

Mô phỏng điều phối dòng công suất cho lưới điện Microgrid sử dụng hệ thống năng lượng mặt trời và hệ thống pin lưu trữ năng lượng

Lê Duy Phúc^{1,2,*}, Bùi Minh Dương², Bàn Đức Hoài¹, Nguyễn Thanh Hoan¹, Đoàn Ngọc Minh¹, Nguyễn Minh Tùng¹, Nguyễn Minh Khôi¹



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Lưới điện Microgrid (MG) hiện đại bao gồm các thành phần cơ bản như nguồn phát điện phân tán, hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS), các phụ tải điện và các thiết bị bảo vệ. Microgrid đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện cũng như cải thiện chất lượng điện năng trên lưới điện phân phối ngày nay. Không chỉ thế, sự xuất hiện của các hệ thống nguồn phát phân tán dạng năng lượng tái tạo như hệ thống năng lượng mặt trời (PVS), hệ thống nguồn phát điện sử dụng năng lượng gió, và các hệ thống lưu trữ năng lượng khác tạo nên sự đa dạng trong việc vận hành lưới điện MG để đáp ứng nhu cầu phụ tải điện trong khu vực. Nghiên cứu này trình bày các trường hợp điều phối dòng công suất trong lưới điện MG có tích hợp hệ thống năng lượng mặt trời, hệ thống pin lưu trữ năng lượng (BESS), và có xem xét việc tận dụng tối đa công suất phát từ hệ thống năng lượng mặt trời để giảm thiểu lượng công suất phải nhận từ nguồn điện truyền thống. Các kết quả trong nghiên cứu cho thấy sự hiệu quả của hệ thống BESS trong việc chủ động điều phối dòng công suất khi hệ thống PVS không thể đáp ứng một phần hoặc toàn phần phụ tải điện trong giờ cao điểm. Số liệu khảo sát thực tế của hệ thống PVS kết hợp với việc mô phỏng và tính toán dòng công suất trong lưới điện MG bằng phần mềm ETAP được dùng để kiểm chứng tính khả thi của các phương pháp đề xuất trong nghiên cứu.

Từ khóa: Microgrid, hệ thống năng lượng mặt trời, hệ thống pin lưu trữ năng lượng, điều phối dòng công suất

¹Tổng công ty Điện lực Tp.HCM

²Viện Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM (HUTECH)

Liên hệ

Lê Duy Phúc, Tổng công ty Điện lực Tp.HCM

Viện Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM (HUTECH)

Email: phuclid@hcmpp.com.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 25-8-2019
- Ngày chấp nhận: 07-10-2019
- Ngày đăng: 30-11-2019

DOI : 10.32508/stdjet.v2i3.567



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



GIỚI THIỆU

Đặt vấn đề

Lưới điện Microgrid (MG) bao gồm các thành phần cơ bản sau: những máy phát điện phân tán (DG – Distributed Generators), hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS – Energy Storage System), các phụ tải điện và các thiết bị bảo vệ. Microgrid có khả năng vận hành nối lưới hoặc độc lập với nguồn lưới bên ngoài khi cần thiết thông qua việc điều khiển linh hoạt các nguồn phát điện phân tán như máy phát điện tuabin khí, tuabin gió, pin quang điện hoặc các thiết bị lưu trữ năng lượng. Bên cạnh đó, MG có thể được tận dụng như một nguồn phát của lưới điện phân phối, có thể đáp ứng các yêu cầu huy động nguồn trong những trường hợp xuất hiện sự cố trên lưới phân phối¹. Việc triển khai mô hình MG còn có tác dụng cải thiện đáng kể độ tin cậy cung cấp điện, giảm tổn thất điện năng và duy trì ổn định điện áp cho các phụ tải điện có liên kết với MG.

Trong số các dạng nguồn điện sử dụng năng lượng tái tạo, hệ thống điện mặt trời (còn gọi là hệ thống PVS)

được đánh giá là dễ dàng triển khai và thường được lắp đặt trên mái nhà, mặt kính cao ốc, khu đất trống hoặc ở những nơi có thể đón lượng bức xạ nhiệt cực đại từ mặt trời. Theo Luthander *et al.*², công suất lắp đặt của hệ thống PVS tăng lên đáng kể trong những năm gần đây và phần lớn chúng hoạt động ở chế độ nối lưới với vị trí đặt tương đối gần với phụ tải điện. Sajjad *et al.*³ đã phân tích lợi ích, hiệu quả về mặt kinh tế và vận hành khi tích hợp hệ thống PVS vào tòa nhà thương mại. Từ các kết luận trong tài liệu Luthander *et al.*², Sajjad *et al.*³, mục tiêu vận hành của hệ thống PVS nối lưới tập trung vào việc giảm thiểu công suất nhận từ lưới điện chính trong khoảng thời gian có nắng trong ngày. Tuy nhiên, tính ổn định công suất ngõ ra của hệ thống PVS là không cao do phụ thuộc hoàn toàn vào điều kiện thời tiết. Do đó, để duy trì lượng công suất ổn định trong lưới điện MG với sự tích hợp của hệ thống PVS, một trong những giải pháp hiệu quả là tích hợp thêm hệ thống pin lưu trữ năng lượng (còn gọi là hệ thống BESS).

Hệ thống pin lưu trữ năng lượng được tích hợp vào MG nhằm đáp ứng nhiều mục đích vận hành khác

Trích dẫn bài báo này: Phúc L D, Dương B M, Đức Hoài B, Thanh Hoan N, Ngọc Minh D, Minh Tùng N, Minh Khôi N. **Mô phỏng điều phối dòng công suất cho lưới điện Microgrid sử dụng hệ thống năng lượng mặt trời và hệ thống pin lưu trữ năng lượng.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 2(3):163-178.

nhau như điều chỉnh điện áp/tần số (V/f Control), nâng cao độ tin cậy cung cấp điện (Reliability Enhancement) và tiết giảm phụ tải đỉnh (Peak Shaving). Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung phân tích việc điều phối giảm phụ tải đỉnh cho các phụ tải điện thông qua việc sử dụng hệ thống BESS. Theo Oudalov *et al.*⁴, các khách hàng công nghiệp thông thường chỉ vận hành các thiết bị có công suất lớn trong thời gian tương đối ngắn trong ngày. Do đó, việc tiết giảm phụ tải đỉnh nhờ vào hệ thống BESS có thể được ứng dụng cho những khách hàng công nghiệp này trong thời gian ngắn vào giờ cao điểm và nạp điện lại hệ thống BESS trong thời gian thấp điểm chẳng hạn như vào ban đêm, nhờ vậy giảm được chi phí mua điện trong khung giờ cao điểm.

Bảng 1 trình bày những khác biệt chính giữa các phương án thiết kế lưới điện phân phối có xét đến các nguồn điện phân tán. Để có thể tích hợp các nguồn năng lượng phân tán một cách hiệu quả nhằm đảm bảo tính liên tục cung cấp điện cho lưới phân phối, việc xây dựng một cấu trúc lưới hạ áp mới – được gọi là Microgrid là hoàn toàn cần thiết.

Tổng quan điều phối dòng công suất cho lưới điện Microgrid có hệ thống PVS và hệ thống BESS

Các phương pháp quản lý hệ thống điện mặt trời đã được nghiên cứu rộng rãi trong nhiều tài liệu^{2,3,5,6}. Trong tài liệu Luthander *et al.*², hệ thống quản lý năng lượng pin (BEMS – Battery Energy Management System) đóng vai trò chủ yếu trong việc vận hành tối ưu khâu phát điện và tiêu thụ điện. Tối đa hóa việc khai thác và sử dụng công suất từ hệ thống điện mặt trời kết hợp với hệ thống BESS là vấn đề cốt lõi của nhóm tác giả khi thực hiện nghiên cứu. Các ưu điểm của hệ thống PVS -BESS phụ thuộc đáng kể vào giá điện, các chính sách và nhu cầu sử dụng điện thực tế. Cụ thể, Sajjad *et al.*³ đã phân tích rằng chỉ có hệ thống điện mặt trời mới đem lại lợi ích khác biệt đối với phụ tải điện trong các tòa nhà dân dụng. Ngược lại, trong các tòa nhà thương mại (các trung tâm mua sắm nơi mà nhu cầu sử dụng điện lớn hơn) thì lại không khuyến khích việc mở rộng hệ thống BESS như đã trình bày trong tài liệu của Barchi *et al.*⁵. Các ưu điểm khác của việc kết hợp hệ thống PVS và hệ thống BESS được phân tích khá cụ thể và chi tiết trong tài liệu của Vieira *et al.*⁶.

Đóng góp của nghiên cứu

Nếu không xem xét đến các ảnh hưởng về kinh tế và các chính sách khuyến khích, đóng góp chính của nghiên cứu này là các phương pháp điều phối dòng

công suất trong hệ thống quản lý năng lượng (EMS – Energy Management System) tòa nhà thông qua việc điều khiển nguồn phát điện mặt trời và hệ thống pin lưu trữ năng lượng (PVS-BESS Hybrid System), gọi chung là Microgrid. Hệ thống PVS -BESS này đã được phát triển trong một dự án nghiên cứu của châu Âu nhằm cải tạo lại trung tâm mua sắm với mục tiêu giảm thiểu điện năng tiêu thụ từ lưới đến 75%, và khuyến khích sử dụng các công nghệ năng lượng tái tạo và dự trữ năng lượng⁷.

Cấu trúc của bài nghiên cứu này gồm **4 phần chính**, cụ thể như sau:

- Phần **Giới thiệu**: giới thiệu tổng quan về đề tài nghiên cứu của nhóm tác giả.
- Phần **Phương pháp điều phối dòng công suất trong lưới điện Microgrid có tích hợp hệ thống PVS và hệ thống BESS**: trình bày các trường hợp điều phối dòng công suất để cắt giảm phụ tải đỉnh bằng việc sử dụng hệ thống BESS có xem xét đến sự tích hợp hệ thống PVS trong lưới điện MG bằng việc sử dụng hệ thống BESS có xem xét đến sự tích hợp hệ thống PVS trong lưới điện MG.
- Trong phần **Mô phỏng hoạt động Microgrid, kết quả, phân tích và thảo luận**, nhóm tác giả trình bày các kết quả mô phỏng, phân tích và thảo luận.
- Phần **cuối cùng** là những kết luận về một số nội dung nghiên cứu đã được các tác giả thực hiện.

PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU PHỐI DÒNG CÔNG SUẤT TRONG LƯỚI ĐIỆN MICROGRID CÓ TÍCH HỢP HỆ THỐNG PVS VÀ HỆ THỐNG BESS

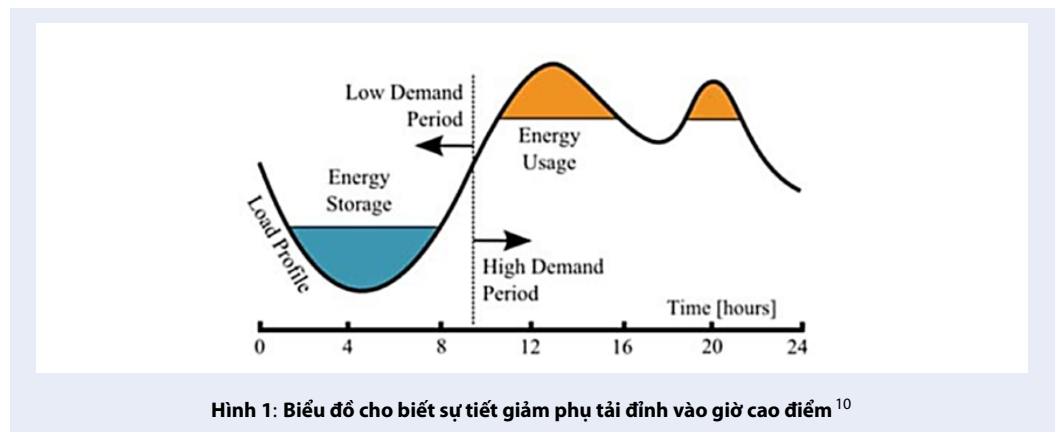
Định nghĩa về tiết giảm phụ tải đỉnh (Peak Shaving)

Tiết giảm phụ tải đỉnh được định nghĩa là một kỹ thuật giảm lượng điện năng tiêu thụ trong khoảng thời gian yêu cầu⁸. Với sự xuất hiện của hệ thống PVS hoặc hệ thống pin lưu trữ năng lượng BESS trong lưới điện MG, việc điều chỉnh nhu cầu năng lượng để tích trữ năng lượng giá rẻ ở những khung giờ thấp điểm và trả về lưới điện trong thời gian nhu cầu điện cao là ứng dụng thường thấy. **Hình 1** minh họa quá trình tiết giảm phụ tải đỉnh; có thể thấy rằng trong thời gian thấp điểm, pin sẽ lưu trữ năng lượng bằng cách sạc. Sau đó, trong khung giờ cao điểm, năng lượng dự trữ trong pin sẽ được cung cấp để cắt đi phần đỉnh của phụ tải đang cao⁹. Nói một cách khác, hệ thống BESS sẽ hỗ trợ một phần công suất để thỏa mãn nhu cầu của phụ tải điện vào khoảng thời gian cao điểm.

Nhìn chung, việc tiết giảm phụ tải đỉnh sử dụng hệ thống PVS hoặc hệ thống BESS đã trở thành một

Bảng 1: Các phương án thiết kế lưới điện phân phối

Đặc điểm	Lưới điện quá khứ	Lưới điện hiện tại	Lưới điện tương lai
	<i>Truyền thống</i>	<i>Nguồn phát điện phân tán</i>	<i>AC hoặc DC Microgrid</i>
<i>Liên kết với máy phát điện truyền thống</i>	Tập trung ở một khu vực; Có máy phát dự phòng	Nguồn năng lượng phân tán được sử dụng với mức độ xâm nhập thấp hoặc trung bình	Nguồn năng lượng phân tán được sử dụng với mức độ xâm nhập ở mức trung bình hoặc cao
<i>Phụ tải</i>	Không phân loại	Phụ tải được phân loại dựa trên các yêu cầu về chất lượng điện năng và tính chất điều khiển	
<i>Phương thức hoạt động lúc bình thường</i>	Lưới điện thụ động: được cung cấp từ trạm biến áp trung gian	Lưới điện bán chủ động: Tuy đã có nguồn trên lưới nhưng vẫn còn phụ thuộc nguồn được cung cấp từ trạm biến áp trung gian	Lưới điện chủ động: Nguồn điện có sẵn trên lưới, không phụ thuộc vào nguồn từ trạm trung gian, chủ động điều chỉnh trào lưu công suất theo mục tiêu cụ thể
<i>Phương thức hoạt động khi có sự cố</i>	Sa thải phụ tải theo tần số, buộc phải cắt điện	Sa thải phụ tải, ngắt kết nối các nguồn phát điện phân tán	Có khả năng hoạt động độc lập và tự động, đáp ứng nhu cầu khi khẩn cấp



Hình 1: Biểu đồ cho biết sự tiết giảm phụ tải đỉnh vào giờ cao điểm¹⁰

quan tâm lớn đối với các ngành công nghiệp và hộ gia đình¹¹. Về mặt lợi ích mang lại, các hộ gia đình và các khu công nghiệp có thể tiết kiệm chi phí mua điện vào khung giờ cao điểm hoặc thậm chí có lợi nhuận nhờ vào việc bán điện cho Điện lực¹². Bên cạnh đó, áp lực đảm bảo cung cấp điện trong hệ thống điện cũng như chi phí nhiên liệu phục vụ phát điện sẽ giảm¹³.

Giả sử một hệ thống MG chỉ tích hợp hệ thống PVS thì phương trình cân bằng công suất bỏ qua tổn hao được biểu diễn như sau (**Equation (1)**):

$$P_{pt} = P_{lnoi} + P_{PV} \quad (1)$$

Trong đó, P_{pt} là công suất của phụ tải điện, P_{li} là công suất từ lưới điện, và P_{PV} là công suất phát ra từ hệ thống điện mặt trời. Như vậy, lượng công suất nhận từ nguồn lưới để đáp ứng nhu cầu phụ tải có thể sẽ giảm

đi một lượng tương ứng với phần công suất phát dư ra từ hệ thống PVS trong khoảng thời gian cao điểm, có năng.

Phương pháp tiết giảm phụ tải đỉnh sử dụng hệ thống BESS có xét đến sự tích hợp của hệ thống PVS

Sự thay đổi đột ngột công suất phát của hệ thống PVS không chỉ làm thay đổi dòng công suất mà còn làm cho tần số của Microgrid dao động đột ngột. Vì vậy, nhóm tác giả đề xuất sử dụng nguồn công suất dự trữ trong hệ thống BESS, nhằm ổn định lượng công suất phát ra từ hệ thống PVS đồng thời tiết giảm lượng công suất nhận từ nguồn lưới. Việc huy động nguồn từ hệ thống pin lưu trữ năng lượng BESS có thể được xem là giải pháp hiệu quả cả về mặt kinh tế lẫn kỹ

thuật. Bởi vì, Microgrid sẽ không phụ thuộc hoàn toàn vào nguồn lưới mà còn giải quyết được những khuyết điểm của việc chỉ sử dụng hệ thống PVS.

Hệ thống BESS được tích hợp vào Microgrid cho thấy khả năng linh hoạt trong việc hỗ trợ vận hành Microgrid và ứng dụng tiết giảm lượng công suất tiêu thụ từ nguồn lưới trong thời gian xuất hiện tải đỉnh, được thể hiện lần lượt trong **Equations (2) và (3)**:

$$P_{pt} = P_{luoi} + P_{PV} + P_{BESS} \quad (2)$$

$$P_{can\ bu} = \alpha P_{cong\ suat\ dat\ cua\ BESS} + P_{luoi} \quad (3)$$

Trong đó: α là giá trị có thể được cài đặt bởi người vận hành hoặc có thể được tính toán và cập nhật một cách tự động, P_{pv} là giá trị tổng công suất phát ra từ hệ thống PVS, P_{li} là giá trị công suất mà MG nhận từ lưới điện chính và $P_{cong\ suat\ t\ ca\ BESS}$ là giá trị công suất đặt của hệ thống BESS. Trên cơ sở đó, lượng công suất mà hệ thống BESS phải bù vào lưới trong thời gian xuất hiện tải đỉnh có thể được lựa chọn tương ứng với tỉ lệ phần trăm của tổng công suất tiêu thụ trong MG. Tuy nhiên, tốc độ xả của hệ thống BESS ảnh hưởng trực tiếp đến tuổi thọ của nó. Do đó, nếu hệ thống BESS được cài đặt để vận hành tối đa công suất thì đồng nghĩa với việc tuổi thọ của pin sẽ bị rút ngắn dẫn đến phải thay thế sớm hơn kế hoạch bảo trì đã định.

Xây dựng hệ thống PVS-BESS thực tế cho ứng dụng tiết giảm phụ tải đỉnh

Nghiên cứu này sử dụng bộ điều khiển pin lưu trữ năng lượng (Power Controller for BESS) dựa trên phần cứng của hãng ABB kết hợp với vận hành hệ thống điện mặt trời để giảm phụ tải đỉnh trong giờ cao điểm. Bộ điều khiển pin sẽ điều phối dòng công suất đối với hệ thống BESS. Chức năng chính của bộ điều khiển là giám sát dữ liệu tải và kích hoạt hệ thống BESS xem có nên nạp điện từ hệ thống điện mặt trời hay xả năng lượng vào Microgrid để giảm thiểu nhu cầu tải cao trong giờ cao điểm. Đồng thời, điều quan trọng đối với bộ điều khiển là phải tính đến các điều kiện vận hành để tránh hư hỏng thiết bị trong Microgrid. Hệ thống điều khiển pin của ABB có cấu trúc phi tập trung, trong đó mỗi thiết bị có một bộ điều khiển riêng biệt và tất cả các bộ điều khiển đều được giao tiếp với nhau. Thảo luận chi tiết về cấu trúc và nguyên lý hoạt động của hệ thống điều khiển pin nằm ngoài phạm vi của bài viết này⁴. Dựa trên cơ sở hỗ trợ phần cứng và phần mềm của hệ thống quản lý năng lượng pin từ hãng ABB và sự tích hợp hệ thống điện mặt trời vào MG, **Hình 2** cho biết sơ đồ khối tổng thể về việc kết nối, vận hành hệ thống PVS-BESS.

Các trường hợp điều phối dòng công suất để tiết giảm tải đỉnh – Một ví dụ thực tế

Sơ đồ Microgrid cụ thể

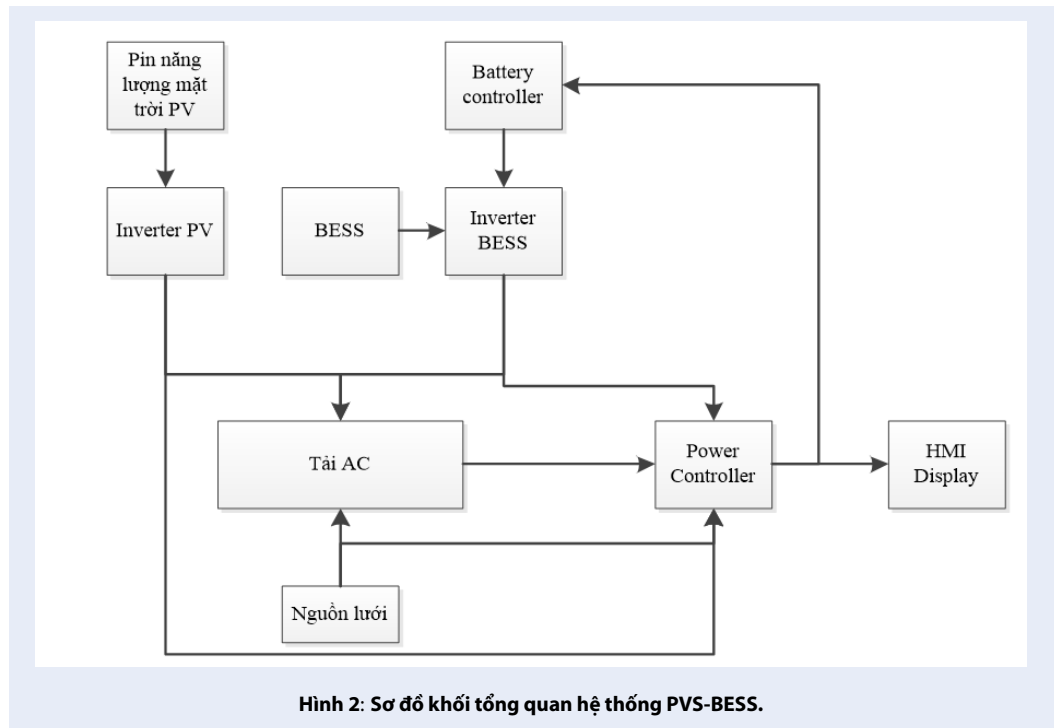
Công suất định mức của các phụ tải điện trong tòa nhà Data Center – Thành phố Hồ Chí Minh, được nhóm tác giả sử dụng để phân tích các trường hợp điều phối dòng công suất của hệ thống PVS -BESS, như cho biết trong **Bảng 2**.

Mỗi loại phụ tải khác nhau sẽ có những đặc tính vận hành riêng trong ngày. Với phụ tải điện Server (Ptt3) là dạng phụ tải điện vận hành theo chế độ 24/7 và chỉ thay đổi tăng/giảm khi bổ sung thêm các máy tính chủ mới hoặc bảo trì một vài tủ rack. Do đó, biểu đồ phụ tải này có dạng tương đối bằng phẳng; phụ tải hệ thống kỹ thuật (Ptt2) của tòa nhà Data Center bao gồm thang máy, cấp thoát nước, xử lý nước thải, chiếu sáng ngoài và thông gió. Các phụ tải chiếu sáng, ổ cắm, và điều hòa không khí (Ptt1) có đặc điểm là thường hoạt động chủ yếu vào khung giờ hành chính và cũng một phần phụ thuộc vào yếu tố nhiệt độ môi trường. Hệ thống điều hòa không khí sẽ hoạt động để làm mát môi trường xung quanh với giá trị nhiệt độ yêu cầu cài đặt sẵn. Tuy nhiên, khi thời tiết nóng, do độ chênh lệch giữa nhiệt độ bên trong và bên ngoài tòa nhà sẽ có giá trị lớn, dẫn đến việc hệ thống điều hòa không khí phải làm việc liên tục để đáp ứng yêu cầu đặt ra. Chính vì vậy, phụ tải điều hòa không khí chính là một trong những phụ tải tiêu tốn điện nhiều nhất trong khối phụ tải Ptt1.

Hình 3 cho biết sơ đồ lưới điện MG của tòa nhà Trung tâm Dữ liệu (Data Center) đang vận hành nổi lưới. Trong mô hình MG này, ngoài các nguồn phát điện phân tán sử dụng động cơ Diesel hoạt động để đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện cho tất cả phụ tải điện trong tòa nhà Data Center, hệ thống MG còn có hai thành phần khác là hệ thống PVS và hệ thống BESS. Các tấm pin quang điện sẽ hấp thụ tối đa lượng bức xạ nhiệt từ mặt trời, chuyển hóa thành nguồn năng lượng điện DC trước khi đi vào các bộ nghịch lưu để biến đổi thành nguồn điện 400V xoay chiều. Nhờ vậy, lượng công suất tiêu thụ từ nguồn lưới sẽ giảm xuống bởi vì có sự xuất hiện của nguồn năng lượng phát ra từ hệ thống PVS. Hệ thống BESS được ứng dụng trong việc tiết giảm công suất tiêu thụ từ nguồn lưới trong thời gian xuất hiện tải đỉnh sẽ được nhóm tác giả tập trung nghiên cứu.

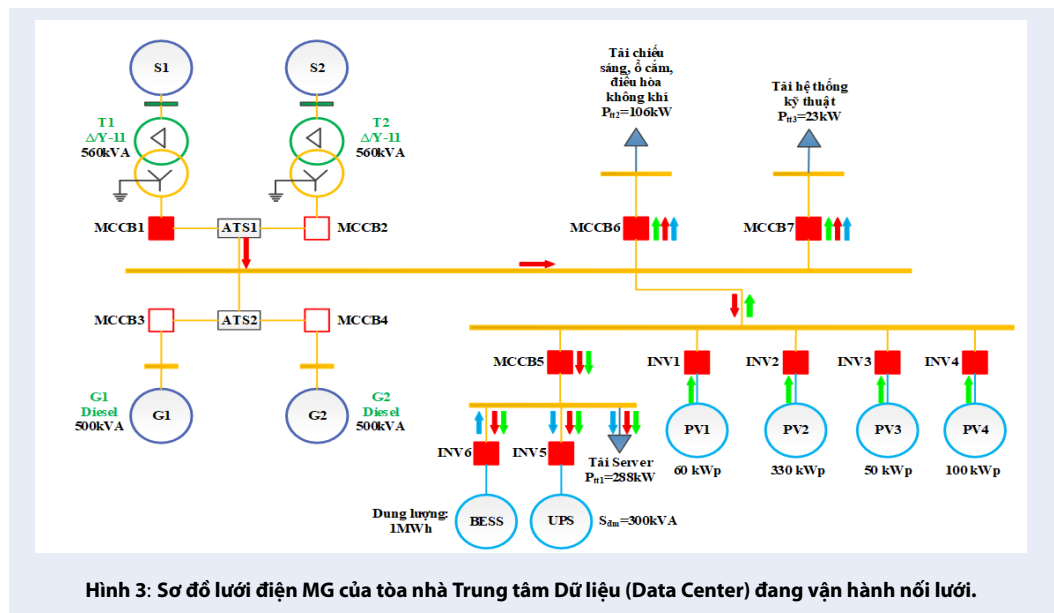
Phương án cung cấp điện cho tòa nhà Data Center được trình bày cụ thể như sau:

- Nhận điện từ hai phát tuyến trung thế xuất phát từ hai trạm trung gian 110/22kV khác nhau để đảm bảo độ dự phòng cung cấp điện cao nhất. Để cung cấp điện bên trong tòa nhà, một phát tuyến sẽ được



Bảng 2: Tổng công suất tính toán tối đa của toàn bộ phụ tải ở Data Center khi đưa vào hoạt động

STT	Khu vực	Công suất tính toán (kW)
1	Hệ thống chiếu sáng, ổ cắm điện, điều hòa không khí (ĐHKK) (Ptt1)	105,9
2	Các hệ thống kỹ thuật (Ptt2)	22,6
3	Phòng Server (Ptt3)	288
Tổng cộng		416,5



kết nối với một máy biến thế phân phối có công suất đặt là 560kVA (tổ đấu dây $\Delta/Y-11$ với cuộn Y được nối đất trực tiếp). Ngoài ra, các máy cắt MCCB1 và MCCB2 được sử dụng để cách ly phụ tải điện khi sự cố xuất hiện ở lưới điện chính S1 (hoặc S2) trước khi huy động các nguồn phát phân tán bên trong MG (chẳng hạn như G1/G2 hoặc BESS/UPS hoặc PVS). Bên cạnh đó, thiết bị chuyển nguồn tự động ATS1 sẽ đảm nhận nhiệm vụ phát hiện, cách ly sự cố ở lưới điện chính, kiểm tra hòa đồng bộ và chuyển nguồn tự động từ S1 sang S2.

- Hai máy phát điện diesel G1 và G2, với công suất định mức là 500kVA/máy, được sử dụng trong trường hợp cả nguồn S1 và S2 không thể huy động trong thời gian lưới điện chính bị sự cố. Tổng thời gian từ lúc máy phát điện diesel khởi động đến khi đáp ứng điều kiện hòa đồng bộ với lưới điện trung bình từ 5 giây đến 30 giây. Để đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện cho những phụ tải trong lưới điện, bộ chuyển nguồn ATS2 sẽ đảm nhận việc giám sát tình trạng vận hành của máy phát điện G1. Nếu máy phát điện G1 không thỏa mãn điều kiện vận hành thì ATS2 sẽ khởi động máy phát điện G2 trước khi cung cấp điện cho MG thông qua MCCB4 và ngược lại.
- Một hệ thống UPS 300kVA được lắp đặt và hoạt động song song với nguồn lưới chính. Nhờ vậy, khi xảy ra sự cố bên ngoài MG, hệ thống tải Server vẫn làm việc bình thường nhờ vào nguồn năng lượng tích trữ bên trong thiết bị UPS trước khi các máy phát điện diesel G1/G2 được đưa vào hoạt động.
- Các MCCB5, MCCB6 và MCCB7 được lắp đặt để đảm bảo các phụ tải điện tương ứng được cách ly khi sự cố hoặc khi có yêu cầu phải sa thải. Ví dụ, khi xảy ra sự cố trên lưới điện chính và các nguồn S2/G1/G2 không thể huy động, việc đảm bảo cung cấp điện cho hệ thống tải Server là vấn đề ưu tiên. Do đó, thiết bị UPS chỉ hoạt động để cung cấp điện cho các tải Server với hiệu suất cực đại. Lúc này, MCCB6 và MCCB7 phải được yêu cầu mở nhằm đảm bảo công suất từ thiết bị UPS không bị chi phối bởi các phụ tải có độ quan trọng kém hơn.

Giải thuật tiết giảm phụ tải đỉnh thông qua điều phối dòng công suất từ hệ thống PVS-BESS

Mục tiêu chính của giải thuật là đưa ra hướng dẫn, điều phối dòng công suất và phối hợp hoạt động giữa các nguồn phát như PVS, BESS, máy phát điện Diesel, và nguồn lưới để tiết giảm phụ tải đỉnh. Căn cứ dữ liệu tải của tòa nhà Data Center và công suất lắp đặt của hệ thống PVS để xây dựng thuật toán chương trình điều phối dòng công suất, giám sát và vận hành hệ thống

BESS theo lưu đồ như **Hình 4**. Hơn nữa, **Bảng 3** trình bày các thông số cài đặt cơ bản của hệ thống BESS trong lưới điện Microgrid.

MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG MICROGRID, KẾT QUẢ, PHÂN TÍCH VÀ THẢO LUẬN

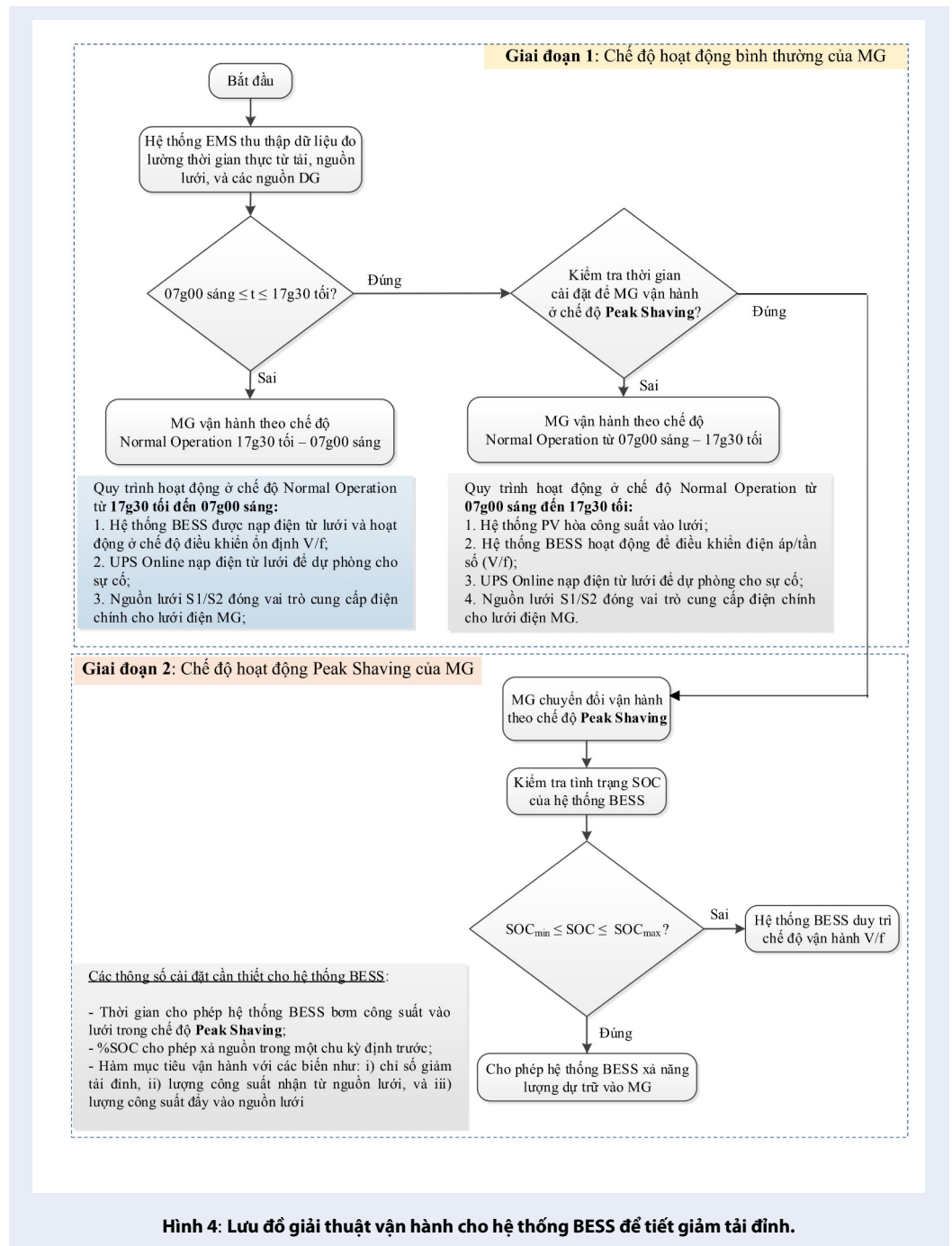
Các trường hợp mô phỏng hoạt động, điều phối dòng công suất trong Microgrid được thực hiện như sau:

- Microgrid bắt đầu hoạt động ở chế độ hòa lưới, nghĩa là các phụ tải điện bên trong MG sẽ được cấp điện bởi nguồn lưới chính. Hệ thống UPS vừa giám sát điện áp vận hành của lưới vừa được nạp điện. Trong khi đó, hệ thống BESS hoạt động như một thiết bị điều khiển điện áp cho MG. Các máy phát điện dự phòng Diesel đang trong trạng thái chờ và sẵn sàng khởi động để hòa lưới nếu có bất kỳ sự cố bên ngoài MG xảy ra. Hệ thống PVS đảm nhận vai trò hỗ trợ dòng công suất trong MG. Trong trường hợp này, nhóm tác giả tập trung phân tích sự tác động của dòng công suất được phát ra từ các hệ thống PVS đến MG khi cường độ bức xạ thay đổi ngẫu nhiên.
- Dựa vào công suất phát thực tế của các hệ thống PVS, nhóm tác giả mô phỏng hoạt động MG vận hành theo yêu cầu tiết giảm tải đỉnh trong giờ cao điểm. Đối với yêu cầu này, hệ thống BESS sẽ đóng vai trò quan trọng để điều khiển dòng công suất thu vào/phát ra từ nguồn lưới chính.

Sự ảnh hưởng của công suất phát ra từ hệ thống PVS đến Microgrid

MG hòa với nguồn lưới S1 (hoặc S2) và hệ thống PVS hoạt động từ 07g00 sáng đến 17g30 tối

Như đã thể hiện trong **Hình 3**, các hệ thống PV1, PV2, PV3 và PV4 trong lưới điện MG có sự khác nhau về vị trí lắp đặt. Theo đó, nhóm tác giả đã xây dựng 10 kịch bản cường độ bức xạ nhiệt khác nhau cho 4 hệ thống PVS này, như đã trình bày chi tiết trong **Bảng 4**. Cụ thể hơn, số liệu cường độ bức xạ nhiệt trong kịch bản 1 và 2 lần lượt là những giá trị mô phỏng ở mức tối đa (1000 W/m^2) và ở mức khoảng 50% (543 W/m^2). Trong khi đó, những kịch bản còn lại là những giá trị cường độ bức xạ nhiệt được lựa chọn ngẫu nhiên để mô tả các trường hợp thời tiết ảnh hưởng lên 4 hệ thống PVS được lắp đặt ở 4 vị trí khác nhau. Sau khi tính toán phân bố trào lưu công suất, kết quả tính toán được ghi nhận trong **Bảng 5** tương ứng với hoạt động của MG khi nhận công suất từ S1. Lưu ý, công suất phát của bất kỳ hệ thống PVS luôn mang dấu dương, công suất của các phụ tải sẽ mang dấu âm. Ngoài ra, công suất của nguồn lưới S1 sẽ mang giá trị dương



Hình 4: Lưu đồ giải thuật vận hành cho hệ thống BESS để tiết giảm tải đỉnh.

Bảng 3: Các thông số cài đặt cơ bản của hệ thống BESS

Thông số	Dãy giá trị cho phép cài đặt → Giá trị cài đặt
Thời gian hoạt động của chế độ Peak Shaving	0g00 đến 24g00 → 8g00 đến 16g00
Tốc độ xả nguồn năng lượng tích trữ	không giới hạn
Thời gian điều chỉnh lại	0 đến 2 giờ/lần (độ phân giải 01 phút) → lựa chọn 15 phút/lần
SOC _{min} ngăn chặn xả nguồn	0 ~ 100% → lựa chọn 30%
Thời gian để pin lưu trữ nạp lại nếu SOC _{BESS} < SOC _{min}	0 đến 6 giờ → lựa chọn 1 giờ
Thời gian hoạt động nạp lại của pin lưu trữ có xem xét đến yếu tố chi phí điện mua từ lưới	0g00 đến 24g00 → 20g00 đến 8g00
Chế độ nạp điện	Tự động nạp đầy/nạp theo giá trị nhập → Tự động nạp đầy đến khi giá trị SOC đạt 100%

nếu cung cấp cho MG, ngược lại mang dấu âm. Giả sử rằng, hệ thống BESS đã tích trữ đủ lượng công suất cần thiết và lúc này chỉ còn hệ thống UPS cần phải thực hiện nạp một lượng công suất là 12,9 kW (tương đương với dòng điện là 19A).

Từ các kết quả tính toán trào lưu công suất trong **Bảng 5**, trong điều kiện cường độ bức xạ nhiệt là cao (như kịch bản 1 và 7 của **Bảng 4**), tổng công suất phát ra từ các hệ thống PVS (P_{SumPV}) không chỉ cung cấp cho riêng các phụ tải điện bên trong MG như các máy tính chủ, hệ thống kỹ thuật, phụ tải chiếu sáng, điều hòa không khí, pin lưu trữ của UPS, mà còn phát ngược lại lên lưới điện chính. Ví dụ, với kịch bản 1, các hệ thống PVS phát ngược lại lưới điện với giá trị dòng công suất thực là 87,6 kW, trong khi đó là 35,8 kW đối với kịch bản 7. Đây là cơ sở để người vận hành lưới điện MG xét đến tính kinh tế, trong quá trình vận hành hệ thống sao cho đạt được mục đích tối đa hóa lợi nhuận. Ngoài ra, lượng công suất phát từ các hệ thống PVS có thể được lưu trữ trong hệ thống BESS hoặc UPS.

MG hòa với nguồn lưới S1 (hoặc S2) vào khung giờ từ 17g30 tối đến 07g00 sáng, UPS và BESS nạp điện

Trong khoảng thời gian từ 17g30 đến 07g00 ngày tiếp theo, công suất phát của các hệ thống PVS giảm mạnh. Do trong thời gian này, lượng bức xạ nhiệt gần như không đáng kể (<70 W/m²). Khi đó, điện áp hệ thống PVS dao động trong khoảng từ 0 đến 10V_{dc} và dòng điện sinh ra rất thấp (< 0,2A). Kết quả là toàn bộ inverter sẽ bị cắt ra khỏi MG, hệ thống UPS và BESS sẽ được sạc từ nguồn điện lưới nhằm tận dụng giá điện thấp trong khung giờ này.

Nhóm nghiên cứu chạy phân bố trào lưu công suất được tích hợp sẵn trong phần mềm ETAP để tìm kiếm

các giá trị dòng công suất của các nhóm phụ tải Ptt1, Ptt2, Ptt3 tương ứng với MG nhận từ nguồn S1 cũng như công suất được nạp đến hệ thống UPS và BESS. Dung lượng còn lại của hệ thống BESS phụ thuộc vào tình trạng lưới điện MG trước thời điểm 17g30 tối. Nhóm tác giả tiến hành khảo sát hai trạng thái khác nhau của hệ thống BESS: i) BESS xả hết lượng công suất cài đặt và chuyển sang chế độ nạp (SOC_{BESS} < 30%) và ii) BESS có dung lượng còn lại 80% (SOC_{BESS} = 80%).

a) Trường hợp 1 : Dung lượng BESS còn 30% (SOC_{BESS} = 30%)

Bảng 6 cho thấy lượng công suất lưới S1, P_{S1} cung cấp cho các loại phụ tải cùng thời điểm hệ thống BESS được nạp điện. Các bộ nghịch lưu INV1, INV2, INV3 và INV4 được ngắt ra khỏi hệ thống nên giá trị dòng công suất phát trong thời điểm này là 0 kW. Tại thời điểm 17g30 tối, dung lượng hệ thống BESS còn lại 30% (tương ứng với 70Ah). Giả sử lượng công suất từ nguồn lưới nạp cho hệ thống BESS là 55kW thì thời gian cần để nạp đầy 100% là 12,7 giờ tương ứng với 06g15 sáng hôm sau (nếu như thời gian nạp bắt đầu 17g30 tối). Nguồn lưới S1 sẽ bơm vào một lượng công suất là 404,4 kW để cung cấp điện cho toàn bộ phụ tải lần nạp vào hệ thống BESS (-55 kW) và UPS (-12,9 kW). Từ thời điểm 06g15 sáng trở đi, quá trình nạp kết thúc và dòng công suất đi vào hệ thống BESS bằng 0kW. Lúc này, giá trị dòng công suất nhận từ nguồn lưới S1 giảm từ 404,4kW còn 349,7kW.

b) Trường hợp 2 : Dung lượng hệ thống BESS còn lại 80% (SOC_{BESS} = 80%)

Bảng 7 cho thấy, tại thời điểm 17g30 tối, dung lượng tích trữ của BESS đang hiển thị là 80% (tương ứng với 2000Ah), lượng công suất từ nguồn lưới S1 nạp cho hệ thống BESS là 55 kW (tương ứng với 137Ah), thì khoảng thời gian cần để nạp đầy 100% là 3,5 giờ

Bảng 4: Giá trị cường độ bức xạ nhiệt của các hệ thống PVS ứng với 10 kịch bản mô phỏng khi MG hòa lưới S1

	PV1 (W/m ²)	PV2 (W/m ²)	PV3 (W/m ²)	PV4 (W/m ²)
Kịch bản 1	1000	1000	1000	1000
Kịch bản 2	543	543	543	543
Kịch bản 3	610	40	40	40
Kịch bản 4	150	440	440	440
Kịch bản 5	450	50	50	50
Kịch bản 6	270	530	530	530
Kịch bản 7	960	930	930	930
Kịch bản 8	10	480	480	480
Kịch bản 9	760	830	830	830
Kịch bản 10	870	380	380	380

Bảng 5: Kết quả tính toán phân bố công suất của MG khi hòa với nguồn lưới S1

Công suất phát (kW)	P_{PV1}	P_{PV2}	P_{PV3}	P_{PV4}	P_{SumPV}	P_{S1}	$P_{tải UPS}$	P_{tt3}^*	P_{tt2}^*	P_{tt1}^*
Kịch bản 1	56,9	318,4	47,2	94,5	517	-87,6	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 2	29,8	166,8	24,8	49,5	270,9	158,5	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 3	33,7	10,36	24,1	3,08	71,24	358,16	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 4	7,6	129,8	3,94	4,1	145,44	283,96	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 5	24,4	13,16	44,8	3,91	86,27	343,13	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 6	14,2	162,8	3,23	48,3	228,53	200,87	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 7	54,5	295,2	28	87,5	465,2	-35,8	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 8	0	130,4	0	43,4	173,8	255,6	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 9	42,5	261,6	33,4	77,6	415,1	14,3	-12,9	-288	-22,5	-106
Kịch bản 10	49,1	114,4	30,9	33,9	228,3	201,1	-12,9	-288	-22,5	-106

Lưu ý: * Công suất tính toán của các phụ tải được đề cập trong **Bảng 2** khi Microgrid vận hành hòa lưới cùng với các hệ thống PVS trong khung giờ từ 7g30 đến 17g30.

Bảng 6: Kết quả tính toán phân bố công suất của MG khi hòa với nguồn lưới S1 và SOCBESS = 30%

Thời gian trong ngày	P_{PV1}	P_{PV2}	P_{PV3}	P_{PV4}	P_{SumPV}	P_{S1}	$P_{tải UPS}$	$P_{tải BESS}$	P_{tt3}	P_{tt2}	P_{tt1}
17g30	0	0	0	0	0	404,4	-12,9	-55	-288	-22,5	-26,3
17g45	0	0	0	0	0	404,4	-12,9	-55	-288	-22,5	-26,3
...
06g15	0	0	0	0	0	349,7	-12,9	0	-288	-22,5	-26,3
06g30	0	0	0	0	0	349,7	-12,9	0	-288	-22,5	-26,3
06g45	0	0	0	0	0	349,7	-12,9	0	-288	-22,5	-26,3
07g00	0	0	0	0	0	349,7	-12,9	0	-288	-22,5	-26,3

Bảng 7: Kết quả tính toán phân bố công suất của lưới MG khi hòa với nguồn lưới S1 và SOCBESS = 80%

Thời gian trong ngày	P_{PV1}	P_{PV2}	P_{PV3}	P_{PV4}	P_{SumPV}	P_{S1}	$P_{tải UPS}$	$P_{tải BESS}$	P_{tt3}	P_{tt2}	P_{tt1}
17g30	0	0	0	0	0	404,4	-12,9	-55	-288	-22,5	-26,3
17g45	0	0	0	0	0	404,4	-12,9	-55	-288	-22,5	-26,3
...
20g45	0	0	0	0	0	404,4	-12,9	-55	-288	-22,5	-26,3
21g00	0	0	0	0	0	349,7	-12,9	0	-288	-22,5	-26,3
...
07g00	0	0	0	0	0	349,7	-12,9	0	-288	-22,5	-26,3

tương ứng với 21g00 tối cùng ngày. Khi đó, nguồn lưới S1 sẽ phát ra lượng công suất 404,72kW tương tự trường hợp 1 để cung cấp cho các phụ tải và nạp vào hệ thống BESS/UPS. Sau 21g00 tối, lượng công suất nhận từ nguồn lưới S1 của MG giảm còn 347,4kW do hệ thống BESS đã được nạp đầy.

Mô phỏng Microgrid vận hành trong chế độ tiết giảm tải đỉnh (Peak Shaving)

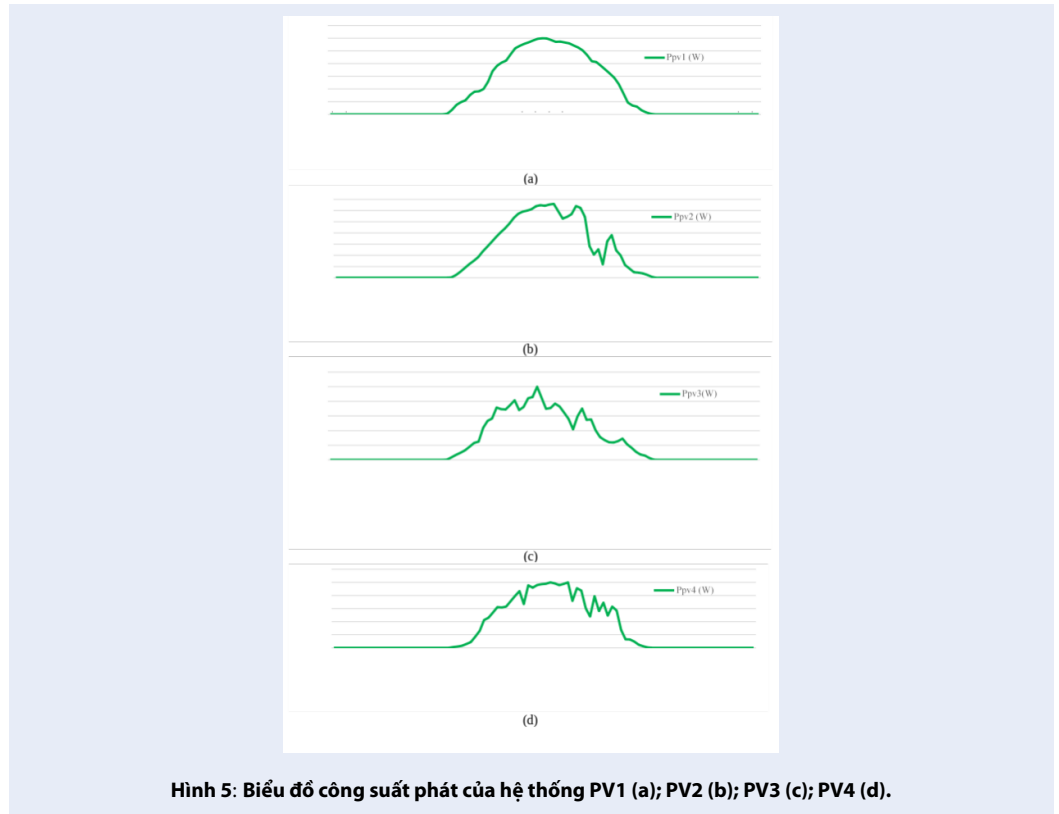
Dữ liệu thực của hệ thống PVS được mô phỏng

Hình 5 trình bày cụ thể các đồ thị công suất phát từ các hệ thống PV1, PV2, PV3 và PV4. Hình 5a thể hiện biểu đồ công suất phát của PV1 trong ngày nắng ổn định. Hình 5b,5c và 5d lần lượt cho biết biểu đồ phát của các hệ thống PV2, PV3 và PV4 có xét đến sự xuất hiện các hiện tượng bất thường của thời tiết trong ngày (ví dụ mây che, mưa, nắng yếu). Quan sát các hình này, ta dễ dàng thấy được đồ thị công suất phát của hệ thống PV1 đạt công suất đỉnh là xấp xỉ

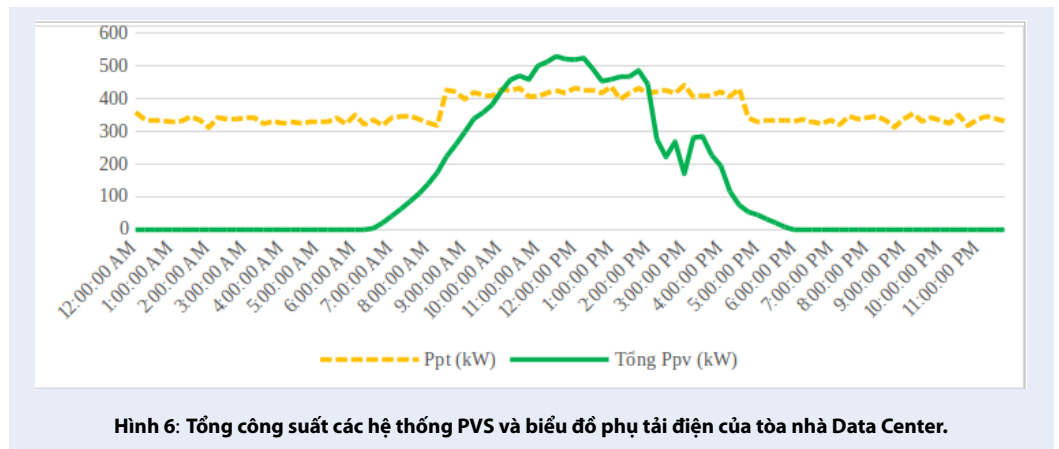
60 kW trong khung thời gian từ 11g15 đến 12g15; đối với hệ thống PV2, lượng công suất phát ra bị dao động nhiều trong khung giờ 11g15 – 13g30 và rất nhiều trong khung giờ 14g00 – 15g00. Nguyên nhân của việc này là do có mưa tại khu vực, dẫn đến lượng bức xạ nhiệt giảm mạnh. Công suất phát cực đại và cực tiểu của hệ thống PV2 lần lượt là 330 kW (lúc 12g15) và 59,6 kW (lúc 15g00). Biểu đồ công suất phát của hệ thống PV3 và PV4 méo mó liên tục do bởi sự xuất hiện các đám mây che phủ một phần các tấm PV với mật độ thường xuyên.

Hình 6 cho biết tổng công suất phát từ cả 4 hệ thống PVS và biểu đồ phụ tải của tòa nhà Data Center. Quan sát hình này, ta có thể thấy được hai giai đoạn cụ thể như sau:

- **Giai đoạn 1:** Lượng công suất phát ra từ các hệ thống PVS đủ hoặc dư cung cấp cho phụ tải điện bên trong MG của tòa nhà Data Center. Với lượng công suất dư, một phần của chúng sẽ sử dụng cho việc nạp năng lượng vào hệ thống BESS và phần còn lại sẽ tự động đưa vào nguồn lưới chính. Căn cứ theo biểu đồ công



Hình 5: Biểu đồ công suất phát của hệ thống PV1 (a); PV2 (b); PV3 (c); PV4 (d).



Hình 6: Tổng công suất các hệ thống PVS và biểu đồ phụ tải điện của tòa nhà Data Center.

suất nêu trên, khung giờ mà lượng công suất phát đủ và dư bắt đầu từ lúc 10g00 đến 14g15.

- **Giai đoạn 2** : Lượng công suất phát ra từ các hệ thống PVS không đủ đáp ứng toàn bộ lượng công suất mà các phụ tải điện bên trong MG yêu cầu. Giai đoạn này bắt đầu từ lúc 6g30 đến 10g00 và từ 14g15 đến 17g45. Nếu như yêu cầu vận hành đặt ra đối với MG là không nhất thiết phải sử dụng nguồn từ lưới điện chính, thì năng lượng tích trữ từ hệ thống BESS sẽ đảm nhận vai trò này. Nguồn lưới sẽ chỉ cho phép

bơm vào MG trong trường hợp tín hiệu SOC (*State of Charge*) của hệ thống BESS nằm dưới ngưỡng cho phép xả.

Kết quả mô phỏng điều phối dòng công suất trong hệ thống PVS-BESS để tiết giảm phụ tải đỉnh

Trong mô phỏng này, nhóm nghiên cứu khảo sát khả năng đáp ứng nhu cầu phụ tải điện từ hệ thống BESS. Mục tiêu vận hành của hệ thống BESS là đạt “zero

consumption” (nghĩa là giảm tối đa lượng công suất phải nhận từ lưới điện chính vào MG). Cụ thể, bộ điều khiển hệ thống BESS sẽ tính toán và điều chỉnh hệ số α sao cho bằng với lượng công suất cần bù vào MG (sau khi đã trừ đi lượng công suất phát từ hệ thống PVS). Tổng quan, công thức số (3) (Equation (3)) sẽ được viết lại thành:

$$\alpha = \frac{P_{\text{cần bù}}}{P_{\text{công suất đặt của BESS}}} \quad (4)$$

Hệ thống BESS sẽ tiếp tục hoạt động cho đến khi giá trị SOC thu thập theo thời gian thực chạm ngưỡng SOC_{min} . Thời gian hoạt động của hệ thống BESS được cài đặt trong ứng dụng/giải thuật tiết giảm phụ tải đỉnh phụ thuộc vào 2 yếu tố chính gồm: i) giá trị SOC tại thời điểm vận hành ứng dụng/giải thuật hay còn gọi là lượng năng lượng tích trữ còn lại của hệ thống BESS và ii) ngưỡng cài đặt dừng hoạt động xả nguồn. Hình 7 và Hình 8 lần lượt cho biết biểu đồ công suất phát của hệ thống BESS với mức giới hạn xả là không giới hạn và giá trị SOC tương ứng với tốc độ xả. Hình 9 mô tả toàn bộ quá trình hoạt động của MG trong khung thời gian sử dụng giải thuật tiết giảm phụ tải đỉnh (chi tiết tham khảo Hình 4).

Quan sát Hình 9, với quá trình mô phỏng tự động điều phối dòng công suất trong MG của tòa nhà Data Center, bộ điều khiển hệ thống BESS đã tính toán và cung cấp lượng công suất vừa đủ để lưới điện này không phải nhận thêm từ nguồn lưới. Xuyên suốt khung thời gian vận hành ứng dụng Peak Shaving, hệ thống BESS đã đóng góp trung bình 636,25 kWh vào lưới điện MG, góp phần tiết giảm lượng công suất phải tiêu thụ từ lưới trong khung giờ từ 8g45 – 10g00 và 14g15 – 14g30. Nguyên nhân của việc ngừng bơm công suất vào MG của hệ thống BESS trong khoảng thời gian từ 14g30 đến 16g30 là bởi vì SOC_{BESS} đã nhỏ hơn SOC_{min} (tại 30%). Một điểm cần lưu ý rằng, hệ thống BESS do nhóm tác giả mô phỏng không thực hiện việc tích trữ năng lượng trong thời gian tiết giảm phụ tải bởi các nguyên nhân sau:

- Vấn đề điều khiển tương đối phức tạp;
- Khi hoạt động nạp/xả liên tục, tuổi thọ của pin lưu trữ sẽ bị suy giảm;
- Xét về tính vận hành kinh tế, việc nạp điện lại hệ thống BESS có thể diễn ra vào ban đêm, khi mà giá thành mua điện từ lưới rất rẻ. Bên cạnh đó, thời gian phát điện của hệ thống PVS thường diễn ra vào ban ngày và thường rơi vào khung thời gian cao điểm. Lợi nhuận thu được từ việc phát điện của hệ thống PVS và từ việc bù công suất của hệ thống BESS khi triển khai ứng dụng tiết giảm phụ tải đỉnh sẽ dùng để bảo trì, bảo dưỡng các phần tử điện bên trong lưới MG hoặc khi bắt buộc phải vận hành các nguồn phát điện tiêu tốn nhiên liệu như máy phát điện diesel.

Tính toán hiệu quả kinh tế trong quá trình vận hành lưới điện Microgrid có ứng dụng chức năng Peak Shaving để giảm lượng điện nhận từ nguồn lưới

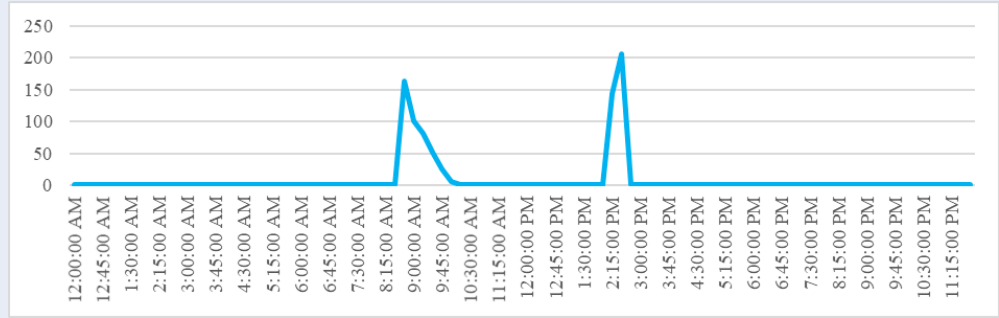
Bảng 8 trình bày số liệu giá bán lẻ điện áp dụng cho các ngành sản xuất theo quyết định số 648/QĐ-BCT ngày 20/03/2019 của Bộ Công thương, cụ thể như sau:

Bảng 8: Giá bán lẻ điện áp dụng cho các ngành sản xuất cấp điện áp dưới 6kV

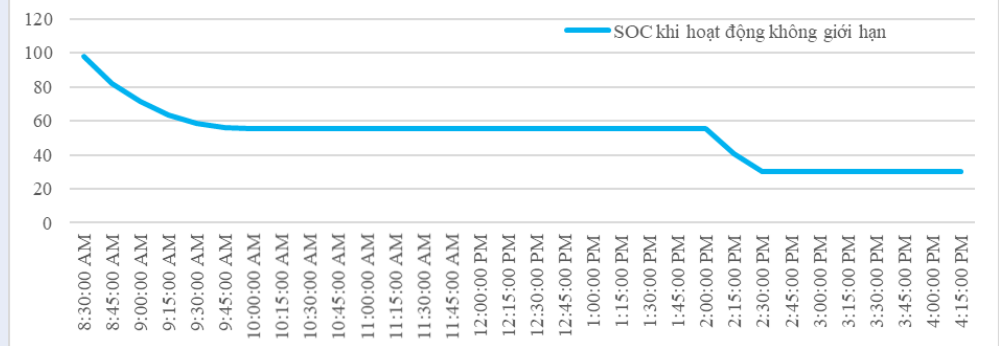
Khách hàng sử dụng điện có cấp điện áp dưới 6kV	Khung giờ	Giá bán điện (đồng/kWh)
Giờ cao điểm	8g00 – 16g00	3.076
Giờ thấp điểm	20g00 – 8g00	1.100
Giờ bình thường	16g00 – 20g00	1.685

Áp dụng kết quả mô phỏng thu được từ việc tiết giảm lượng công suất nhận từ lưới điện chính trong khoảng thời gian cao điểm tại Kết quả mô phỏng điều phối dòng công suất trong hệ thống PVS-BESS để tiết giảm phụ tải đỉnh và những thông số cài đặt để vận hành hệ thống BESS đã nêu tại Bảng 3, nhóm tác giả đã thực hiện tính toán hiệu quả kinh tế mang lại từ việc không phải mua điện từ nguồn lưới trong khung giờ cao điểm (trình bày chi tiết trong Bảng 9). Ngoài ra, chi phí nạp đầy của hệ thống pin lưu trữ trong khung thời gian giá điện thấp cũng được xem xét để làm cơ sở cho các kết luận của nghiên cứu này.

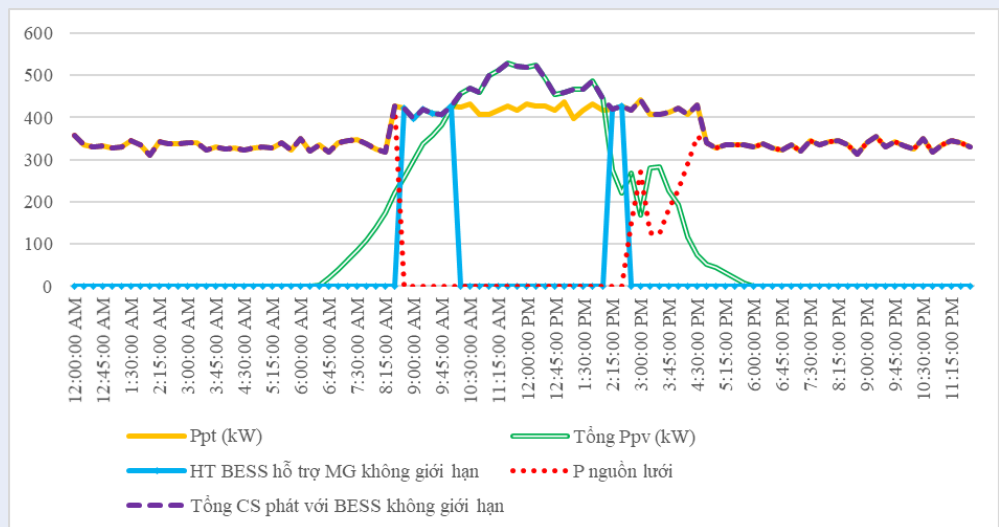
Các chi phí tính toán trong Bảng 9 chưa bao gồm nguồn thu từ lượng công suất đời ra của hệ thống PVS. Thêm vào đó, sự chênh lệch giữa giá trị điện năng do hệ thống BESS bơm vào lưới điện Microgrid trong khoảng thời gian cao điểm (636,25 kWh) và giá trị điện năng cần thiết để nạp vào hệ thống BESS trong khoảng thời gian thấp điểm (700kWh) cơ bản là do hiệu suất chuyển hóa năng lượng. Hầu hết, các bộ pin lưu trữ trong hệ thống BESS với công nghệ tiên tiến hiện nay có hiệu suất chuyển hóa năng lượng trong khoảng 90% đến 95%¹⁴⁻¹⁷. Có thể thấy rằng, việc ứng dụng hệ thống BESS để tiết giảm điện nhận từ nguồn lưới vào khung thời gian cao điểm đã cho thấy sự hiệu quả về lợi ích kinh tế, như đã thể hiện trong Bảng 9. Tại các nước tiên tiến hiện nay, mức phạt đối với những khách hàng sử dụng điện vượt mức đăng ký đã được áp dụng. Bên cạnh đó, giá bán điện vào khung thời gian cao điểm là tương đối cao. Theo đó, nếu muốn tăng CP_{LL} thì khách hàng cần phải có



Hình 7: Biểu đồ công suất của hệ thống BESS với tốc độ xả được cài đặt là không giới hạn.



Hình 8: Giá trị SOC của hệ thống BESS khi hoạt động với tốc độ xả không giới hạn.



Hình 9: Biểu đồ cho biết lượng công suất phát ra từ các nguồn phát và đồ thị phụ tải điện ứng với hệ thống BESS hoạt động không giới hạn tốc độ xả.

Bảng 9: Bảng tính toán hiệu quả chi phí khi sử dụng hệ thống BESS có ứng dụng chức năng Peak Shaving

Chi phí	Chi phí ước tính trong một ngày điển hình cho tòa nhà Data Center	Giá trị làm lợi (GTLL) GTLL = CP _{LL} - CP _{N_SOC_30%}
Chi phí làm lợi (CP _{LL}) khi không mua điện từ lưới vào khung thời gian cao điểm	CP _{LL} = 636,25 kWh x 3.076 đồng/kWh = 1.957.105 đồng	1.187.105 đồng
Chi phí nạp đầy điện trong khung giờ thấp điểm với mức SOC còn lại của hệ thống BESS là 30% (CP _{N_SOC_30%})	CP _{N_SOC_30%} = 700kWh x 1.100 đồng/kWh = 770.000 đồng	

những giải pháp điều phối công suất tải của mình, chẳng hạn như đầu tư hệ thống BESS với chức năng Peak Shaving.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã trình bày một giải pháp hiệu quả để tiết giảm phụ tải đỉnh cho khách hàng thông qua việc điều phối dòng công suất trong lưới điện xoay chiều hạ áp Microgrid có tích hợp hệ thống PVS và hệ thống BESS. Các kết quả trong nghiên cứu cho thấy sự hiệu quả của hệ thống BESS trong việc chủ động điều phối dòng công suất khi hệ thống PVS không thể đáp ứng một phần hoặc toàn phần phụ tải điện trong giờ cao điểm. Số liệu khảo sát thực tế của hệ thống PVS kết hợp với việc mô phỏng, tính toán dòng công suất và các đánh giá lợi ích về mặt kinh tế đã chứng minh tính khả thi của các phương pháp được đề xuất.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

- MG:** lưới điện quy mô nhỏ – Microgrid.
- PV:** pin quang điện – Photovoltaic.
- SOC:** trạng thái sạc của pin – State of Charge.
- BESS:** hệ thống pin lưu trữ năng lượng – Battery Energy Storage System.
- Zero Consumption:** mức độ tiêu thụ công suất bằng không.
- DG:** máy phát điện phân tán – Distributed Generator.
- ESS:** hệ thống lưu trữ năng lượng – Energy Storage System.
- BEMS:** hệ thống quản lý năng lượng trong tòa nhà – Building Energy Management System.
- EMS:** hệ thống quản lý năng lượng – Energy Management System.
- PS:** ứng dụng tiết giảm phụ tải đỉnh – Peak Shaving.
- UPS:** hệ thống chống mất điện đột ngột – Uninterrupted Power Supply.
- MCCB:** máy cắt cỡ nhỏ thường dùng trong lưới điện hạ thế – Mini Contact Circuit Breaker.
- G1:** máy phát điện diesel thứ nhất – 1st Diesel Generator.
- S1:** nguồn lưới điện thứ nhất – 1st Power Source.
- ATS:** thiết bị tự động chuyển mạch – Automatic Transfer Switch.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Lê Duy Phúc và Bùi Minh Dương đưa ra ý tưởng viết bài, đóng góp diễn giải phương pháp thực hiện, kết quả mô phỏng, những phân tích, thảo luận của nghiên cứu và viết bản thảo.

Bành Đức Hoài, Nguyễn Minh Tùng và Nguyễn Minh Khôi tham gia hỗ trợ thu thập dữ liệu, kiểm tra lại bài viết, đóng góp phần tổng quan và kết luận của bài viết. Đoàn Ngọc Minh và Nguyễn Thanh Hoan tham gia thu thập dữ liệu, chạy kết quả mô phỏng và kiểm tra lại chính tả, kết quả của bài viết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Wang J, Li X, Qiu X. Review on the research of power system containing distributed generation device. Automation of Electric Power Systems. 2005;p. 90–97.
2. Luthander R, Widn J, Nilsson D, Palm J. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. Applied Energy. 2015;142:80–94.
3. Sajjad IA, Manganelli M, Martirano L, Napoli R, Chicco G. Net metering benefits for residential buildings: A case study in Italy. IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (E3E). June 2015;p. 1647–1652.
4. Oudalov A, Cherkaoui R, Beguin A. Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application. IEEE Conference; 2007.
5. Barchi G, Lollini R, Moser D. Photovoltaic and battery energy storage systems in shopping malls: energy and cost analysis of an Italian case study. European PV solar energy conference and exhibition (EUPVSEC). Jun 2016;.
6. Vieira FM, Moura PS, Almeida ATD. Energy storage system for self-consumption of photovoltaic energy in residential zero energy buildings. Renewable Energy. 2017;103:308–320.
7. Available: <http://www.commonenergyproject.eu/> [Online].
8. Ananda-Rao K, Ali R, Taniselass S, Malek F. A Review on Various Load Control Strategies for Battery Energy Storage System in Energy Applications. In: International Conference on Electrical Power Engineering and Applications, Langkawi, Malaysia; Nov 2014. p. 129–133.
9. Kerestes RJ, Reed GF, Sparacino AR. Economic Analysis of Grid Level Energy Storage for the Application of Load Leveling. Power and Energy Society General Meeting, San Diego. July 2012;p. 1–9.

10. Sabihuddin S, Kiprakis AE, Mueller M. A numerical and graphical review of energy storage technologies. *Energies*. 2015;8:172–216.
11. Rahimi A, Zarghami M, Vaziri M, Vadhva S. A Simple and Effective Approach for Peak Load Shaving Using Battery Storage Systems. *North American Power Symposium*, Manhattan. 2013;p. 1–5.
12. Dong X, Bao G, Lu Z, Yuan Z, Lu C. Optimal Battery Energy Storage System Charge Scheduling for Peak Shaving Application Considering Battery Lifetime. *Informatics in Control, Automation and Robotics*. Springer 2012;2:211–218.
13. Oudalov A, Cherkaoui R, Beguin A. Sizing and optimal operation of battery energy storage system for peak shaving application. *IEEE Power Tech*, Lausanne. July 2007;p. 621–625.
14. Sandia National Laboratories. Work Package 4.3: Benchmarking process and recommendations. Available from (nguồn từ): https://www.sandia.gov/ess-ssl/lab_pubs/doeepri-electricity-storage-handbook/. [Thời điểm trích dẫn 10/12/2019].
15. F.D.J.Nieuwenhout et al.. DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA. Available from (nguồn từ): <https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-C--05-010>. [Thời điểm trích dẫn 10/12/2019].
16. Electricity Storage Association. Why Energy Storage|Technologies|Lithium Ion (Li-Ion) Batteries. Available from (nguồn từ): <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/solid-electrode-batteries/>. [Thời điểm trích dẫn 10/12/2019].
17. A. Tuckey, S. Zabihi and S. Round. Decentralized control of a microgrid. *Proceedings 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe)*, Warsaw, pp. 1-10.

Simulation on power-flow dispatching cases for Microgrid with PVS and battery energy storage system

Phuc Le Duy^{1,2,*}, Duong Bui Minh², Hoai Banh Duc¹, Hoan Nguyen Thanh¹, Minh Doan Ngoc¹, Tung Nguyen Minh¹, Khoi Nguyen Minh¹



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Modern Microgrid (MG) mainly consists of distributed generators (DGs), energy storage systems (ESS), different loads, and protection systems. Microgrid plays an important role not only to ensure the power supply reliability but also to improve the power quality in distribution network. Moreover, deployment of distributed generators such as Photovoltaic Generation System (PV), wind turbine generation system, and energy storage systems diversifies operation and control modes of AC microgrid in order to meet local demand response. This paper studies on power-flow dispatching cases for a MG with PV and Battery Energy Storage System (BESS), which considers the maximum power consumption generated by the PV and minimizes the power received from the utility grid. Simulation results validate the effectiveness of BESS for actively dispatching power-flow of MG in case the PV cannot partially or fully meet the local demand response in peak hours. By using ETAP software, real data of the PV are used to do simulation and power-flow calculation for the MG, which is to evaluate the feasibility of power-flow dispatch solutions proposed in this paper.

Key words: Microgrid, Photovoltaic Generation System, Battery Energy Storage System, and Power Flow Dispatch

¹Ho Chi Minh City Power Corporation

²Institute of Engineering, Ho Chi Minh University of Technology (HUTECH)

Correspondence

Phuc Le Duy, Ho Chi Minh City Power Corporation

Institute of Engineering, Ho Chi Minh University of Technology (HUTECH)

Email: phuclid@hcmpc.com.vn

History

- Received: 25-8-2019
- Accepted: 07-10-2019
- Published: 30-11-2019

DOI : 10.32508/stdjet.v2i3.567



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Le Duy P, Bui Minh D, Banh Duc H, Nguyen Thanh H, Doan Ngoc M, Nguyen Minh T, Nguyen Minh K. **Simulation on power-flow dispatching cases for Microgrid with PV and attery energy storage system.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 2(3):163-178.