lưới điện phân phối phía trên (lưới hệ thống) gọi là chế độ có kết nối lưới (grid-connected mode) hoặc cũng có khả năng hoạt động độc lập, tách khỏi lưới hệ thống trong trường hợp sự cố hoặc thiên tai bất thường gọi là chế độ tách lưới (islanded mode) do đó đảm bảo cung cấp điện liên tục và tăng chất lượng cung cấp điện. Bài báo xây dựng một mô hình Microgrid với các thành phần điển hình và thực hiện mô phỏng cân bằng công suất và tính toán điện áp nút trong các chế độ hoạt động khác nhau.

2. CẤU TRÚC VÀ CÁC THÀNH PHẦN CỦA MỘT MICROGRID



Hình 1. Cấu trúc Microgrid

Cấu trúc và các thành phần của một Microgrid được thể hiện trên (hình 1). Một hệ thống Microgrid có thể gồm lưới điện trung áp (Medium Voltage - MV) và hạ áp (Low Voltage - LV) hoặc chỉ có lưới LV ở một khu vực địa lý xác định có quy mô nhỏ. Các thành phần đấu nối vào lưới MV và LV của một Microgrid có thể có các phụ tải khác nhau trong đó có các phụ tải điều khiển được linh hoạt, các nguồn phát truyền thống như tua-bin, máy phát điện nhỏ và các nguồn năng lượng tái tạo; các thiết bị lưu trữ điện năng. Microgrid kết nối với lưới điện hệ thống qua điểm đấu nối và có thể hoạt động ở chế độ kết lưới hoặc tách lưới. Toàn bộ hoạt động của Microgrid được điều khiển và quản lý qua hệ thống điều khiển và hệ thống thông tin tiên tiến [4, 5].

Các phụ tải trong Microgrid bao gồm các phụ tải thông thường và các phụ tải có khả năng điều khiển và hoạt động một cách linh hoạt ví dụ với hộ gia đình là các thiết bị nhiệt, máy giặt, máy rửa bát được điều khiển để hoạt động khi dư thừa điện năng từ các nguồn tái tạo trong Microgrid hoặc giá điện năng từ lưới hệ thống ở mức thấp. Xe điện mà chủ yếu là ô-tô điện cũng là một phụ tải đặc biệt có thể điều khiển để ưu tiên sạc pin xe khi giá điện thấp; trong hình cấu trúc phía trên biểu diễn chiều năng lượng chỉ một chiều đi từ Microgrid đến xe điện tuy nhiên trong tương lai rất gần mỗi chiếc xe điện có thể xem như một thiết bị lưu trữ và có thể bán điện ngược trở lại lên lưới khi thu được lợi ích cao hơn [6].

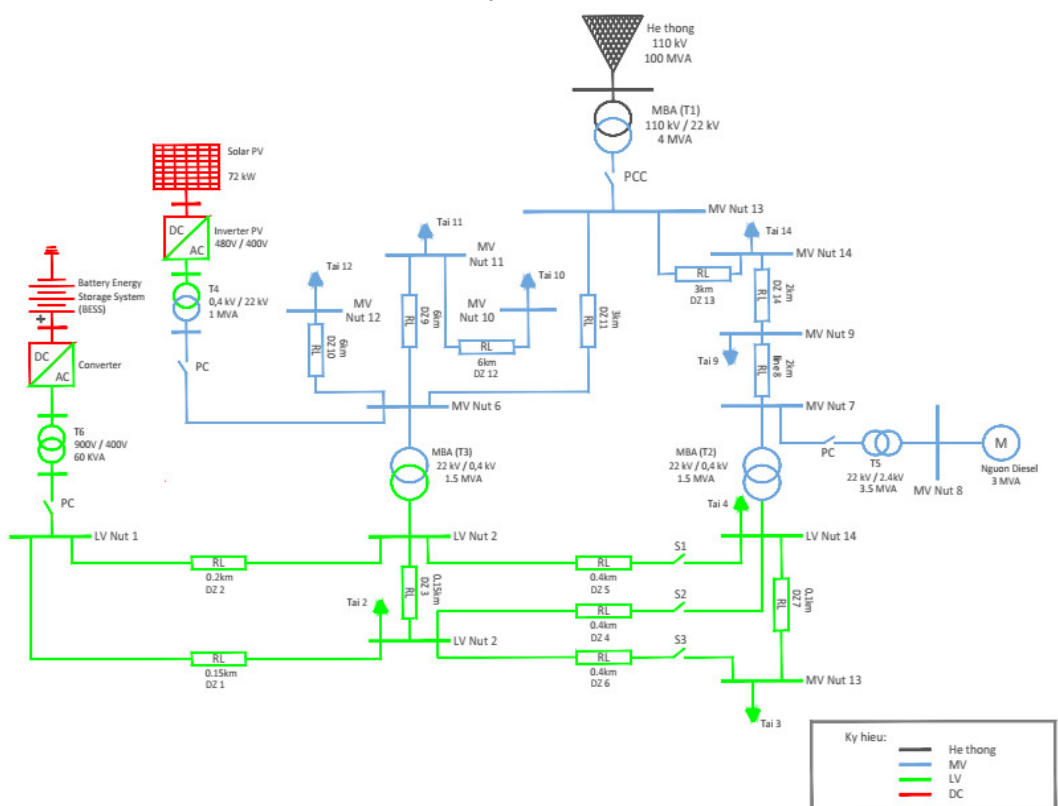
Các nguồn phát điện trong Microgrid có thể là các hệ thống năng lượng tái tạo quy mô nhỏ nằm phân tán như điện mặt trời, điện gió hoặc các tua-bin thủy điện. Để đảm bảo hoạt động ổn định đặc biệt khi tách lưới và bù đắp lại sự thay đổi liên tục của các nguồn tái tạo thì thường có cả máy phát điện truyền thống như máy phát diesel.

Trong Microgrid, theo xu hướng tích hợp ngày càng cao các nguồn phát điện tái tạo và để tận dụng nguồn năng lượng này thì trang bị hệ thống tích trữ năng lượng là không thể thiếu; hệ thống lưu trữ có khả năng thu - phát linh hoạt và khả năng điều chỉnh rất nhanh nhờ các bộ biến đổi điện tử công suất hiện đại góp phần quyết định vào hiệu quả hoạt động và sự ổn định của Microgrid.

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

Mô hình mô phỏng cho một Microgrid được xây dựng sử dụng phần mềm Matlab bao gồm một số loại tải khác nhau, nhiều nguồn phát điện và có hai cấp điện áp MV và LV trên cơ sở lưới phân phối IEEE 14 nút được thể hiện như trên (hình 2).

Microgrid được kết nối với lưới hệ thống ở điểm đấu nối (Point of Common Coupling - PCC). Phần lưới hệ thống xét ở đây được thay thế bằng một nguồn áp có điện áp 110 kV và công suất 100MVA. Phần lưới Microgrid gồm hai cấp điện áp MV - 22kV và LV - 0,4kV. Nguồn phát năng lượng trong Microgrid gồm có tấm pin năng lượng mặt trời (PV) là nguồn năng lượng tái tạo; máy phát điện diesel đặc trưng cho nguồn phát truyền thống và hệ thống pin lưu trữ (BESS) là thiết bị lưu trữ năng lượng. Các phụ tải gồm cả tải MV và LV được phân bố ở các nút như trên hình 2.



Hình 2. Mô hình mô phỏng Microgrid

3.1. Máy biến áp

Mô hình lưới mô phỏng gồm 6 máy biến áp (MBA). MBA T1 kết nối Microgrid với lưới hệ thống, các MBA T2, T3 sử dụng để biến đổi điện áp từ MV sang LV. Các MBA T4, T5, T6 theo thứ tự dùng để kết nối các nguồn phát PV, máy phát diesel và hệ thống BESS với lưới. Thông số các MBA thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Ký hiệu và thông số MBA

Tên MBA	Công suất (kVA)	Tỉ số biến áp (kV/kV)
T1	4000	110/22
T2	1500	22/0,4

T3	1500	22/0,4
T4	1000	22/0,4
T5	3500	22/2,4
T6	60	0,9/0,4

3.2. Đường dây

Các đường dây (DZ) trong Microgrid được đặc trưng bằng các tổng trở được xác định từ chiều dài và tổng trở đơn vị từng đường dây. Tổng cộng có 14 DZ ở hai cấp điện áp LV và MV có ký hiệu, chiều dài như trên (hình 2) với thông số cụ thể như trong bảng 2.

Bảng 2. Ký hiệu và thông số đường dây

DZ	Nút đầu	Nút cuối	Điện trở (Ω)	Điện kháng (Ω)
1	LV1	LV2	0,0297	0,0163
2	LV1	LV5	0,0396	0,0218
3	LV2	LV5	0,0297	0,0163
4	LV2	LV4	0,0792	0,0436
5	LV4	LV5	0,0792	0,0436
6	LV2	LV3	0,0792	0,0436
7	LV3	LV4	0,0198	0,0109
8	MV7	MV9	0,788	0,2336
9	MV6	MV11	2,364	0,7008
10	MV6	MV12	2,364	0,7008
11	MV6	MV13	1,182	0,3504
12	MV10	MV11	2,364	0,7008
13	MV13	MV14	1,182	0,3504
14	MV9	MV14	0,788	0,2336

3.3. Phụ tải

Các phụ tải được mô hình dạng tổng trở không đổi khi chạy bài toán load-flow. Tổng số có 8 phụ tải cả LV và MV như (hình 2), trong đó phụ tải LV ở nút số 2 và số 3 ký hiệu Tải 2 và Tải 3 được cài đặt cho công suất 3 pha (a, b, c) lệch nhau để mô hình cho phụ tải không đối xứng có thể gặp trong thực tế do các phụ tải LV thường là các tải 1 pha. Công suất cực đại các phụ tải được tóm tắt trong bảng 3.

Bảng 3. Ký hiệu và thông số phụ tải

Nút	Ký hiệu tải	Loại tải	Smax (kVA)	Cosφ
LV2	Tải 2	Không đối xứng	40	0,9
LV3	Tải 3	Không đối xứng	30	0,85
LV4	Tải 4	Đối xứng	50	0,9
MV9	Tải 9	Đối xứng	160	0,8
MV10	Tải 10	Đối xứng	600	0,8
MV11	Tải 11	Đối xứng	200	0,8
MV12	Tải 12	Đối xứng	500	0,8
MV14	Tải 14	Đối xứng	1000	0,8

3.4. Máy phát điện diesel

Máy phát điện diesel là nguồn phát truyền thống trong hệ thống Microgrid; để đảm bảo cân bằng công suất và hoạt

động ổn định của Microgrid, đáp ứng tính bất định của các nguồn phát tái tạo và trong hiện trạng hệ thống BESS trang bị còn chưa đủ lớn do vấn đề chi phí thì trang bị máy phát diesel là không thể thiếu. Trong hệ thống Microgrid mô phỏng, máy phát có công suất 3MVA và điện áp đầu cực 2,4kV được mô hình bằng một nguồn áp và coi như nút PV khi chạy bài toán load-flow.

3.5. Tắm nắng lượng mặt trời PV

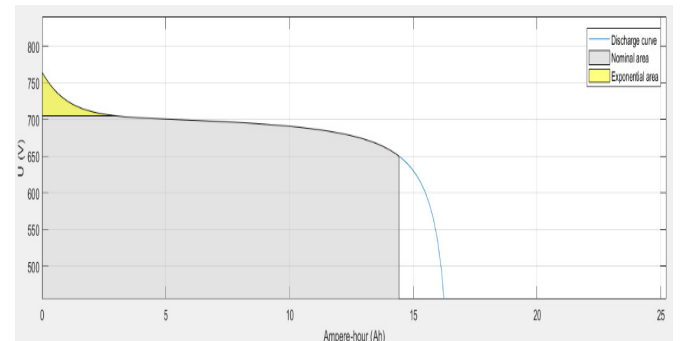
Hệ thống năng lượng mặt trời PV đặc trưng cho nguồn năng lượng tái tạo trong Microgrid. Hệ thống năng lượng mặt trời mô phỏng được hoạt động dưới bức xạ 1000W/m² và ở nhiệt độ 25°C gồm có 1750 tấm với tổng công suất là 725kW. Thông số của tắm nắng lượng được cho trong bảng 4.

Bảng 4. Thông số tắm nắng lượng mặt trời

Dòng điện tại điểm công suất cực đại (A)	Công suất cực đại (W)	Điện áp hở mạch (V)	Điện áp ở điểm công suất cực đại (V)	Dòng điện ngắn mạch (A)
5,69	414,8	85,3	72,9	6,09

3.6. Hệ thống BESS

Hệ thống BESS gồm 3 khối pin loại Nickel-Metal-Hydride (Ni-MH) được ghép song song với nhau, mỗi khối có điện áp 650V và dòng điện 15Ah. Hệ thống này sau đó được đấu nối với bộ biến đổi kiểu nhiều tầng (cascaded topology) rồi tới MBA để đấu nối vào nút LV1. Mô hình loại pin Ni-MH được sử dụng từ thư viện Matlab/Simscap và có đặc tính hoạt động trích xuất từ thư viện như hình 3.



Hình 3. Đặc tính hoạt động pin Ni-MH

3.7. Bộ biến đổi DC/AC

Các bộ biến đổi DC/AC đóng vai trò kết nối trao đổi năng lượng giữa các hệ thống một chiều - DC (gồm hệ thống PV và BESS) với lưới xoay chiều - AC.

Một bộ nghịch lưu được sử dụng cho kết nối giữa nguồn PV với MBA T4 để truyền tải năng lượng vào lưới AC. Bộ nghịch lưu này được mô hình hóa bằng sơ đồ cầu IGBT điều khiển theo phương thức điều biến độ rộng xung - PWM (Pulse Width Modulation).

Một bộ biến đổi 2 chiều DC-AC được dùng để kết nối hệ thống BESS với MBA T6 để trao đổi năng lượng với lưới (nạp - xả). Cấu trúc bộ biến đổi ở đây là loại nhiều tầng cầu H điều khiển theo phương pháp dịch pha SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation).

4. CÁC KỊCH BẢN MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

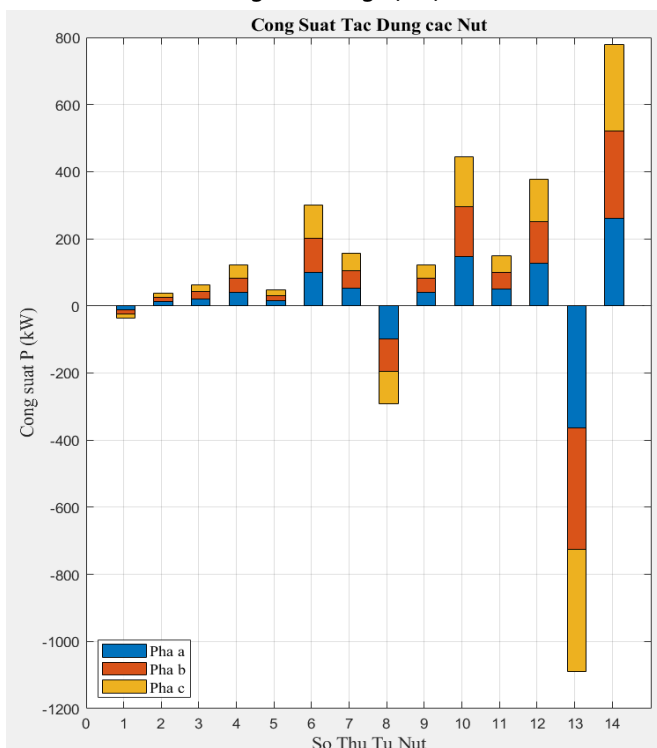
Trong phần này của bài báo, kết quả mô phỏng cân bằng công suất và điện áp các nút cho một số kịch bản điển hình sẽ được trình bày và phân tích cụ thể cho trường hợp Microgrid hoạt động khi có kết lưới và khi không có kết lưới.

4.1. Microgrid có kết nối lưới

Các điều kiện thực hiện mô phỏng trong trường hợp này là phụ tải cực đại (với thông số trong bảng 3); hệ thống PV phát cực đại; hệ thống BESS và máy phát diesel đều phát năng lượng để đáp ứng nhu cầu phụ tải; Microgrid có kết nối lưới.

a) Kết quả mô phỏng cân bằng công suất

Kết quả mô phỏng công suất tác dụng và công suất phản kháng các nút lần lượt được thể hiện trên hình 4 và 5. Công suất tác dụng và phản kháng này được tính toán từ tín hiệu dòng điện và điện áp tại từng nút. Giá trị công suất âm thể hiện nút đó là nút nguồn phát công suất, giá trị dương thể hiện là nút tải tiêu thụ công suất. Trong bài toán này, khi một nút có cả nguồn và tải nếu tổng nguồn phát lớn hơn tổng tải thì ta coi như nút nguồn và ngược lại.

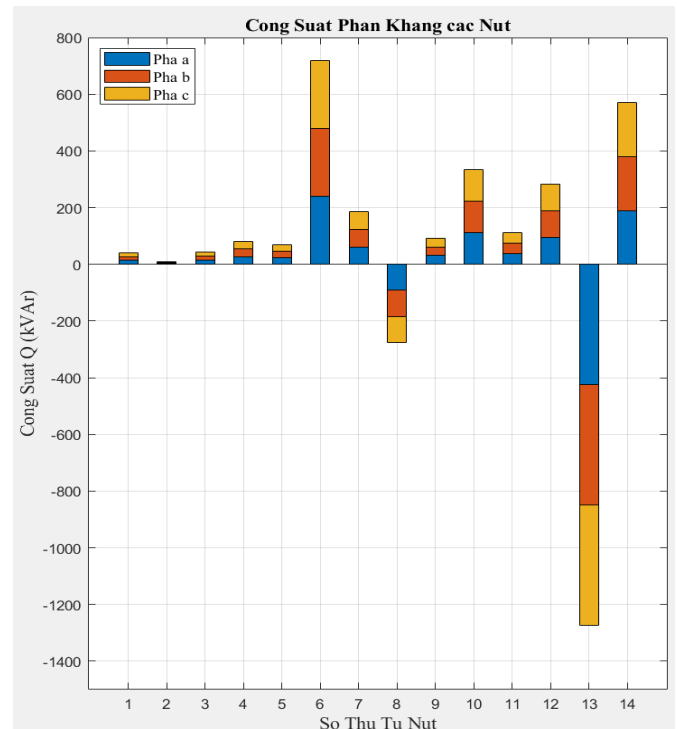


Hình 4. Công suất tác dụng các nút

Nhìn vào kết quả trên hình 4 ta thấy các nút 1, 8, 13 tương ứng hệ thống BESS, máy phát và lưới hệ thống phát công suất tác dụng vào lưới. Hệ thống PV cũng ở trạng thái phát cực đại, phát công suất vào nút 6. Nút này là nút chuyển tiếp kết nối nhiều đường dây, kết quả mô phỏng cho thấy nút 6 là nút tải tức là công suất tiêu thụ từ nút 6 lớn hơn công suất nguồn phát là hệ thống PV kết nối vào nút.

Các nút chỉ có 1 đường dây đấu nối và tại đó có 1 phụ tải duy nhất gồm nút 10 và nút 12 cho kết quả chính là công suất tiêu thụ của phụ tải tương ứng tại nút. Các nút còn lại

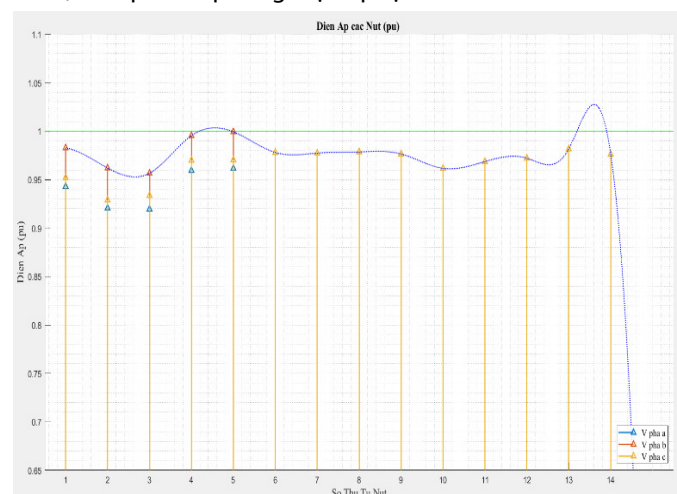
đều có nhiều đường dây đấu nối và đồng thời có thể có cả phụ tải đấu vào đều có kết quả công suất dương (tương ứng là nút tải) thể hiện công suất được tiêu thụ tại nút đó và/hoặc chuyển tiếp sang các nút khác trong Microgrid.



Hình 5. Công suất phản kháng các nút

Kết quả mô phỏng công suất phản kháng các nút trên hình 5 cho thấy nguồn phát công suất phản kháng để cân bằng công suất là từ máy phát diesel và lưới hệ thống. Nút 6 là nút tiêu thụ công suất phản kháng lớn nhất do nút 6 chuyển tiếp công suất phản kháng tới các tải tiêu thụ lớn ở nút 10, 11, 12; mặt khác ta cũng thấy tương quan tiêu thụ công suất phản kháng lớn hơn công suất tác dụng tại nút này do hệ thống PV kết nối vào nút 6 làm nhiệm vụ nguồn phát công suất tác dụng chứ không phải nguồn phát công suất phản kháng.

b) Kết quả mô phỏng điện áp tại các nút



Hình 6. Điện áp tại các nút

Nhìn vào mô phỏng điện áp các nút trên hình 6 cho thấy điện áp tại các nút trung áp MV nằm trong khoảng từ 0,96 đến 0,98 (pu); các giá trị này nằm trong giới hạn thông thường cho phép của điện áp. Còn các nút hạ áp LV có điện áp thay đổi trong khoảng khá lớn từ 0,92 đến 1 (pu); kết quả mô phỏng cũng cho thấy rõ sự mất cân bằng giá trị điện áp các pha của các nút hạ áp từ LV1 đến LV5 do có các phụ tải không đối xứng tại nút LV2 và LV3. Tuy nhiên điện áp các nút phía trung áp MV đều không bị ảnh hưởng bởi sự không đối xứng này.

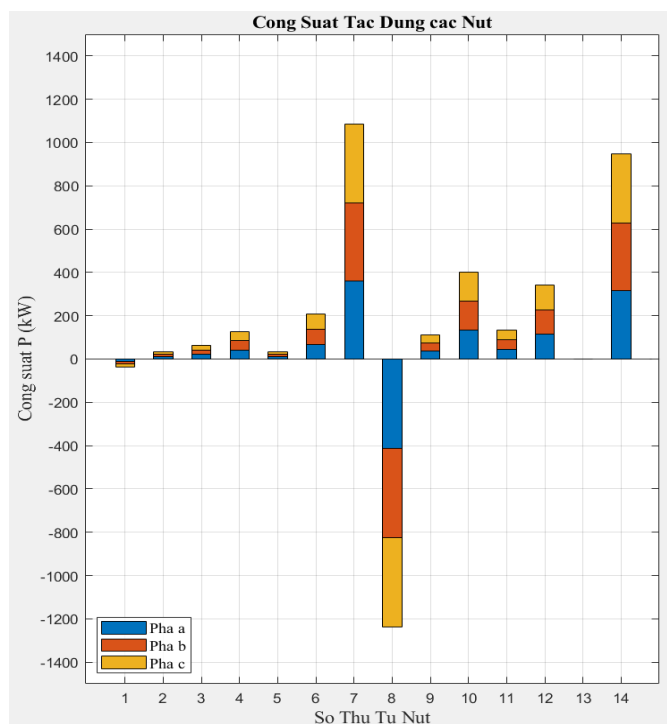
4.2. Microgrid không kết nối lưới

Thực hiện lại các mô phỏng với các giả thiết giữ nguyên như kịch bản 4.1 nhưng cho Microgrid hoạt động độc lập ngắt kết nối với lưới hệ thống.

a) Kết quả mô phỏng cân bằng công suất

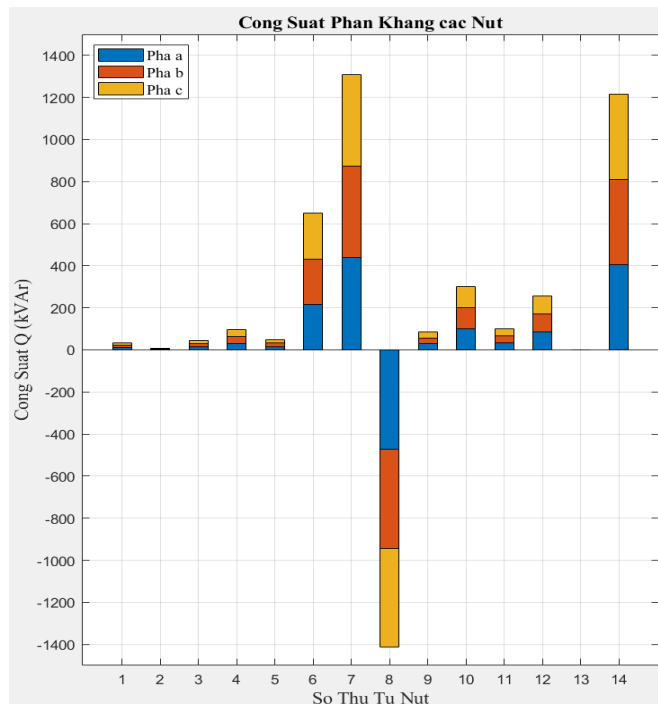
Kết quả mô phỏng công suất tác dụng và công suất phản kháng các nút lần lượt được thể hiện trên hình 7 và 8.

Nhìn vào kết quả trên hình 7 ta thấy trong trường hợp này chỉ có các nút 1 và nút 8 tương ứng hệ thống BESS và máy phát phát công suất tác dụng vào lưới, công suất tại nút hệ thống 13 bằng 0. So với kịch bản trước thì công suất máy phát ở nút 8 tăng lên rất nhiều để bù vào phần công suất từ lưới do đã ngắt Microgrid khỏi lưới hệ thống. Công suất chuyển tiếp ở nút 7 ta cũng thấy tăng cao so với mô phỏng trước vì đây là nút tiếp nhận công suất từ nút 8 để đi tới các nút khác.



Hình 7. Công suất tác dụng các nút

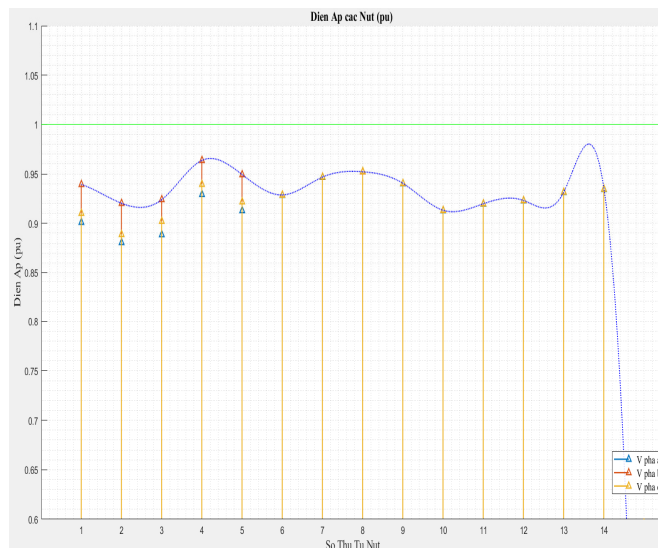
Kết quả mô phỏng công suất phản kháng các nút trên hình 8 cho thấy chỉ còn một nút phát công suất phản kháng là từ máy phát diesel nút 8 còn nút hệ thống 13 bằng 0. Các nút còn lại là nút tiêu thụ và/hoặc chuyển tiếp công suất phản kháng.



Hình 8. Công suất phản kháng các nút

Qua đây có thể thấy tầm quan trọng của việc tính toán đủ công suất nguồn phát diesel trong một Microgrid để đảm bảo hoạt động ổn định trong trường hợp tách lưới trong khi trang bị cho các hệ thống lưu trữ BESS còn hạn chế và công suất nguồn tái tạo nhỏ so với công suất phụ tải cực đại và không ổn định.

b) Kết quả mô phỏng điện áp tại các nút



Hình 9. Điện áp tại các nút

Kết quả mô phỏng điện áp ở hình 9 cho thấy trong trường hợp này điện áp tại các nút giảm xuống khá nhiều so với kịch bản 4.1 cụ thể là nằm trong khoảng từ 0,88 (pu) tới 0,96 (pu) với các nút hạ áp LV; các nút trung áp MV trong kịch bản 4.1 đều có điện áp trong khoảng thông thường cho phép từ 0,96 (pu) đến 0,98 (pu) thì trong kịch bản mô phỏng này hạ xuống chỉ đạt từ 0,91 (pu) đến 0,95 (pu).

Chúng ta vẫn quan sát thấy sự mất cân bằng điện áp các pha của các nút hạ áp từ LV1 đến LV5 như trong kịch bản trước.

Giá trị điện áp thấp tại các nút trong kịch bản này đặt ra vấn đề tính đến phương án đặt bù công suất phản kháng cho các nút để nâng cao điện áp các nút đạt tới giá trị điện áp định mức từ đó đảm bảo chất lượng điện năng cấp cho các phụ tải trong Microgrid.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày về cấu trúc cơ bản của Microgrid và xây dựng mô hình mô phỏng cho một Microgrid trên cơ sở lưới phân phối IEEE 14 nút. Các kết quả mô phỏng đã thực hiện cho kịch bản có kết nối lưới và ngắt kết nối lưới cho thấy mô hình Microgrid đã xây dựng có thể hoạt động ổn định trong cả hai chế độ này. Mô hình và kết quả thu nhận được là cơ sở để thực hiện các nghiên cứu tiếp theo như tính toán bù công suất phản kháng hoặc tối ưu dung lượng và công suất các nguồn lưu trữ điện năng và nguồn phát năng lượng tái tạo đáp ứng nhu cầu của phụ tải trong Microgrid.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Qiang Yang, Ting Yang, Wei Li, *Smart Power Distribution Systems: Control, Communication, and Optimization*. Book, Academic Press, 2019.
- [2]. R. H. Lasseter, P. Paigi, "Microgrid: a conceptual solution," in *Proceedings of the IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC 04)*, 4285-4290, 2004.
- [3]. Nikos D. Hatziargyriou, et al, "Microgrids," *IEEE Power and Energy Magazine* 5(4), 78 – 94, 2007.
- [4]. Eklas Hossain, et al, "Microgrid testbeds around the world: State of art," *Energy Conversion and Management*, 86, 132-153, 2014.
- [5]. Irmak Erdal, Kabalci Ersan, Kabalci Yasin, "Digital Transformation of Microgrids: A Review of Design, Operation, Optimization, and Cybersecurity," *Energies*, 16, 4590, 2023.
- [6]. X. Gong, et al, "A Secured Energy Management Architecture for Smart Hybrid Microgrids Considering PEM-Fuel Cell and Electric Vehicles," *IEEE Access*, 8, 47807-47823, 2020.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Duy Minh

Faculty of Electrical Engineering, Electric Power University, Vietnam