

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN

CHUYÊN NGÀNH: HỆ THỐNG ĐIỆN

ĐỀ TÀI:

**THIẾT KẾ, MÔ PHỎNG VÀ ĐIỀU PHỐI DÒNG CÔNG
SUẤT LƯỚI ĐIỆN SIÊU NHỎ (MICROGRID) TẠI
TRUNG TÂM ĐIỀU KHIỂN PC ĐÀ NẴNG**

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN

PGS.TS Dương Minh Quân

TS. Võ Văn Phương

SINH VIÊN THỰC HIỆN

Lê Văn Tiến – 20DCLC2 – 105200216

Đoàn Ngọc Chiến – 20DCLC3 – 105200223

Đà Nẵng, tháng 6 năm 2025

CÂU HỎI PHẢN BIỆN ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

I. Thông tin chung:

1. Sinh viên thực hiện:

STT	Họ và tên	Lớp sinh hoạt	Mã sinh viên
1	Lê Văn Tiến	20DCLC2	105200216
2	Đoàn Ngọc Chiến	20DCLC3	105200223

2. Tên đề tài: Thiết kế, mô phỏng và điều phối dòng công suất lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng

3. Người phản biện: Nguyễn Hồng Việt Phương Học hàm/ học vị: Phó Giáo
 Sur/ Tiến Sĩ

II. Các câu hỏi đề nghị sinh viên trả lời

.....

.....

.....

.....

.....

Đáp án: (người phản biện ghi vào khi chấm và nộp cùng với hồ sơ bảo vệ)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2025
Người phản biện

PHIẾU NHẬN XÉT BẢO VỆ & CHẤM ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

I. Thông tin chung:

1. Sinh viên thực hiện:

STT	Họ và tên	Lớp sinh hoạt	Mã sinh viên
1	Lê Văn Tiến	20DCLC2	105200216
2	Đoàn Ngọc Chiến	20DCLC3	105200223

2. Tên đề tài: Thiết kế, mô phỏng và điều phối dòng công suất lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng

II. Nhận xét về tình hình bảo vệ và chấm đồ án tốt nghiệp:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2025

Chủ tịch HĐ

Thư ký HĐ

TÓM TẮT

Tên đề tài: Thiết kế, mô phỏng và điều phối dòng công suất lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng

Sinh viên thực hiện:

STT	Họ và tên	Lớp sinh hoạt	Mã sinh viên
1	Lê Văn Tiến	20DCLC2	105200216
2	Đoàn Ngọc Chiến	20DCLC3	105200223

Tóm tắt:

Đề án tập trung nghiên cứu và triển khai thiết kế, mô phỏng hệ thống Microgrid tích hợp năng lượng mặt trời (PV), hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS), máy phát Diesel dự phòng và lưới điện truyền thống tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng. Mục tiêu là xây dựng mô hình Microgrid giúp tối ưu hóa phân phối và điều phối dòng công suất nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng tái tạo, giảm chi phí vận hành và đảm bảo cấp điện ổn định liên tục trong mọi điều kiện, kể cả khi mất kết nối với lưới điện chính (chế độ islanding).

Đề án sử dụng ngôn ngữ lập trình Python để mô phỏng hệ thống và áp dụng hai phương pháp tối ưu điều phối dòng công suất:

Linear Programming (LP) – phương pháp quy hoạch tuyến tính truyền thống với ưu điểm tính toán nhanh và đơn giản.

Particle Swarm Optimization (PSO) – thuật toán tối ưu bầy đàn thích ứng tốt với các dữ liệu không ổn định, có khả năng tìm nghiệm tối ưu toàn cục trong không gian phi tuyến.

Kết quả đạt được:

Xây dựng mô hình Microgrid đề xuất phù hợp với hiện trạng và nhu cầu vận hành của Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng

Mô phỏng phân bố công suất tối ưu trong 24 giờ

So sánh hai thuật toán LP và PSO

Đề xuất áp dụng thuật toán PSO cải tiến để điều phối dòng công suất trong Microgrid, giúp tăng tính linh hoạt, ổn định và tối ưu chi phí vận hành.

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

STT	Họ và tên	Lớp sinh hoạt	Mã sinh viên
1	Lê Văn Tiến	20DCLC2	105200216
2	Đoàn Ngọc Chiến	20DCLC3	105200223

Khoa: Điện

Chuyên ngành: Hệ thống điện

1. Tên đề tài: Thiết kế, mô phỏng và điều phối dòng công suất lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng

2. Đề tài thuộc diện: ☐ Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện.

3. Các số liệu và dữ liệu ban đầu:

4. Nội dung các phần thuyết minh:

Chương 1: Giới thiệu chung

Chương 2: Tổng quan về Microgrid và hệ thống lưu trữ

Chương 3: Đề xuất hệ thống Microgrid tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng

Chương 4: Đề xuất các phương pháp điều khiển cho hệ thống microgrid tại PC Đà Nẵng

Chương 5: Kết luận và kiến nghị

5. Họ tên người hướng dẫn: PGS.TS Dương Minh Quân

TS Võ Văn Phương

6. Ngày giao nhiệm vụ đồ án: 17/02/2025

7. Ngày hoàn thành đồ án: / /2025

Trưởng bộ môn Hệ Thống Điện
(Ký, họ và tên)

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2025
Giảng viên hướng dẫn
(Ký, họ và tên)

LỜI NÓI ĐẦU

Hiện nay, Hệ thống điện đang có những bước phát triển và tiến bộ vượt bậc nhờ các giải pháp năng lượng thông minh. Hiệu ứng nóng lên toàn cầu ngày càng nghiêm trọng, trong khi nguồn năng lượng hóa thạch đang dần cạn kiệt, đặt ra nhu cầu cấp thiết về việc tìm kiếm các giải pháp năng lượng sạch và bền vững. Trong bối cảnh đó, các hệ thống Microgrid tích hợp nguồn năng lượng mặt trời (PV) và hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS) đang được xem là xu hướng tất yếu. Microgrid không những chỉ hỗ trợ việc sản xuất và sử dụng năng lượng tái tạo tại chỗ mà còn góp phần giảm tải cho lưới điện chính, hạn chế phát thải khí CO₂ và nâng cao tính ổn định của hệ thống điện. Đặc biệt, tại Việt Nam, Chính phủ đã ban hành nhiều chính sách nhằm thúc đẩy phát triển năng lượng tái tạo, khuyến khích sử dụng hệ thống điện mặt trời và triển khai các giải pháp lưu trữ năng lượng, góp phần đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia và phát triển bền vững.

Tuy nhiên, sự không ổn định của nguồn PV do phụ thuộc vào thời tiết và khả năng lưu trữ giới hạn của ESS là những thách thức lớn đối với việc vận hành Microgrid. Nếu không có hệ thống điều phối dòng công suất hợp lý, dòng công suất dư thừa từ PV có thể bị lãng phí hoặc ESS có thể bị quá tải, gây tổn thất năng lượng và làm giảm hiệu suất hệ thống. Ngoài ra, các phương pháp quản lý thủ công trước đây thường thiếu tính linh hoạt, tốn thời gian điều chỉnh và không đáp ứng kịp với sự biến động của nguồn năng lượng tái tạo. Để giải quyết những vấn đề này, việc điều phối dòng công suất thông minh trong Microgrid tích hợp PV và ESS là điều cần thiết. Bằng cách ứng dụng các thuật toán tối ưu hóa, việc điều phối có thể được tự động hóa, đảm bảo khả năng cung cấp điện ổn định, giảm thiểu tổn thất năng lượng và tối ưu hóa chi phí vận hành.

Với những lý do trên, việc nghiên cứu và triển khai giải pháp "Điều phối dòng công suất Microgrid tích hợp PV và ESS" là cần thiết và có ý nghĩa quan trọng. Giải pháp này không chỉ giúp cải thiện hiệu suất vận hành, tăng cường độ ổn định của lưới điện mà còn thúc đẩy xu hướng chuyển đổi xanh, giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và hỗ trợ mục tiêu phát triển bền vững của ngành điện.

LỜI CẢM ƠN

Trong thời gian thực hiện Đồ án Tốt nghiệp, chúng em đã nhận được nhiều sự giúp đỡ, đóng góp ý kiến và chỉ bảo nhiệt tình từ Thầy/ Cô, gia đình và bạn bè.

Chúng em xin được gửi lời chúc sức khỏe và lời cảm ơn sâu sắc đến các Thầy/Cô trong trường, cũng như các Thầy/Cô khoa Điện, trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng, đã nhiệt tình giúp đỡ để nhóm có thể hoàn thành đồ án với đề tài **“Thiết kế, mô phỏng và điều phối dòng công suất lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng”**. Đặc biệt, chúng em xin gửi lời cảm ơn tới Thầy **PGS.TS. Dương Minh Quân** và anh **TS. Võ Văn Phương** - Trưởng phòng Kỹ thuật PC Đà Nẵng đã bên cạnh hướng dẫn và giải đáp thắc mắc cũng như hỗ trợ nhóm trong suốt thời gian làm đồ án. Trong thời gian được Thầy hướng dẫn, chúng em không ngừng tiếp thu thêm nhiều kiến thức bổ ích mà còn học được tinh thần làm việc cũng như thái độ nghiêm cứu đề tài nghiêm túc, hiệu quả, đây là những điều cần thiết cho em trong quá trình học tập và công tác sau này. Với điều kiện thời gian hạn chế, bên cạnh đó kiến thức của chúng em còn chưa được đầy đủ, vì thế đồ án không thể tránh khỏi được những thiếu sót.

Vậy nên chúng em rất mong nhận được sự góp ý từ quý Thầy/Cô để đồ án của nhóm hoàn thiện hơn, qua đó có thể nâng cao kiến thức và có thể áp dụng hoàn toàn vào mô hình thực tế sau này.

Chúng em xin chân thành cảm ơn!

LỜI CAM ĐOAN

Em xin cam đoan trong quá trình làm đồ án tốt nghiệp sẽ thực hiện nghiêm túc các quy định về liêm chính học thuật:

- Không gian lận, bịa đặt, đạo văn, giúp người học khác vi phạm.
- Trung thực trong việc trình bày, thể hiện các hoạt động học thuật và kết quả từ hoạt động học thuật của bản thân.
- Không giả mạo hồ sơ học thuật.
- Không dùng các biện pháp bất hợp pháp hoặc trái quy định để tạo nên ưu thế cho bản thân.
- Chủ động tìm hiểu và tránh các hành vi vi phạm liêm chính học thuật, chủ động tìm hiểu và nghiêm túc thực hiện các quy định về luật sở hữu trí tuệ.
- Sử dụng sản phẩm học thuật của người khác phải có trích dẫn nguồn gốc rõ ràng.

Em xin cam đoan số liệu và kết quả nghiên cứu trong đồ án này là trung thực và chưa hề được sử dụng để bảo vệ một học vị nào. Mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện luận văn này đã được cảm ơn và các thông tin trích dẫn trong luận văn đã được chỉ rõ nguồn gốc rõ ràng và được phép công bố.

Sinh viên thực hiện

MỤC LỤC

	Trang
Tóm tắt.....	ii
Nhiệm vụ đồ án tốt nghiệp	iii
Lời nói đầu.....	ii
Lời cảm ơn.....	iii
Lời cam đoan	iv
Mục lục	i
Danh sách các bảng	iv
Danh sách các hình vẽ	v
Danh sách các chữ viết tắt	vii
CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU CHUNG	1
1.1. Tính cấp thiết của đề tài	1
1.1.1. Lý do chọn đề tài.....	1
1.1.2. Mục đích nghiên cứu.....	2
1.2. Nội dung nghiên cứu	2
1.3. Phương pháp nghiên cứu.....	2
1.3.1. Về lý thuyết	2
1.3.2. Mô phỏng	3
CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ MICROGRID VÀ HỆ THỐNG LƯU TRỮ.....	4
2.1. Tổng quan về Microgrid.....	4
2.1.1. Khái niệm về Microgrid	4
2.1.2. Lợi ích của Microgrid	6
2.2. Cấu trúc của Microgrid	7

2.2.1. Máy phát điện phân tán	7
2.2.2. Hệ thống lưu trữ	8
2.2.3. Hệ thống quản lý	9
2.2.4. Chế độ vận hành.....	9
2.3. Ứng dụng của Microgrid	11
CHƯƠNG 3: ĐỀ XUẤT HỆ THỐNG MICROGRID TẠI TRUNG TÂM ĐIỀU KHIỂN PC ĐÀ NẴNG	12
3.1. Đánh giá hiện trạng hệ thống tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng..	12
3.1.1. Kết quả mô phỏng lưới điện hiện tại.....	14
3.2. Cơ sở đề xuất triển khai Microgrid	16
3.2.1. Mục tiêu đề xuất.....	16
3.2.2. Tiêu chí thiết kế hệ thống.....	17
3.3. Cấu trúc hệ thống Microgrid đề xuất	17
3.3.1. Sơ đồ hệ thống.....	17
3.3.2. Thành phần chính.....	17
Thành phần.....	18
Thông số kỹ thuật.....	18
3.3.3. Chế độ vận hành.....	18
3.4. Dữ liệu đầu vào cho mô phỏng	18
3.5. Nhận xét và tổng hợp đề xuất.....	19
3.6. Kết luận và định hướng điều khiển	19
CHƯƠNG 4: ĐỀ XUẤT CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ THỐNG MICROGRID TẠI PC ĐÀ NẴNG	21
4.1. Mô hình toán học và phương pháp Linear Programming (LP).....	21
4.1.1. Mô Hình Toán Học Linear Programming (LP).....	21

4.1.2. Biến quyết định	22
4.1.3. Hàm mục tiêu	22
4.1.4. Ràng buộc.....	22
4.1.5. Mô hình tối ưu LP cho trường hợp MicroGrid vận hành bình thường	23
4.1.6. Mô hình tối ưu LP cho trường hợp MicroGrid mất kết nối với lưới (OffGrid)	31
4.2. Cải tiến thuật toán tối ưu Microgrid - Từ LP đến PSO	38
4.3. Thuật toán tối ưu Particle Swarm Optimization (PSO)	39
4.3.1. Giới thiệu thuật toán PSO	39
4.3.2. Cập nhật nghiệm trong PSO.....	40
4.3.3. Ràng buộc kỹ thuật.....	41
4.3.4. Mô hình tối ưu PSO cho trường hợp MicroGrid vận hành bình thường	42
4.3.5. Mô hình tối ưu PSO cho trường hợp MicroGrid mất kết nối với lưới (OffGrid)	48
4.4. So sánh và lựa chọn phương pháp điều khiển phù hợp.....	54
4.4.1. Đánh giá và so sánh hai phương pháp tối ưu LP và PSO	54
4.4.2. Đánh giá hiệu quả khi mất lưới.....	56
4.4.3. Lựa chọn phương pháp điều khiển phù hợp	56
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	57
5.1. Kết luận	57
5.2. Đề xuất cải tiến và triển khai thực tế.....	58
TÀI LIỆU THAM KHẢO	

DANH SÁCH CÁC BẢNG

Bảng 3.1. Thông số công suất của hệ thống pin mặt trời trong vòng 24h.....	13
Bảng 3.2. Kết quả mô phỏng phân bố công suất của hệ thống trong 24h.....	15
Bảng 3.3. Thông số kĩ thuật các thành phần chính của MicroGrid.....	18
Bảng 3.4. Bảng tải tiêu thụ theo giờ (24h)	18
Bảng 3.5. Dữ liệu thông số đầu vào của mô phỏng.....	19
Bảng 4.1. Bảng cân bằng công suất tối ưu của thuật toán LP trong 24h.....	24
Bảng 4.2. Bảng cân bằng công suất tối ưu của thuật toán LP khi mất lưới trong 24h	32
Bảng 4.3. Bảng cân bằng công suất tối ưu của thuật toán PSO trong 24h.....	42
Bảng 4.4. Bảng cân bằng công suất tối ưu của thuật toán PSO khi mất lưới trong 24h	49
Bảng 4.5. Bảng đánh giá so sánh giữa hai phương pháp LP và PSO	55

DANH SÁCH CÁC HÌNH VẼ

Hình 2.1. Cấu trúc của Microgrid.....	5
Hình 2.2. Các lợi ích của hệ thống Microgrid	7
Hình 3.1. Sơ đồ nguyên lý cấp điện của PC Đà Nẵng.....	12
Hình 3.2. Hệ thống pin mặt trời tại mái và bộ inverter	13
Hình 3.3. Máy phát Diesel 100kVA tại Công ty.....	14
Hình 3.4. Biểu đồ phân bố công suất của hệ thống trong 24h.....	16
Hình 3.5. Sơ đồ hệ thống MicroGrid đề xuất	17
Hình 4.1. Biểu đồ phân bố công suất của PV trong 24h	25
Hình 4.2. Biểu đồ phân bố công suất của lưới trong 24h.....	26
Hình 4.3. Biểu đồ phân bố công suất sạc của ESS trong 24h	27
Hình 4.4. Biểu đồ phân bố công suất xả của ESS trong 24h.....	28
Hình 4.5. Biểu đồ trạng thái SOC ESS theo thời gian.....	29
Hình 4.6. Biểu đồ phân bố công suất theo thời gian trong 24h.....	30
Hình 4.7. Biểu đồ phân bố công suất của PV khi mất lưới trong 24h.....	33
Hình 4.8. Biểu đồ phân bố công suất của máy phát Diesel khi mất lưới trong 24h	33
Hình 4.9. Biểu đồ phân bố công suất sạc của ESS khi mất lưới trong 24h.....	34
Hình 4.10. Biểu đồ phân bố công suất xả của ESS khi mất lưới trong 24h	35
Hình 4.11. Biểu đồ trạng thái SOC ESS khi mất lưới theo thời gian	36
Hình 4.12. Biểu đồ phân bố công suất khi mất lưới theo thời gian trong 24h	37
Hình 4.13. Biểu đồ phân bố công suất PV khi vận hành bình thường trong 24h	43
Hình 4.14. Biểu đồ phân bố công suất lưới trong 24h.....	44
Hình 4.15. Biểu đồ phân bố công suất ESS charge trong 24h.....	45
Hình 4.16. Biểu đồ phân bố công suất ESS Discharge trong 24h	46
Hình 4.17. Biểu đồ trạng thái SOC khi vận hành bình thường trong 24h.....	46
Hình 4.18. Biểu đồ phân bố công suất tối ưu PSO cải tiến trong 24h.....	47
Hình 4.19. Biểu đồ phân bố công suất PV khi mất lưới trong 24h	50
Hình 4.20. Biểu đồ phân bố công suất ESS charge khi mất lưới trong 24h.....	50

Hình 4.21. Biểu đồ phân bố công suất ESS Discharge khi mất lưới trong 24h ..	51
Hình 4.22. Biểu đồ phân bố công suất nguồn Diesel khi mất lưới trong 24h	52
Hình 4.23. Biểu đồ trạng thái SOC khi mất lưới trong 24h	52
Hình 4.24. Biểu đồ phân bố công suất tối ưu PSO cải tiến khi mất lưới trong 24h	53

DANH SÁCH CÁC CHỮ VIẾT TẮT

RES	Nguồn năng lượng tái tạo
DER	Nguồn năng lượng phân tán
MG	Microgrid
ESS	Hệ thống lưu trữ năng lượng
ADM	Quản lý phân phối tiên tiến
PV	Năng lượng mặt trời
LP	Linear Programming
PSO	Particle Swarm Optimization
ESS	Pin lưu trữ
DG	Máy phát điện diesel
P_t^{PV}	Công suất phát của hệ thống PV tại thời điểm t [kW]
$P_t^{ESS_{ch}}$	Công suất sạc của ESS tại thời điểm t [kW]
$P_t^{ESS_{dis}}$	Công suất xả của ESS tại thời điểm t [kW]
SOC_t	Trạng thái sạc của ESS tại thời điểm t [kWh]
P_t^{DG}	Công suất phát từ máy phát Diesel tại thời điểm t [kW]
P_t^{Grid}	Công suất phát lấy từ lưới tại thời điểm t [kW]
C_t^{grid}	Giá điện từ lưới tại thời điểm t
Δt	Bước thời gian mô phỏng, ở đây là 1 giờ
η_{ch}	Hiệu suất sạc pin
η_{dis}	Hiệu suất xả pin
w	Hệ số quán tính
C_{diesel}	Đơn giá điện diesel cố định
λ	Hệ số penalty
ESS Charge	Công suất sạc ESS
ESS Discharge	Công suất xả ESS

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU CHUNG

1.1. Tính cấp thiết của đề tài

1.1.1. Lý do chọn đề tài

Nhu cầu tiêu thụ điện ngày càng tăng, cùng với yêu cầu đảm bảo độ tin cậy, ổn định và khả năng vận hành ổn định của hệ thống điện, sự quan tâm ngày càng lớn đối với các nguồn năng lượng tái tạo (RES), sự cạn kiệt nhiên liệu hóa thạch và các vấn đề môi trường, đã khiến hệ thống điện truyền thống trở nên phức tạp hơn, đối mặt với những thách thức mới và cấp bách. Để giải quyết các vấn đề này, nhiều giải pháp đã được đề xuất, trong đó các giải pháp nổi bật bao gồm nguồn năng lượng phân tán (DER), lưới điện siêu nhỏ (MG), quản lý phân phối tiên tiến (ADM) và hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS). Trong số đó, lưới điện siêu nhỏ đã trở thành một giải pháp quan trọng nhằm khắc phục các thách thức hiện tại và tương lai trong hệ thống điện. Theo định nghĩa, lưới điện siêu nhỏ là một hệ thống điện lai, tích hợp các nguồn DER, phụ tải cục bộ và ESS để cung cấp điện cho các khu vực cụ thể, bao gồm cả các vùng xa xôi. Chức năng chính của lưới điện siêu nhỏ là đảm bảo tính ổn định của hệ thống trong trường hợp xảy ra các sự cố mạng lưới. Một trong những động lực chính thúc đẩy phát triển lưới điện siêu nhỏ là nhu cầu tích hợp ngày càng cao các RES vào lưới điện. Do tính chất biến đổi và gián đoạn của các RES như hệ thống quang điện (PV) và trang trại điện gió, năng lượng tạo ra từ các nguồn này có thể được sử dụng ngay lập tức hoặc lưu trữ qua các ESS, từ đó nâng cao hiệu suất tổng thể của lưới điện siêu nhỏ. Trong bối cảnh phát triển lưới điện thông minh, việc tích hợp lưới điện siêu nhỏ vào hệ thống điện được xem là một công nghệ then chốt. Lưới điện siêu nhỏ mang lại nhiều lợi ích so với các hệ thống phân phối truyền thống, bao gồm cải thiện độ ổn định, nâng cao hiệu suất, tăng tỷ lệ thâm nhập của RES và đảm bảo cung cấp phụ tải liên tục trong chế độ vận hành độc lập (islanded mode). Tuy nhiên, để tối ưu hóa các lợi ích này, quá trình tích hợp lưới điện siêu nhỏ phải được thiết kế kỹ lưỡng để tránh các vấn đề tiềm tàng như chất lượng điện năng, kiểm soát và độ tin cậy [7].

1.1.2. Mục đích nghiên cứu

Thiết kế và triển khai mô hình hệ thống Microgrid cho tòa nhà PC Đà Nẵng
Tích hợp và quản lý năng lượng tái tạo trong Microgrid
Phân tích và tối ưu hoá hoạt động của hệ thống Microgrid
Đánh giá hiệu quả hệ thống.

1.2. Nội dung nghiên cứu

Đề tài thiết kế và mô phỏng hoạt động của hệ thống MicroGrid thông qua lập trình bằng Python. Thực hiện các phân tích về phân bố công suất, độ ổn định của điện áp và tần số, từ đó đánh giá hiệu quả vận hành của hệ thống trong các chế độ hoạt động khác nhau.

Trong cấu trúc Microgrid, việc bố trí các nguồn điện gần với phụ tải không chỉ giúp giảm thiểu tổn thất trong truyền tải, mà còn đảm bảo sự ổn định cho hệ thống truyền tải và phân phối. Điều này đồng thời nâng cao độ tin cậy vận hành, giảm thiểu lượng phát thải khí nhà kính, cải thiện chất lượng điện năng và tối ưu hóa chi phí sản xuất điện năng. Tuy nhiên, dù năng lượng tái tạo được xem là giải pháp thân thiện với môi trường, nó lại chịu tác động mạnh mẽ từ các yếu tố bất định như bức xạ mặt trời, nhiệt độ, hay tốc độ gió. Những yếu tố này gây khó khăn trong việc duy trì công suất đầu ra ổn định, dẫn đến hiện tượng dao động tần số và làm giảm hiệu suất tổng thể của hệ thống.

Trong bối cảnh đó, hệ thống lưu trữ năng lượng trở thành một giải pháp chiến lược, đóng vai trò như một bộ đệm quan trọng để cân bằng và ổn định nguồn năng lượng. Hệ thống này có khả năng phản ứng nhanh chóng trước những biến động bất thường từ nguồn năng lượng tái tạo, hoặc khi xảy ra sự cố gián đoạn trong hệ thống. Nhờ vậy, nó không chỉ đảm bảo tính liên tục trong cung cấp điện mà còn góp phần duy trì sự bền vững và hiệu quả lâu dài cho lưới điện Microgrid.

1.3. Phương pháp nghiên cứu

1.3.1. Về lý thuyết

Nghiên cứu nguyên lý hoạt động của các thành phần quan trọng trong hệ thống, bao gồm pin năng lượng mặt trời, máy phát Diesel, hệ thống lưu trữ năng lượng,... Từ đó, xây dựng các mô hình chi tiết để mô phỏng và phân tích các thành phần này.

Đồng thời, tìm hiểu các tài liệu liên quan, thực hiện các tính toán cần thiết và lựa chọn phương pháp điều khiển tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả và độ ổn định của hệ thống.

1.3.2. Mô phỏng

Trên cơ sở lý thuyết cùng các kết quả tính toán đã thực hiện, đề tài đã thiết kế và mô phỏng hoạt động của hệ thống MicroGrid thông qua ngôn ngữ lập trình Python. Quá trình kiểm thử và đánh giá toàn diện cho phép làm rõ hiệu quả vận hành của hệ thống, từ đó đề xuất những cải tiến hợp lý nhằm nâng cao tính ổn định và tối ưu hiệu suất khai thác

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ MICROGRID VÀ HỆ THỐNG LƯỚI TRỮ

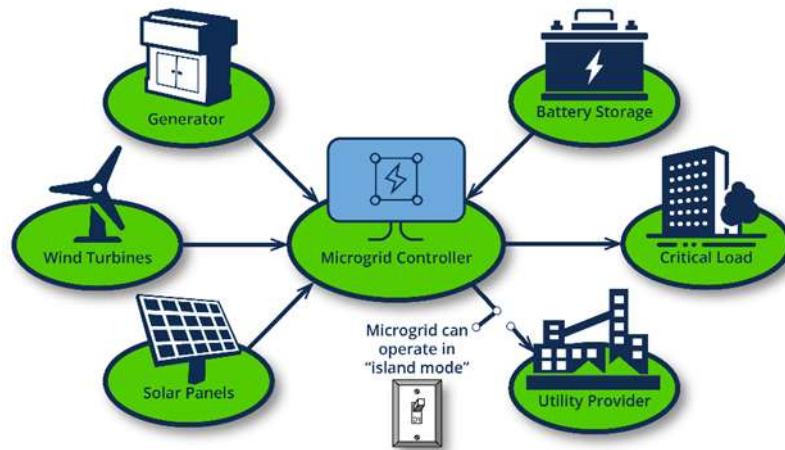
2.1. Tổng quan về Microgrid

2.1.1. Khái niệm về Microgrid

Trong bối cảnh nhu cầu sử dụng điện ngày càng tăng cao do sự phát triển của tất cả các lĩnh vực, lưới điện truyền thống đang đối mặt với những thách thức lớn. Những vấn đề như hiệu suất truyền tải điện chưa tối ưu, chi phí vận hành cao, và đặc biệt là tác động tiêu cực đến môi trường do việc đốt cháy nhiên liệu hóa thạch đã thúc đẩy sự nghiên cứu và phát triển các công nghệ hệ thống điện mới. Một trong những giải pháp nổi bật là Microgrid – một hệ thống lưới điện thông minh, phân tán, có khả năng tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo để cải thiện hiệu quả và tính bền vững của hệ thống điện.

Microgrid tập trung vào việc tích hợp các nguồn năng lượng phân tán (DER – Distributed Energy Resources) như năng lượng gió, năng lượng mặt trời (PV), pin lưu trữ, sinh khối, micro-tuabin, và pin nhiên liệu. Những nguồn năng lượng này không chỉ giúp tối ưu hóa sử dụng tài nguyên mà còn tăng cường khả năng tự cung tự cấp năng lượng. Chính vì vậy, Microgrid đã trở thành một giải pháp hấp dẫn và hiệu quả để xây dựng hệ thống điện hiện đại. Tuy nhiên, chưa có một định nghĩa thống nhất về Microgrid trên toàn cầu, và khái niệm này thường thay đổi tùy thuộc vào bối cảnh địa lý, quốc gia hoặc khu vực.

Theo định nghĩa từ Nền tảng Công nghệ Châu Âu về lưới điện thông minh, Microgrid được xem như một giải pháp tiên tiến và toàn diện, cho phép tích hợp hiệu quả các nguồn phát điện phân tán (DG – Distributed Generation), hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS – Energy Storage System), và các phụ tải linh hoạt. Sự phối hợp chặt chẽ giữa các thành phần này không chỉ giúp đảm bảo cung cấp điện năng liên tục và ổn định mà còn thúc đẩy sự bền vững, tối ưu hóa chi phí vận hành, và gia tăng độ tin cậy của hệ thống điện. Với khả năng thích ứng cao, Microgrid mở ra một hướng đi đầy triển vọng trong việc xây dựng một nền tảng năng lượng hiện đại, thông minh và thân thiện với môi trường.



Hình 2.1. Cấu trúc của Microgrid

Một Microgrid điển hình có thể bao gồm các thành phần như:

Nguồn phát điện phân tán (DG): Bao gồm các nguồn năng lượng tái tạo như PV, năng lượng gió, hoặc hệ thống nhiệt điện kết hợp (CHP – Combined Heat and Power); các micro-tuabin và máy phát điện Diesel.

Hệ thống lưu trữ năng lượng (DES – Distributed Energy Storage): Sử dụng pin lưu trữ, siêu tụ điện, bánh đà, hoặc các hệ thống từ xe điện (EV).

Tải linh hoạt và thiết bị điều khiển thông minh: Cho phép quản lý và tối ưu hóa việc cung cấp điện dựa trên nhu cầu tiêu thụ.

Microgrid có thể được chia thành hai loại chính: Microgrid AC và Microgrid DC, mỗi loại đều có những ưu điểm và đặc điểm riêng. Microgrid AC thường được thiết kế để tích hợp trực tiếp vào lưới điện xoay chiều hiện hữu. Tuy nhiên, để đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định, cần sử dụng các giải pháp kiểm soát phức tạp nhằm đồng bộ hóa tần số và điện áp một cách chính xác. Ngược lại, Microgrid DC nổi bật với hiệu quả năng lượng vượt trội và khả năng bảo vệ tốt hơn trước các sự cố như ngắn mạch, nhờ vào cấu trúc đơn giản và tính ổn định cao hơn.

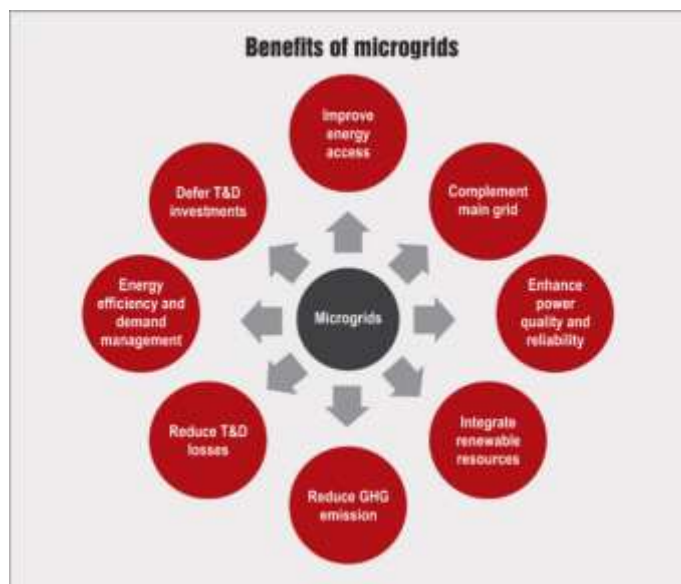
Đặc biệt, trong bối cảnh nhu cầu sử dụng tải DC ngày càng gia tăng – điển hình là xe điện (EV) và các thiết bị điện tử hiện đại – các hệ thống Microgrid lai (kết hợp cả AC và DC) đang trở nên phổ biến hơn bao giờ hết. Sự kết hợp này tận dụng các bộ chuyển đổi công suất hai chiều để tối ưu hóa việc tích hợp và phân phối năng lượng, mang lại sự linh hoạt vượt trội và hiệu quả tối đa trong việc đáp ứng các yêu cầu đa dạng

của người dùng. Microgrid lại không chỉ mở ra một giải pháp toàn diện hơn trong quản lý năng lượng mà còn góp phần nâng cao tính bền vững cho lưới điện tương lai.

2.1.2. Lợi ích của Microgrid

Microgrid, một hệ thống năng lượng thông minh và bền vững, đang dần trở thành xu hướng tất yếu trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nhu cầu năng lượng ngày càng tăng. Với khả năng hoạt động độc lập, Microgrid đảm bảo cung cấp điện liên tục, ổn định, đặc biệt trong những tình huống khẩn cấp như thiên tai hoặc sự cố lưới điện. Bằng cách tích hợp đa dạng các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời, gió, và các nguồn năng lượng phân tán khác, Microgrid không chỉ giảm thiểu sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch mà còn góp phần bảo vệ môi trường. Hơn thế nữa, Microgrid còn mang đến hiệu quả kinh tế cao nhờ khả năng tối ưu hóa việc sản xuất và tiêu thụ điện năng. Hệ thống quản lý năng lượng thông minh của Microgrid cho phép cân bằng cung và cầu một cách hiệu quả, giảm thiểu tổn thất điện năng và tối đa hóa việc sử dụng năng lượng tái tạo. Bên cạnh đó, khả năng lưu trữ năng lượng của Microgrid giúp ổn định lưới điện, giảm áp lực lên hệ thống truyền tải và phân phối điện. Tính linh hoạt và khả năng mở rộng là một trong những ưu điểm nổi bật của Microgrid. Hệ thống này có thể được triển khai ở nhiều quy mô khác nhau, từ các hộ gia đình, doanh nghiệp nhỏ đến các cộng đồng lớn, các khu công nghiệp. Điều này giúp đáp ứng nhu cầu năng lượng đa dạng và phức tạp của xã hội. Đặc biệt, với sự phát triển của các thiết bị điện tử, xe điện, Microgrid đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp năng lượng sạch và bền vững cho các thiết bị này.

Cuối cùng, Microgrid đóng góp tích cực vào việc đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia. Bằng cách giảm thiểu sự phụ thuộc vào lưới điện truyền thống, Microgrid giúp tăng cường khả năng tự chủ năng lượng, đặc biệt đối với các khu vực xa xôi, hải đảo hoặc những khu vực dễ bị tổn thương bởi biến đổi khí hậu.



Hình 2.2. Các lợi ích của hệ thống Microgrid

Tóm lại, Microgrid là một giải pháp toàn diện, mang lại nhiều lợi ích kinh tế, xã hội và môi trường. Với những ưu điểm vượt trội, Microgrid đang ngày càng khẳng định vị thế của mình và được kỳ vọng sẽ trở thành xương sống của hệ thống năng lượng trong tương lai.

2.2. Cấu trúc của Microgrid

2.2.1. Máy phát điện phân tán

Máy phát điện phân tán (DG) là các nguồn năng lượng nhỏ được lắp đặt gần hoặc tại chỗ sử dụng, đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp năng lượng cho các khu vực cụ thể. Các công nghệ của máy phát điện phân tán bao gồm nhiều dạng năng lượng khác nhau, chẳng hạn như pin quang điện (PV), tuabin gió, pin nhiên liệu (bao gồm cả acquy và siêu tụ), cùng các máy phát điện sử dụng động cơ đốt trong như máy phát Diesel hoặc xăng. Những hệ thống này có thể sử dụng nguồn nhiên liệu hóa thạch hoặc năng lượng tái tạo, mang đến sự linh hoạt trong việc lựa chọn nguồn năng lượng và cách thức hoạt động. Để kết nối các máy phát điện phân tán vào lưới điện chính, hầu hết các công nghệ này cần phải kết hợp với các thiết bị điện tử công suất, giúp chuyển đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác, đảm bảo tính tương thích với lưới điện xoay chiều (AC) truyền thống. Các cấu kiện điện tử này bao gồm các mạch điều khiển thiết yếu như bộ chỉnh lưu, bộ biến tần, hoặc đôi khi chỉ sử dụng một bộ biến tần duy nhất. Những

thiết bị này có nhiệm vụ điều chỉnh và chuyển đổi điện năng sao cho phù hợp với điện áp và tần số của hệ thống điện mà chúng kết nối.

Ngoài việc chuyển đổi năng lượng, các cấu kiện điện tử công suất còn có chức năng bảo vệ, đảm bảo an toàn cho cả hệ thống phân phối năng lượng và hệ thống điện phụ tải địa phương. Điều này cho phép các máy phát điện phân tán có thể kết nối hoặc ngắt kết nối với lưới điện một cách linh hoạt mà không ảnh hưởng đến sự ổn định của hệ thống. Hơn nữa, các cấu kiện này còn đóng vai trò điều phối hoạt động của các máy phát điện phân tán, giúp tối ưu hóa hiệu suất và nâng cao khả năng vận hành của Microgrid. Sự kết hợp này không chỉ giúp cải thiện tính ổn định và hiệu quả của hệ thống năng lượng mà còn hỗ trợ tích cực trong việc nâng cao sự linh hoạt và bền vững của các lưới điện thông minh.

2.2.2. Hệ thống lưu trữ

Bộ lưu trữ năng lượng được tích hợp vào Microgrid khi các máy phát phân tán và nguồn tái tạo không thể duy trì sự đồng bộ hoặc khi có sự mất cân bằng giữa công suất phát và công suất tiêu thụ trong quá trình hoạt động. Thiết bị lưu trữ đóng vai trò như một cầu nối quan trọng, giúp bù đắp thiếu hụt năng lượng và lưu trữ năng lượng dư thừa trong hệ thống. Khả năng lưu trữ được xác định bằng thời gian đáp ứng phụ tải với công suất định mức, và dung lượng của bộ lưu trữ có thể được phân loại theo mật độ năng lượng (cho nhu cầu trung và dài hạn) hoặc mật độ công suất (cho nhu cầu ngắn hạn và rất ngắn hạn).

Mục tiêu chính của thiết bị lưu trữ năng lượng là tối ưu hóa hiệu suất của Microgrid, thông qua ba chức năng quan trọng. Thứ nhất, nó giúp duy trì sự ổn định của hệ thống, đảm bảo các máy phát phân tán có thể hoạt động liên tục ở công suất cố định dù phụ tải có thay đổi. Thứ hai, thiết bị này cung cấp điện cho các phụ tải một cách liên tục, ngay cả khi có sự biến động từ nguồn năng lượng tái tạo như ánh sáng mặt trời hoặc gió. Cuối cùng, bộ lưu trữ năng lượng giúp giảm thiểu sự thiếu hụt khi nhu cầu điện tăng đột ngột, ngăn chặn rối loạn tạm thời và cung cấp điện liên tục trong khi máy phát điện dự phòng khởi động. Đồng thời, nó còn giúp dự trữ năng lượng cho các nhu cầu trong tương lai, đảm bảo sự bền vững và ổn định lâu dài cho hệ thống Microgrid.

2.2.3. Hệ thống quản lý

Hệ thống quản lý trong Microgrid là thành phần trung tâm, đóng vai trò quan trọng trong việc giám sát, điều phối và tối ưu hóa toàn bộ hoạt động của hệ thống điện. Nó liên kết và điều khiển các máy phát điện phân tán (như năng lượng mặt trời, gió, pin nhiên liệu, tuabin nhỏ...), các thiết bị lưu trữ năng lượng (bao gồm pin, siêu tụ điện...) và các phụ tải tiêu thụ điện trong khu vực điều hành của Microgrid. Hệ thống quản lý sử dụng các thuật toán thông minh, cảm biến và công nghệ truyền thông để thu thập, phân tích và phản hồi thông tin trong thời gian thực, từ đó đưa ra các quyết định tối ưu nhằm đảm bảo rằng năng lượng được phân phối một cách hiệu quả, bền vững và ổn định. Một trong những nhiệm vụ quan trọng của hệ thống quản lý là điều phối hoạt động của các nguồn năng lượng tái tạo, chẳng hạn như điện mặt trời và năng lượng gió, sao cho phù hợp với nhu cầu của phụ tải. Bên cạnh đó, hệ thống cũng cần đảm bảo rằng các nguồn năng lượng dự phòng, như máy phát điện Diesel hay các bộ lưu trữ năng lượng, luôn sẵn sàng đáp ứng khi nguồn tái tạo không ổn định, hoặc khi có sự thay đổi đột ngột về nhu cầu tiêu thụ. Hệ thống quản lý còn theo dõi tình trạng và hiệu suất của các bộ lưu trữ năng lượng, tối ưu hóa quá trình sạc và xả để bảo vệ tuổi thọ của chúng và đảm bảo rằng năng lượng dư thừa từ các nguồn tái tạo có thể được tích trữ và sử dụng khi cần thiết. Bằng cách theo dõi liên tục các thông số như điện áp, tần số, công suất và tình trạng các thiết bị trong hệ thống, hệ thống quản lý giúp duy trì sự ổn định cho Microgrid. Nó đảm bảo rằng năng lượng được phân phối đồng đều, giảm thiểu rủi ro của các sự cố mất điện, đồng thời tối ưu hóa việc sử dụng nguồn tài nguyên sẵn có. Hệ thống này còn có khả năng tự động điều chỉnh khi có sự thay đổi trong nhu cầu điện, giúp cải thiện tính linh hoạt và khả năng đáp ứng nhanh chóng đối với những biến động bất ngờ, chẳng hạn như tăng trưởng đột ngột của nhu cầu hoặc sự thay đổi trong điều kiện hoạt động của các nguồn năng lượng tái tạo. Nhờ vào hệ thống quản lý thông minh, Microgrid có thể hoạt động không chỉ một cách hiệu quả mà còn linh hoạt và bền vững trong dài hạn.

2.2.4. Chế độ vận hành

Chế độ vận hành của Microgrid được thiết kế để tối ưu hóa hiệu suất và sự ổn định của hệ thống điện thông qua ba chế độ chính: chế độ nối lưới, chế độ độc lập (islanding), và chế độ kết hợp (hybrid). Mỗi chế độ đều có những ưu điểm và ứng dụng riêng, giúp

Microgrid đáp ứng linh hoạt với các tình huống khác nhau, đảm bảo việc cung cấp năng lượng một cách hiệu quả và liên tục. Trong chế độ nối lưới, Microgrid hoạt động đồng thời với lưới điện chính, cho phép trao đổi năng lượng hai chiều giữa hệ thống Microgrid và lưới điện lớn. Khi Microgrid kết nối với lưới, nó có thể cung cấp năng lượng dư thừa từ các nguồn tái tạo như điện mặt trời, gió, hoặc năng lượng từ các hệ thống lưu trữ, giúp giảm tải cho lưới điện chính và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng. Đồng thời, trong trường hợp nguồn tái tạo của Microgrid không đủ cung cấp, nó có thể nhận năng lượng từ lưới điện chính để đảm bảo ổn định nguồn cung cấp cho phụ tải địa phương. Chế độ này giúp duy trì sự ổn định của hệ thống điện tổng thể, tối ưu hóa việc sử dụng nguồn năng lượng tái tạo và giảm thiểu chi phí vận hành. Khi lưới điện chính gặp sự cố hoặc khi có sự cố ngoài mong muốn làm gián đoạn nguồn cung cấp từ lưới điện lớn, Microgrid có thể tự động chuyển sang chế độ độc lập (islanding). Trong chế độ này, Microgrid không còn phụ thuộc vào lưới điện ngoài và có khả năng tự vận hành để cung cấp năng lượng cho các phụ tải trong khu vực, đảm bảo không có gián đoạn trong việc cung cấp điện cho các hộ gia đình, cơ sở sản xuất, hay các thiết bị quan trọng. Microgrid vẫn duy trì khả năng điều phối và tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng từ các nguồn tái tạo, bộ lưu trữ năng lượng và các máy phát dự phòng để cung cấp điện liên tục, ổn định. Điều này giúp đảm bảo sự tự chủ trong cung cấp năng lượng, đặc biệt quan trọng trong các khu vực xa xôi hoặc khi có các tình huống khẩn cấp, như thiên tai hoặc mất điện kéo dài. Ngoài ra, chế độ kết hợp (hybrid) cho phép Microgrid hoạt động linh hoạt và thích ứng với biến động của nhu cầu tiêu thụ và nguồn cung cấp năng lượng. Trong chế độ này, Microgrid kết hợp cả năng lượng tái tạo như điện mặt trời và gió với các nguồn năng lượng dự phòng như máy phát điện Diesel hoặc hệ thống lưu trữ năng lượng. Chế độ kết hợp giúp hệ thống duy trì sự ổn định khi nguồn tái tạo không ổn định (như khi trời nhiều mây hoặc gió yếu), và khi nhu cầu điện đột ngột tăng cao. Các nguồn dự phòng sẽ được kích hoạt khi cần thiết, giúp giảm thiểu rủi ro thiếu hụt năng lượng và đảm bảo cung cấp điện liên tục cho các phụ tải. Điều này mang lại tính linh hoạt cao, cho phép Microgrid điều chỉnh công suất một cách nhanh chóng và hiệu quả, đáp ứng các nhu cầu tiêu thụ điện trong thời gian ngắn hoặc dài hạn. Việc chuyển đổi giữa các chế độ vận hành được thực hiện thông qua các hệ thống điều khiển tự động và thông

minh, cho phép Microgrid tự động nhận diện tình huống và lựa chọn chế độ vận hành tối ưu. Các cơ chế này giúp giảm thiểu sự can thiệp của con người và đảm bảo việc chuyển đổi chế độ vận hành diễn ra một cách mượt mà và an toàn. Hệ thống điều khiển còn giúp theo dõi và điều phối các nguồn năng lượng phân tán, bộ lưu trữ, và các phụ tải trong hệ thống, tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng và duy trì sự ổn định, đồng thời giảm thiểu tổn thất năng lượng.

Chế độ vận hành của Microgrid không chỉ giúp tăng tính tự chủ và bền vững trong việc cung cấp điện mà còn giúp tối ưu hóa chi phí vận hành và bảo vệ môi trường. Việc sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời và năng lượng gió trong các chế độ độc lập và kết hợp giúp giảm thiểu phát thải khí nhà kính, góp phần vào việc bảo vệ môi trường. Đồng thời, khả năng kết nối và tách ra khỏi lưới điện chính giúp Microgrid tăng cường khả năng phục hồi sau sự cố và nâng cao độ tin cậy của hệ thống điện, đặc biệt là trong các khu vực hẻo lánh hoặc trong các tình huống khẩn cấp.

2.3. Ứng dụng của Microgrid

Trong bối cảnh chuyển đổi năng lượng và phát triển bền vững, các mô hình Microgrid (MG) không chỉ được áp dụng tại vùng sâu vùng xa, đảo biệt lập hay các khu công nghiệp, mà còn ngày càng được triển khai tại các tòa nhà hành chính, trung tâm điều khiển, và cơ sở kỹ thuật – nơi có đặc thù phụ tải tập trung, yêu cầu độ ổn định cao và khả năng duy trì cấp điện liên tục.

Đặc biệt, với mô hình triển khai tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng, hệ thống MG mang ý nghĩa kép: vừa hỗ trợ khai thác hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo tại chỗ (PV trên mái), vừa giảm phụ thuộc vào lưới điện chính trong giờ cao điểm, đồng thời nâng cao độ linh hoạt và an toàn vận hành cho hệ thống hạ tầng kỹ thuật.

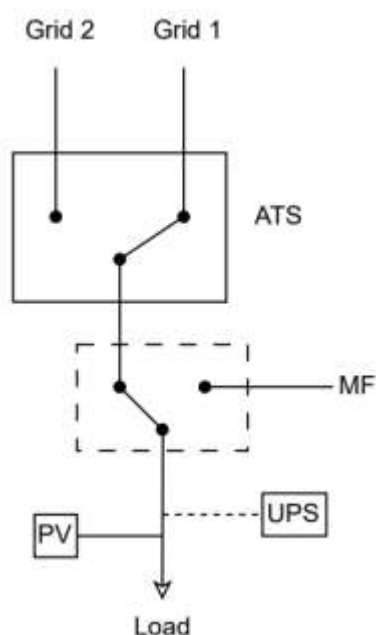
Chương này đã trình bày tổng quan về cấu trúc, chức năng và các thành phần chính trong hệ thống Microgrid, đồng thời nhấn mạnh vai trò của hệ thống lưu trữ (ESS) và trung tâm quản lý điều phối, vốn là những thành phần then chốt trong môi trường tòa nhà vận hành kỹ thuật cao. Đây sẽ là nền tảng cho việc đề xuất mô hình MG ứng dụng thực tiễn tại PC Đà Nẵng trong Chương 3 tiếp theo.

CHƯƠNG 3: ĐỀ XUẤT HỆ THỐNG MICROGRID TẠI TRUNG TÂM ĐIỀU KHIỂN PC ĐÀ NẴNG

3.1. Đánh giá hiện trạng hệ thống tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng

Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng hiện đang vận hành hệ thống phụ tải tập trung, chủ yếu phục vụ cho các thiết bị máy chủ, hệ thống SCADA, điều khiển từ xa, và trung tâm dữ liệu.

Hiện tại, nguồn điện chính cấp cho toàn nhà trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng là từ lưới phân phối 22kV qua trạm biến áp riêng, kết hợp với 1 máy phát Diesel dự phòng, và hệ thống pin mặt trời. Có hệ thống UPS cùng máy phát Diesel dùng riêng cho phòng công nghệ thông tin và điều độ để đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện [6].



Hình 3.1. Sơ đồ nguyên lý cấp điện của PC Đà Nẵng

❖ Hệ thống pin mặt trời tại công ty

- Tại thời điểm hiện nay, trên mái của công ty đã được lắp đặt một hệ thống năng lượng mặt trời với tổng công suất lắp đặt là 21,7 kWp, kết hợp với hệ thống inverter hòa lưới, nhằm tận dụng tối đa nguồn năng lượng tái tạo từ bức xạ mặt trời, đồng thời góp phần giảm thiểu lượng điện năng tiêu thụ từ lưới quốc gia, qua đó không chỉ tiết kiệm chi phí vận hành mà còn hướng tới mục tiêu phát triển bền vững và bảo vệ môi trường.



Hình 3.2. Hệ thống pin mặt trời tại mái và bộ inverter

- Qua quá trình khảo sát thu được bộ dữ liệu về công suất hệ thống pin mặt trời được trình bày như trong bảng 3.1

Bảng 3.1. Thông số công suất của hệ thống pin mặt trời trong vòng 24h

Hour	PV_Power_W	Hour	PV_Power_W
0	0	12	11625
1	0	13	10462.5
2	0	14	9300
3	0	15	6975
4	0	16	4068.75
5	0	17	1743.75
6	581.25	18	0
7	1743.75	19	0
8	3487.5	20	0
9	5812.5	21	0
10	8137.5	22	0
11	9881.25	23	0

❖ Máy phát Diesel dự phòng

PC Đà Nẵng hiện được trang bị một máy phát điện Diesel dự phòng, được thiết kế để vận hành trong các tình huống khẩn cấp khi cả hai nguồn điện lưới đều bị gián đoạn hoàn toàn. Máy phát này có công suất định mức là 100 kVA, đảm bảo cung cấp đủ điện năng cho các phụ tải quan trọng của hệ thống, góp phần duy trì hoạt động ổn định và liên tục của các thiết bị trọng yếu trong điều kiện mất điện lưới.



Hình 3.3. Máy phát Diesel 100kVA tại Công ty

❖ Ngoài ra, công ty còn được trang bị một hệ thống UPS với tổng công suất 40 kW, nhằm đảm bảo nguồn điện ổn định và liên tục cho các khu vực quan trọng như phòng công nghệ thông tin và phòng điều độ. Bên cạnh đó, hệ thống còn được bổ sung một máy phát điện Diesel có công suất 22 kVA, hoạt động như nguồn điện dự phòng dành riêng cho các phòng này, nhằm đảm bảo hoạt động không bị gián đoạn trong trường hợp xảy ra sự cố về nguồn điện lưới.

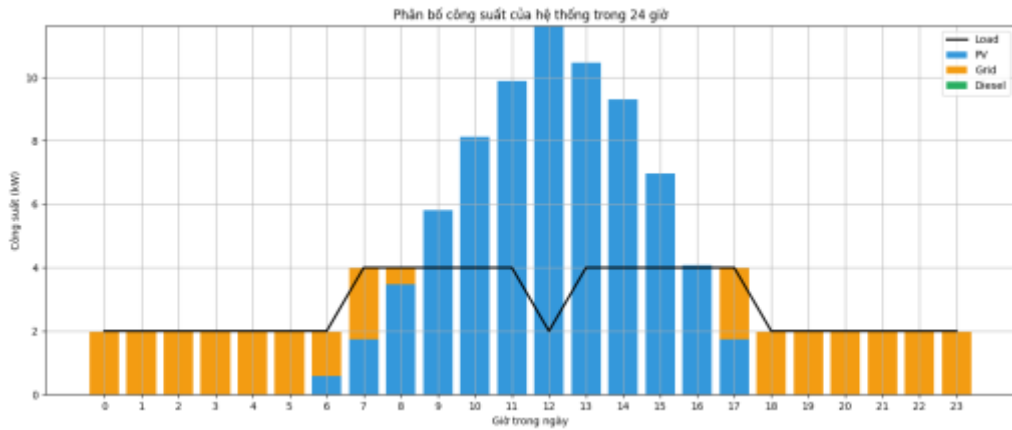
3.1.1. Kết quả mô phỏng lưới điện hiện tại

Qua quá trình thu thập dữ liệu về phụ tải cũng như công suất hệ thống pin mặt trời và thông tin nguồn lưới, mô hình hóa lưới điện thông qua python thu được kết quả phân bố công suất của lưới điện theo giờ trong 24h.

Bảng 3.2. Kết quả mô phỏng phân bố công suất của hệ thống trong 24h

Hour	Load kW	PV kW	Grid kW	Diesel kW	UPS kW
0	2	0	2	0	0
1	2	0	2	0	0
2	2	0	2	0	0
3	2	0	2	0	0
4	2	0	2	0	0
5	2	0	2	0	0
6	2	0.58125	1.41875	0	0
7	4	1.74375	2.25625	0	0
8	4	3.4875	0.5125	0	0
9	4	5.8125	0	0	0
10	4	8.1375	0	0	0
11	4	9.88125	0	0	0
12	2	11.625	0	0	0
13	4	10.4625	0	0	0
14	4	9.3	0	0	0
15	4	6.975	0	0	0
16	4	4.06875	0	0	0
17	4	1.74375	2.25625	0	0
18	2	0	2	0	0
19	2	0	2	0	0
20	2	0	2	0	0
21	2	0	2	0	0
22	2	0	2	0	0
23	2	0	2	0	0

Từ bảng số liệu thể hiện công suất phân bố của hệ thống trong 24 giờ, có thể trực quan hóa dữ liệu này thông qua biểu đồ dưới đây (Hình 3.4), nhằm minh họa rõ ràng cách thức phân bố công suất từ các thành phần chính trong hệ thống.



Hình 3.4. Biểu đồ phân bố công suất của hệ thống trong 24h

Sau khi mô phỏng, nhận thấy mô hình này tồn tại một số vấn đề:

- Phụ thuộc phần lớn vào lưới điện quốc gia.
- Chi phí vận hành cao, đặc biệt vào giờ cao điểm do biểu giá điện 3 giá.
- Không tận dụng được hết tiềm năng năng lượng tái tạo tại khu vực.
- Phát thải khí nhà kính từ nguồn diesel dự phòng.

Do đó, cần thiết phải có giải pháp cấp điện ổn định, linh hoạt, tiết kiệm và thân thiện môi trường và Microgrid là mô hình phù hợp.

3.2. Cơ sở đề xuất triển khai Microgrid

3.2.1. Mục tiêu đề xuất

Việc triển khai Microgrid tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng nhằm hiện thực hóa các mục tiêu:

- Tận dụng mái nhà lắp đặt hệ thống PV, góp phần khai thác năng lượng mặt trời tại chỗ.
- Tích hợp hệ thống ESS giúp lưu trữ điện năng dư thừa và cấp lại khi cần.
- Tích hợp máy phát Diesel dự phòng, đảm bảo cấp điện liên tục trong tình huống mất lưới kéo dài.
- Tăng tính tự chủ vận hành, hạn chế phụ thuộc lưới trung thế.
- Tối ưu hóa chi phí vận hành điện năng trong giờ cao điểm.

Hướng đến mô hình tòa nhà vận hành kỹ thuật xanh – thông minh, phù hợp với chiến lược phát triển bền vững của EVNCPC.

3.2.2. Tiêu chí thiết kế hệ thống

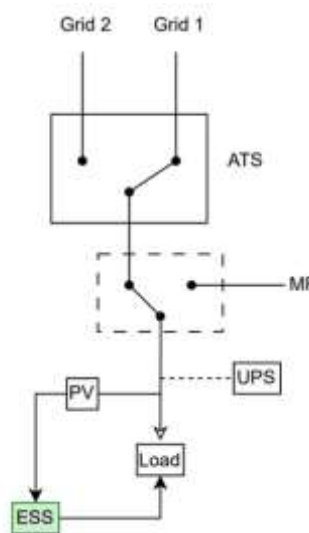
Để đáp ứng đặc thù phụ tải và điều kiện kỹ thuật của tòa nhà, hệ thống Microgrid đề xuất cần đảm bảo các tiêu chí sau:

- Phù hợp với cấu trúc vật lý hiện có: PV lắp trên mái; ESS đặt tại tầng kỹ thuật; Diesel tại sân sau;
- Đảm bảo khả năng tự vận hành độc lập (islanding)
- Điều phối linh hoạt giữa các nguồn (PV, ESS, DG, lưới) theo thời gian thực;
- Tối ưu hóa bài toán vận hành thông qua các thuật toán điều phối tiên tiến, bao gồm cả LP và PSO (chi tiết tại các chương sau).

3.3. Cấu trúc hệ thống Microgrid đề xuất

3.3.1. Sơ đồ hệ thống

Sơ đồ khối tổng quan của hệ thống được đề xuất được thể hiện trong Hình 3.5. Trong đó, ngoài các thành phần cơ bản đã có như hệ thống năng lượng mặt trời (PV), lưới điện, tải tiêu thụ, và máy phát Diesel, đề xuất còn bổ sung thêm một hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS) nhằm nâng cao hiệu quả vận hành, tăng khả năng lưu trữ và sử dụng điện năng tái tạo, đồng thời đảm bảo tính ổn định và liên tục cho nguồn cung cấp điện của hệ thống.



Hình 3.5. Sơ đồ hệ thống MicroGrid đề xuất

3.3.2. Thành phần chính

Các thành phần chính của hệ thống MicroGrid được giới thiệu trong Bảng 3.3

Bảng 3.3. Thông số kỹ thuật các thành phần chính của MicroGrid

Thành phần	Thông số kỹ thuật
Hệ thống PV	21,7 kWp
Hệ thống ESS	40 kWh, sạc/xả 10 kWh, hiệu suất 90%
Máy phát Diesel	100 kVA
Nguồn lưới	2x400 kVA
Hệ thống điều khiển EMS	Tích hợp SCADA, điều phối tối ưu công suất

Thông tin về phụ tải của tòa nhà trung tâm điều khiển đã được thu thập, xử lý và trình bày một cách chi tiết trong Bảng 3.4, nhằm phục vụ cho việc phân tích và đánh giá nhu cầu sử dụng điện của hệ thống trong quá trình vận hành thực tế.

Bảng 3.4. Bảng tải tiêu thụ theo giờ (24h)

Hour	Load kW	Hour	Load kW
0	2	12	2
1	2	13	4
2	2	14	4
3	2	15	4
4	2	16	4
5	2	17	4
6	2	18	2
7	4	19	2
8	4	20	2
9	4	21	2
10	4	22	2
11	4	23	2

3.3.3. Chế độ vận hành

- Chế độ nối lưới: sử dụng điện từ lưới, PV, ESS để tối ưu chi phí.
- Chế độ độc lập (islanding): ESS và Diesel đảm bảo cấp điện khi mất lưới.

3.4. Dữ liệu đầu vào cho mô phỏng

Theo quy định tại Điều 50 của Luật Điện lực 2024 [1], giá bán lẻ điện được áp dụng cho từng nhóm khách hàng sử dụng điện, bao gồm: sản xuất, kinh doanh, hành

chính sự nghiệp, sinh hoạt. Các nhóm khách hàng được phân loại phù hợp với tình hình kinh tế xã hội từng thời kỳ và cấp độ cạnh tranh trên thị trường điện. Dưới đây là biểu giá điện kinh doanh áp dụng cho khối sản xuất, hành chính sự nghiệp và kinh doanh [2], được sử dụng làm dữ liệu đầu vào trong mô phỏng hệ thống Microgrid tại PC Đà Nẵng:

Bảng 3.5. Dữ liệu thông số đầu vào của mô phỏng

Thông số	Giá trị
Giá điện	Giờ bình thường (3007 đ/kWh) Giờ thấp điểm (1830 đ/kWh) Giờ cao điểm (5174 đ/kWh)
Giá Diesel	6.000 đ/kWh
Bước thời gian mô phỏng	1 giờ

3.5. Nhận xét và tổng hợp đề xuất

Hệ thống Microgrid đề xuất cho trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng có khả năng:

- Giảm chi phí điện trung bình hàng ngày nhờ điều phối PV + ESS.
- Đảm bảo điện liên tục trong mọi tình huống (ngắt lưới, giờ cao điểm).
- Tối ưu hiệu quả kinh tế và giảm phát thải CO₂.

Đề xuất này có thể ứng dụng thực tiễn với mức đầu tư ban đầu hợp lý, thu hồi vốn nhanh khi kết hợp biểu giá điện 3 giá và chi phí Diesel.

3.6. Kết luận và định hướng điều khiển

Đề xuất hệ thống Microgrid cho Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng đã được xây dựng trên cơ sở phân tích hiện trạng hệ thống điện, xác định các nguồn năng lượng tích hợp bao gồm: năng lượng mặt trời (PV), hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS), máy phát Diesel dự phòng và nguồn lưới điện truyền thống. Mô hình đề xuất không chỉ tận dụng tối đa tiềm năng năng lượng tái tạo mà còn đảm bảo khả năng tự chủ và ổn định vận hành. Tuy nhiên, để hệ thống Microgrid này hoạt động hiệu quả, cần áp dụng các phương pháp điều khiển tối ưu nhằm phối hợp linh hoạt giữa các nguồn năng lượng, giảm chi phí vận hành, đảm bảo độ tin cậy và tối ưu hóa nguồn cung ứng điện.

Do đó, trong chương tiếp theo, đồ án sẽ trình bày chi tiết về các phương pháp điều khiển dòng công suất, bao gồm Linear Programming (LP) và Particle Swarm

Optimization (PSO), từ đó đánh giá, so sánh và lựa chọn phương pháp tối ưu phù hợp cho hệ thống Microgrid tại PC Đà Nẵng.

CHƯƠNG 4: ĐỀ XUẤT CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ THỐNG MICROGRID TẠI PC ĐÀ NẴNG

4.1. Mô hình toán học và phương pháp Linear Programming (LP)

4.1.1. Mô Hình Toán Học Linear Programming (LP)

Linear Programming (LP) – hay còn gọi là lập trình tuyến tính – là một phương pháp toán học nhằm tìm kiếm giá trị tối ưu (tối đa hoặc tối thiểu) của một hàm mục tiêu tuyến tính, dưới các ràng buộc cũng là các phương trình hoặc bất phương trình tuyến tính. LP là một trong những công cụ cơ bản và quan trọng nhất trong lĩnh vực tối ưu hóa, được sử dụng rộng rãi trong kinh tế, vận tải, sản xuất, hậu cần, quản lý chuỗi cung ứng, và đặc biệt là trong các bài toán điều phối và vận hành hệ thống điện.

Một bài toán LP điển hình bao gồm một hàm mục tiêu cần tối ưu (ví dụ: chi phí, lợi nhuận, sản lượng, tổn thất công suất, v.v.) và một tập hợp các ràng buộc tuyến tính mô tả giới hạn vật lý hoặc điều kiện vận hành của hệ thống. Do tính tuyến tính của bài toán, các phương pháp giải như phép đơn hình (Simplex) hay phương pháp nội điểm (Interior Point Method) có thể được áp dụng hiệu quả để tìm ra nghiệm tối ưu toàn cục trong thời gian ngắn, kể cả đối với các hệ thống có quy mô lớn.

Trong lĩnh vực kỹ thuật điện, lập trình tuyến tính thường được sử dụng trong các bài toán như tối thiểu hóa tổn thất công suất trên lưới, tối ưu hóa chi phí vận hành, phân phối công suất trong các hệ thống truyền tải hoặc Microgrid, và lập kế hoạch vận hành thiết bị. Nhờ khả năng mô hình hóa chính xác và giải quyết nhanh chóng, LP đã trở thành một công cụ không thể thiếu trong việc thiết kế và tối ưu hóa các hệ thống điện hiện đại [3].

Mục tiêu Tối thiểu hóa tổng chi phí vận hành hệ thống Microgrid trong vòng 24 giờ, bằng cách tối ưu phân phối công suất từ PV, ESS, Diesel và lưới điện, có tính đến giá điện theo thời gian (biểu giá điện 3 giá) và các ràng buộc kỹ thuật của từng phần tử.

4.1.2. Biến quyết định

P_t^{PV} : Công suất phát của hệ thống PV tại thời điểm t [kW]

$P_t^{ESS_{ch}}$: Công suất sạc của ESS tại thời điểm t [kW]

$P_t^{ESS_{dis}}$: Công suất xả của ESS tại thời điểm t [kW]

SOC_t : Trạng thái sạc (State of Charge) của ESS tại thời điểm t [kWh]

P_t^{DG} : Công suất phát từ máy phát Diesel tại thời điểm t [kW]

P_t^{Grid} : Công suất phát lấy từ lưới tại thời điểm t [kW]

4.1.3. Hàm mục tiêu

Tối thiểu tổng chi phí vận hành trong 24 giờ:

$$\min Z = \sum_{t=1}^{24} [C_t^{grid} \cdot P_t^{Grid} + C^{diesel} \cdot P_t^{DG}] \cdot \Delta t$$

Trong đó:

Z : Tổng chi phí cần tối thiểu hóa

C_t^{grid} : Giá điện từ lưới tại thời điểm t [VNĐ/kWh]

Giờ bình thường (3007 đ/kWh)

Giờ thấp điểm (1830 đ/kWh)

Giờ cao điểm (5174 đ/kWh)

C^{diesel} : Giá thành phát điện từ Diesel (đã quy đổi theo nhiên liệu) [VNĐ/kWh]

Δt : Bước thời gian mô phỏng, ở đây là 1 giờ

4.1.4. Ràng buộc

4.1.4.1 Ràng buộc cân bằng công suất tại mỗi thời điểm t :

$$P_t^{PV} + P_t^{ESS_{dis}} + P_t^{DG} + P_t^{Grid} = P_t^{Load} + P_t^{ESS_{ch}}$$

Giải thích: Tổng công suất phát = tổng công suất tiêu thụ (tải + ESS đang sạc)

4.1.4.2 Ràng buộc trạng thái sạc của ESS (SOC):

$$SOC_t = SOC_{t-1} + \eta_{ch} \cdot P_t^{ESS_{ch}} \cdot \Delta t - \frac{1}{\eta_{dis}} \cdot P_t^{ESS_{dis}} \cdot \Delta t$$

η_{ch} : Hiệu suất sạc pin (ví dụ 90%)

η_{dis} : Hiệu suất xả pin (ví dụ 90%)

SOC_t : Dung lượng lưu trữ còn lại tại thời điểm t (kWh)

SOC_0 : Trạng thái sạc ban đầu (ví dụ: 50%)

4.1.4.3 Giới hạn SOC

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max}$$

Ví dụ :

$$0.1 \cdot E_{ESS} \leq SOC_t \leq 1.0 \cdot E_{ESS}$$

4.1.4.4 Giới hạn công suất các nguồn

$$0 \leq P_t^{PV} \leq P_t^{PV_{max}} \text{ (phụ thuộc vào bức xạ mặt trời)}$$

$$0 \leq P_t^{ESS_{ch}} \leq P^{ESS_{rate}} \leq 10 \text{ (Giới hạn sạc ESS)}$$

$$0 \leq P_t^{ESS_{dis}} \leq P^{ESS_{rate}} \leq 10 \text{ (Giới hạn xả ESS)}$$

$$0 \leq P_t^{DG} \leq P^{DG_{max}} \leq 100 \text{ (Diesel max 100kVA)}$$

$$0 \leq P_t^{Grid} \leq P^{Grid_{limit}} \leq 400 \text{ (Lưới giới hạn 400kW)}$$

4.1.4.5 Ràng buộc không được sạc và xả ESS đồng thời

$$P_t^{ESS_{ch}} \cdot P_t^{ESS_{dis}} = 0$$

Đây là ràng buộc phi tuyến (nonlinear), nên nếu bạn cần dùng mô hình LP tuyến tính hoàn toàn, có thể xử lý bằng biến nhị phân:

Tạo 2 biến nhị phân:

$y_{ch,t} \in \{0,1\}$: cho biết ESS có sạc tại t

$y_{dis,t} \in \{0,1\}$: cho biết ESS có xả tại t

Thêm ràng buộc:

$$y_{ch,t} + y_{dis,t} \leq 1$$

$$P_t^{ESS_{ch}} \leq y_{ch,t} \cdot 10$$

$$P_t^{ESS_{dis}} \leq y_{dis,t} \cdot 10$$

Tại một thời điểm, ESS chỉ được sạc hoặc xả, không đồng thời.

4.1.5. Mô hình tối ưu LP cho trường hợp MicroGrid vận hành bình thường

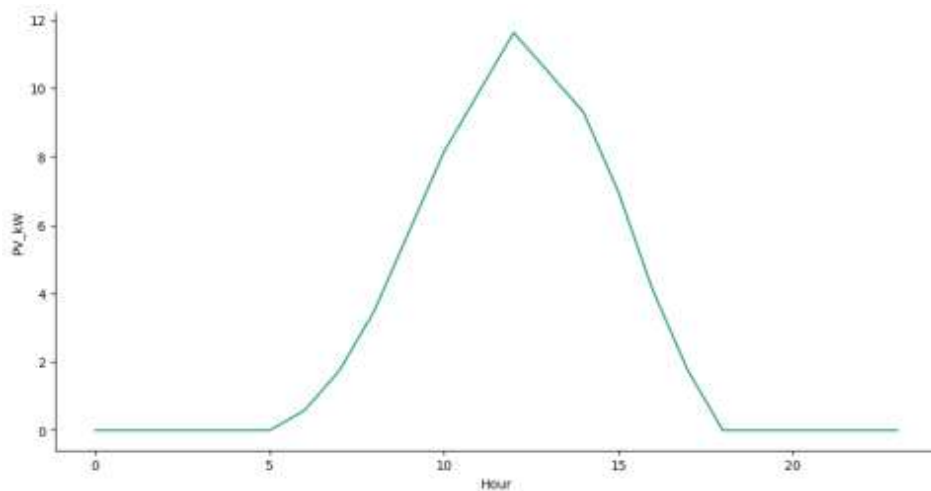
Kết quả mô phỏng mô hình tối ưu hóa vận hành hệ thống MicroGrid bằng ngôn ngữ lập trình Python đã được tổng hợp và trình bày chi tiết trong Bảng 4.1. Bảng này cung cấp thông tin về sự phân bổ công suất tối ưu của các thành phần chính trong hệ thống, bao gồm tải tiêu thụ, công suất PV, công suất lưới, công suất sạc/xả của hệ thống

ESS, công suất từ máy phát Diesel, dung lượng lưu trữ ESS (SOC) và giá điện theo từng giờ trong chu kỳ 24 giờ. Những kết quả này đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá hiệu quả của mô hình LP được áp dụng.

Bảng 4.1. Bảng cân bằng công suất tối ưu của thuật toán LP trong 24h

Hour	Load kW	PV kW	Grid kW	ESS Charge kW	ESS Discharge kW	Diesel kW	SOC kWh	Price VND kWh
0	2	0	2	0	0	0	16	1830
1	2	0	3.21914	1.21914	0	0	16	1830
2	2	0	2	0	0	0	17.09722	1830
3	2	0	2	0	0	0	17.09722	1830
4	2	0	0	0	2	0	17.09722	3007
5	2	0	0	0	2	0	14.875	3007
6	2	0.5813	0	0	1.41875	0	12.65278	3007
7	4	1.7438	0	0	2.25625	0	11.07639	3007
8	4	3.4875	0	0	0.5125	0	8.569444	3007
9	4	5.8125	0	2.47632	0.663816	0	8	3007
10	4	8.1375	0	4.1375	0	0	9.491111	5174
11	4	9.8813	0	5.88125	0	0	13.21486	5174
12	2	11.625	0	9.625	0	0	18.50799	3007
13	4	10.463	0	6.4625	0	0	27.17049	3007
14	4	9.3	0	7.65	2.35	0	32.98674	3007
15	4	6.975	0	2.975	0	0	37.26063	3007
16	4	4.0688	0	0.06875	0	0	39.93813	3007
17	4	1.7438	0	0	2.25625	0	40	5174
18	2	0	0	0	2	0	37.49306	5174
19	2	0	0	0	2	0	35.27083	5174
20	2	0	0	0	2	0	33.04861	3007
21	2	0	0	0	2	0	30.82639	3007
22	2	0	0	0	2	0	28.60417	1830
23	2	0	0	0	2	0	26.38194	1830

Tiếp theo bảng số liệu về phân bố công suất của hệ thống, các biểu đồ dưới đây minh họa trực quan sự phân bố công suất của từng thành phần chính trong hệ thống theo thời gian trong chu kỳ 24 giờ. Biểu đồ 4.1 thể hiện công suất phát của hệ thống PV, từ đó có thể quan sát rõ biến thiên của công suất phát điện mặt trời theo giờ trong ngày.



Hình 4.1. Biểu đồ phân bố công suất của PV trong 24h

Nhận xét:

Biểu đồ có dạng hình chuông đối xứng, điển hình của hệ thống PV trong điều kiện thời tiết ổn định và có nắng tốt.

Thời gian phát điện:

- PV bắt đầu phát từ khoảng 6h sáng và ngừng hoàn toàn sau 18h.
- Khoảng thời gian phát điện kéo dài gần 12 tiếng, phù hợp với điều kiện mùa hè khi thời gian chiếu sáng kéo dài.

Công suất cực đại:

- Đạt đỉnh khoảng 11.7 kW vào lúc 12h, trùng với thời điểm bức xạ mặt trời mạnh nhất trong ngày.
- Từ sau 12h, công suất giảm dần về 0 sau 18h, thể hiện rõ quy luật của năng lượng mặt trời theo chu kỳ ngày – đêm.

Đường cong trơn tru và tự nhiên:

- Không xuất hiện đoạn “gãy khúc” hay hiện tượng cắt giảm công suất đột ngột
→ cho thấy hệ thống khai thác PV ở mức tối đa, không bị giới hạn bởi bộ điều khiển, ESS (hệ thống lưu trữ năng lượng), hoặc ràng buộc vận hành khác.

Kết luận:

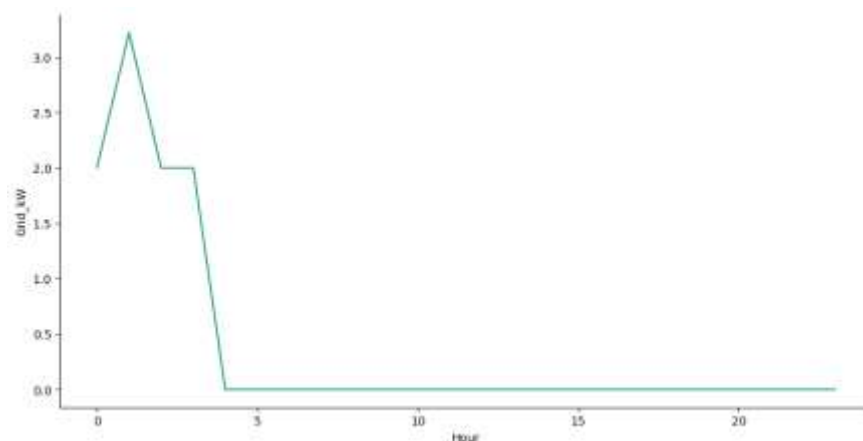
- Biểu đồ phản ánh đúng đặc trưng vật lý của hệ thống PV: phát điện theo chu kỳ chiếu sáng trong ngày, với công suất tăng dần vào buổi sáng và giảm dần về chiều.

- Hệ thống đã tận dụng tối đa tiềm năng của PV trong các khung giờ bức xạ mạnh (từ 9h đến 14h), giúp giảm đáng kể sự phụ thuộc vào lưới điện hoặc các nguồn phi tái tạo.

Tuy nhiên, để tối ưu hóa toàn bộ hệ thống microgrid:

- Cần đánh giá khả năng lưu trữ của ESS: nếu pin lưu trữ đầy quá sớm, phần năng lượng PV dư thừa có thể bị lãng phí.

- Việc điều phối linh hoạt giữa PV – ESS – lưới – nguồn dự phòng (Diesel) là yếu tố then chốt nhằm khai thác tối đa nguồn năng lượng mặt trời một cách kinh tế và bền vững nhất.



Hình 4.2. Biểu đồ phân bố công suất của lưới trong 24h

Nhận xét:

- Biểu đồ có dạng bậc thang, cho thấy lưới điện được sử dụng một cách có chọn lọc và có kiểm soát.

Thời gian sử dụng lưới:

- Hệ thống bắt đầu lấy điện từ lưới từ 0h đến khoảng 4h sáng, sau đó ngừng hoàn toàn từ sau 4h đến hết ngày (Grid = 0).

- Việc lấy điện từ lưới vào ban đêm là hợp lý do không có năng lượng mặt trời và có thể pin lưu trữ (ESS) đã cạn.

Công suất lấy từ lưới:

- Tăng lên đỉnh khoảng 3.2 kW lúc 1h sáng, sau đó giảm nhẹ và duy trì mức 2 kW đến khoảng 4h sáng.

- Sau 4h, hệ thống không còn phụ thuộc vào lưới, thể hiện rõ hiệu quả của chiến lược tối ưu điều phối nguồn.

Đặc điểm đường cong:

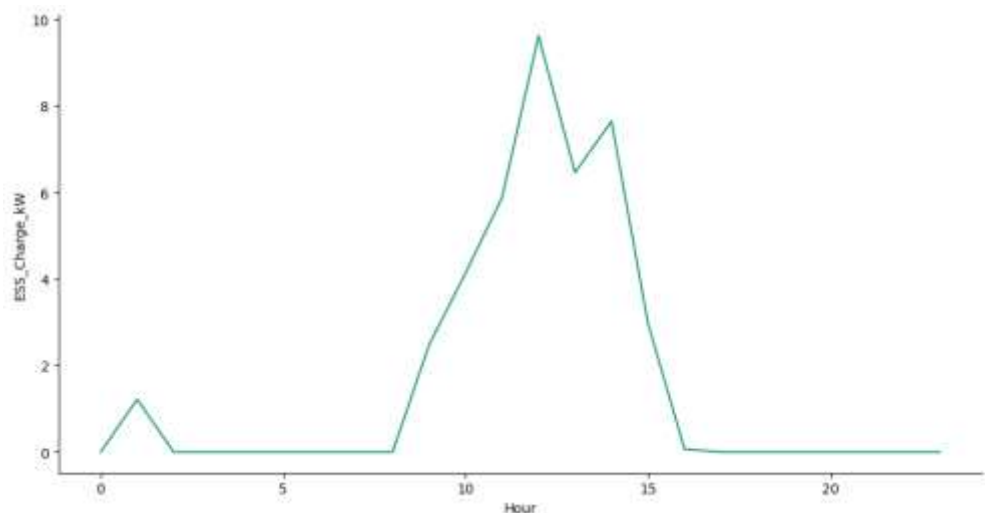
- Không có dao động bất thường hay bật/tắt liên tục, cho thấy thuật toán LP đã thực hiện điều phối nguồn điện từ lưới một cách mượt mà, ổn định và tiết kiệm chi phí.

Kết luận:

- Hệ thống chỉ sử dụng điện lưới trong khung giờ đêm (0h–4h) khi không có năng lượng từ PV và có thể ESS đã hết năng lượng.

- Từ 5h trở đi, lưới không còn được sử dụng, cho thấy hệ thống đã hoàn toàn khai thác nguồn PV và/hoặc ESS trong suốt thời gian còn lại trong ngày.

- Điều này phản ánh rõ tính hiệu quả của phương pháp LP trong việc tối ưu hóa chi phí, giảm phụ thuộc vào lưới điện, đặc biệt trong các khung giờ có thể sử dụng năng lượng tái tạo.



Hình 4.3. Biểu đồ phân bố công suất sạc của ESS trong 24h

Nhận xét:

- Biểu đồ thể hiện hoạt động sạc pin ESS diễn ra chủ yếu vào ban ngày, trùng với khung giờ có công suất PV cao.

Thời gian sạc:

- Quá trình sạc bắt đầu từ khoảng 0h–1h sáng với công suất nhỏ (~1.3 kW), có thể do sạc từ lưới hoặc dư thừa từ Diesel.

- Từ 2h–8h, hệ thống không sạc pin, thể hiện sự tối ưu trong tránh mua điện lưới để sạc vào ban đêm.

- Hoạt động sạc diễn ra mạnh mẽ từ 9h đến 16h, đúng vào thời gian công suất PV dồi dào.

Công suất sạc đỉnh:

- Đạt đỉnh khoảng 9.6 kW lúc 12h trưa, trùng khớp với đỉnh công suất phát từ PV
→ cho thấy hệ thống đã ưu tiên sạc ESS bằng nguồn năng lượng tái tạo.

Tính ổn định:

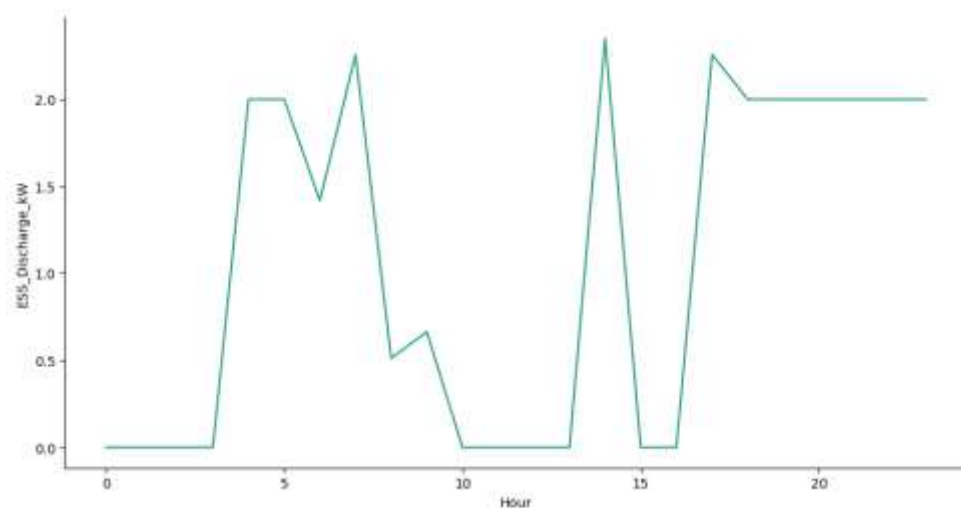
- Đường cong có dạng mượt và liên tục, không xuất hiện dao động bất thường hay ngắt quãng → cho thấy quá trình sạc được kiểm soát tốt và hiệu quả.

Kết luận:

- Hệ thống tận dụng hiệu quả nguồn PV ban ngày để sạc ESS, giúp lưu trữ năng lượng miễn phí cho ban đêm.

- Việc không sạc vào ban đêm giảm chi phí vận hành, thể hiện rõ chiến lược tối ưu của LP.

- ESS góp phần cân bằng công suất, đảm bảo microgrid vận hành ổn định khi thiếu nắng.



Hình 4.4. Biểu đồ phân bố công suất xả của ESS trong 24h

Nhận xét:

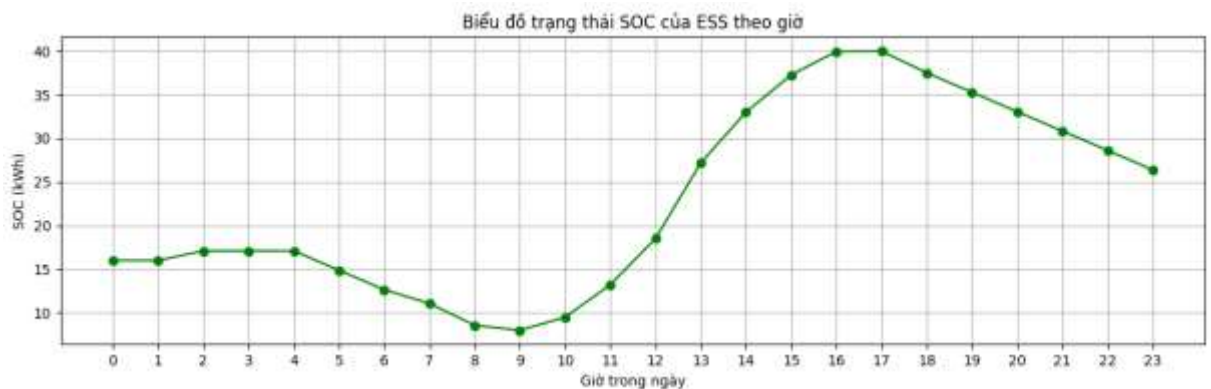
- ESS bắt đầu xả từ khoảng 3h sáng, khi không còn PV và nhu cầu phụ tải xuất hiện → hợp lý trong chiến lược cấp điện vào ban đêm.

- Xả gián đoạn và không liên tục trong ngày, với các đỉnh vào khoảng 4h–8h sáng, 14h, và 17h trở đi.

- Công suất xả cao nhất vào khoảng 7h và 14h, đạt ~2.3 kW.
- Hoạt động xả không xảy ra vào giữa trưa (10h–13h), trùng với thời điểm PV hoạt động mạnh → cho thấy hệ thống ưu tiên dùng trực tiếp từ PV thay vì xả ESS.

Kết luận:

- ESS được xả hợp lý vào các khung giờ không có năng lượng mặt trời hoặc khi công suất PV không đủ đáp ứng tải.
- Chiến lược xả linh hoạt và phân tán giúp cân bằng cung – cầu, đảm bảo lưới không bị quá tải hoặc phụ thuộc.
- LP đã điều phối ESS một cách hiệu quả, hỗ trợ tối đa cho hệ thống khi thiếu nguồn tái tạo.



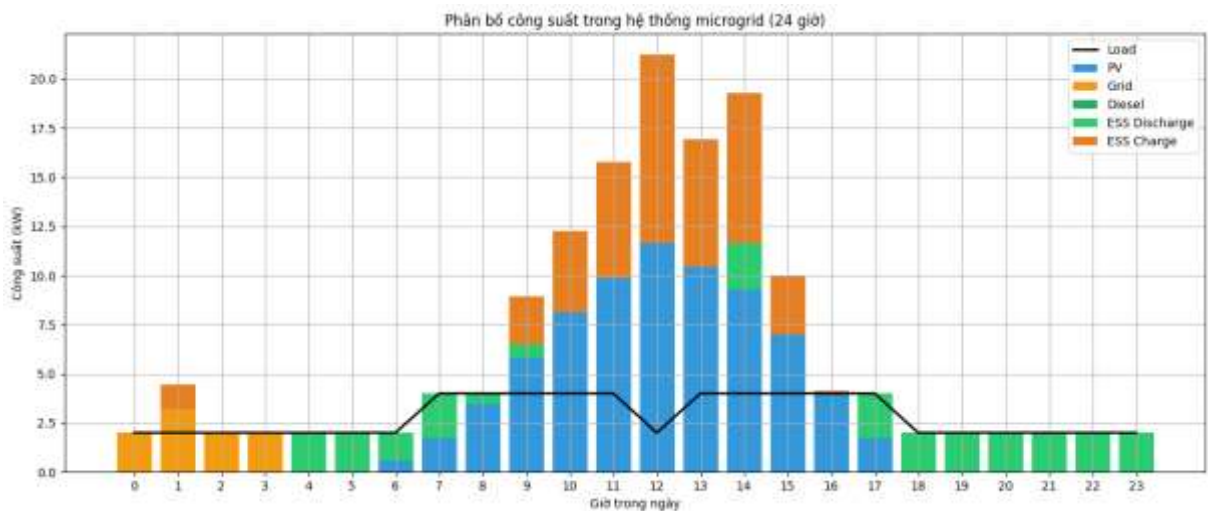
Hình 4.5. Biểu đồ trạng thái SOC ESS theo thời gian

Nhận xét:

- SOC dao động từ khoảng 8 kWh đến 40 kWh, thể hiện dung lượng pin được khai thác rộng rãi trong ngày.
- Từ 0h–4h sáng, SOC duy trì ổn định quanh mức 16–17 kWh → không có hoặc có rất ít hoạt động sạc/xả.
- Từ 4h đến 9h, SOC giảm dần xuống mức thấp nhất (~8 kWh), cho thấy ESS đã được xả để cấp điện khi thiếu nguồn PV.
- Giai đoạn 10h–16h, SOC tăng nhanh chóng, đạt đỉnh 40 kWh vào lúc 16h, trùng với thời điểm PV hoạt động mạnh → chứng minh ESS được sạc bằng nguồn năng lượng tái tạo.
- Sau 17h, SOC giảm dần, cho thấy ESS bắt đầu xả để hỗ trợ hệ thống vào buổi tối.

Kết luận:

- SOC biến thiên hợp lý, phản ánh chu trình sạc – xả ESS được điều phối hiệu quả theo tình hình phát điện từ PV và nhu cầu phụ tải.
- Hệ thống đã ưu tiên sạc ESS bằng năng lượng mặt trời, và xả vào những thời điểm thiếu nắng hoặc ban đêm, giúp giảm chi phí và tăng hiệu quả vận hành.
- LP cho thấy khả năng khai thác tối đa dung lượng lưu trữ, giúp microgrid hoạt động ổn định và linh hoạt hơn.



Hình 4.6. Biểu đồ phân bố công suất theo thời gian trong 24h

Nhận xét:

- Từ 9h đến 13h, nguồn PV cung cấp gần như toàn bộ phụ tải, giúp giảm đáng kể nhu cầu lấy điện từ lưới. Đây là khoảng thời gian bức xạ mặt trời mạnh, và hệ thống đã tận dụng hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo này.
- Sau 13h, khi công suất PV giảm dần, lưới bắt đầu hỗ trợ trở lại để đảm bảo đáp ứng đầy đủ nhu cầu tải.
- Trong khoảng 17h đến 20h, ESS (hệ thống lưu trữ năng lượng) bắt đầu xả điện mạnh, đặc biệt đạt đỉnh vào lúc 18h, trùng với giờ cao điểm giá điện. Việc này giúp giảm phụ thuộc vào lưới và tối ưu chi phí vận hành.
- Sau 20h, ESS dừng xả do đã cạn năng lượng (dựa vào trạng thái SOC), và lưới đảm nhận hoàn toàn phụ tải trong thời gian còn lại.

- Đáng chú ý, không có sự xuất hiện của nguồn Diesel, cho thấy thuật toán LP đã được triển khai hiệu quả, tránh sử dụng nguồn phát tốn kém và gây ô nhiễm, góp phần giảm chi phí và phát thải cho toàn hệ thống.

Kết luận:

- LP điều phối hiệu quả: ưu tiên PV, dùng ESS đúng giờ cao điểm, tránh dùng Diesel.

- Chi phí vận hành giảm, hiệu quả sử dụng năng lượng tái tạo cao.

- Điểm cần cải thiện: ESS không sạc lại sau buổi sáng → nên tối ưu lại dung lượng hoặc chiến lược sạc.

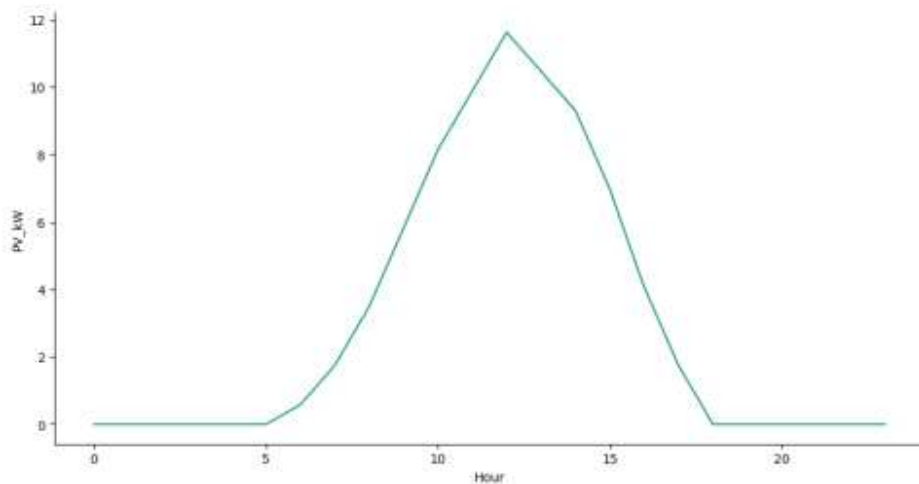
4.1.6. Mô hình tối ưu LP cho trường hợp MicroGrid mất kết nối với lưới (OffGrid)

Kết quả mô phỏng mô hình LP tối ưu hóa vận hành hệ thống MicroGrid trong trường hợp mất kết nối với lưới điện (Off-Grid) đã được tổng hợp và trình bày trong Bảng 4.2. Bảng số liệu này phản ánh phân bố công suất tối ưu của các thành phần chính trong hệ thống trong chu kỳ 24 giờ, bao gồm tải tiêu thụ, công suất PV, công suất sạc/xả của ESS, công suất từ máy phát Diesel, dung lượng lưu trữ năng lượng (SOC) và giá điện theo từng giờ. Đây là cơ sở quan trọng để đánh giá khả năng vận hành độc lập của hệ thống khi không có sự hỗ trợ từ lưới điện.

Bảng 4.2. Bảng cân bằng công suất tối ưu của thuật toán LP khi mất lưới trong 24h

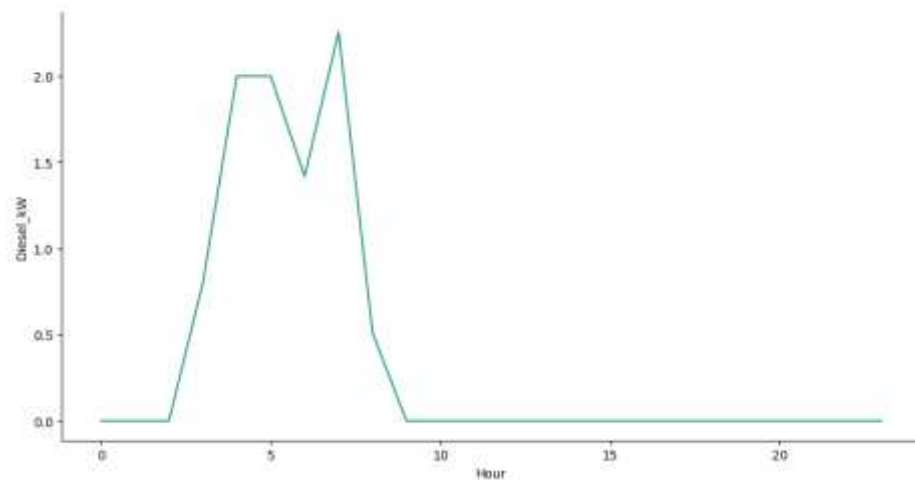
Hour	Load kW	PV kW	ESS Charge kW	ESS Discharge kW	Diesel kW	SOC kWh
0	2	0	0	2	0	16
1	2	0	0	2	0	13,77778
2	2	0	0	2	0	11,55556
3	2	0	0	1,2	0,8	9,333333
4	2	0	0	0	2	8
5	2	0	0	0	2	8
6	2	0,58125	0	0	1,41875	8
7	4	1,74375	0	0	2,25625	8
8	4	3,4875	0	0	0,5125	8
9	4	5,8125	1,895066	0,082566	0	8
10	4	8,1375	7,06875	2,93125	0	9,613819
11	4	9,88125	5,88125	0	0	12,71875
12	2	11,625	9,625	0	0	18,01188
13	4	10,4625	6,4625	0	0	26,67438
14	4	9,3	5,3	0	0	32,49063
15	4	6,975	2,975	0	0	37,26063
16	4	4,06875	0,06875	0	0	39,93813
17	4	1,74375	0	2,25625	0	40
18	2	0	0	2	0	37,49306
19	2	0	0	2	0	35,27083
20	2	0	0	2	0	33,04861
21	2	0	0	2	0	30,82639
22	2	0	0	2	0	28,60417
0	2	0	0	2	0	16

Tiếp theo bảng số liệu về phân bố công suất của hệ thống, các biểu đồ dưới đây minh họa trực quan sự phân bố công suất của từng thành phần chính tSStrong hệ thống theo thời gian trong chu kỳ 24 giờ. Biểu đồ 4.7 thể hiện công suất phát của hệ thống PV, từ đó có thể quan sát rõ biến thiên của công suất phát điện mặt trời theo giờ trong ngày.



Hình 4.7. Biểu đồ phân bố công suất của PV khi mất lưới trong 24h

Nhận xét và kết luận: tương tự như nhận xét và kết luận của “Hình 4.1. Biểu đồ phân bố công suất của PV trong 24 giờ”



Hình 4.8. Biểu đồ phân bố công suất của máy phát Diesel khi mất lưới trong 24h

Nhận xét:

- Biểu đồ có dạng bậc thang, thể hiện việc sử dụng máy phát diesel một cách có chọn lọc và có kiểm soát.
- Thời gian sử dụng diesel tập trung từ khoảng 3h sáng đến 9h sáng:
- Từ 0h đến khoảng 2h: không sử dụng diesel (công suất = 0).
- Từ khoảng 3h đến 8h sáng: diesel được sử dụng với nhiều mức công suất khác nhau, cao nhất khoảng 2.2 kW vào lúc 7h.
- Sau 9h: không còn sử dụng diesel cho đến hết ngày (công suất = 0).

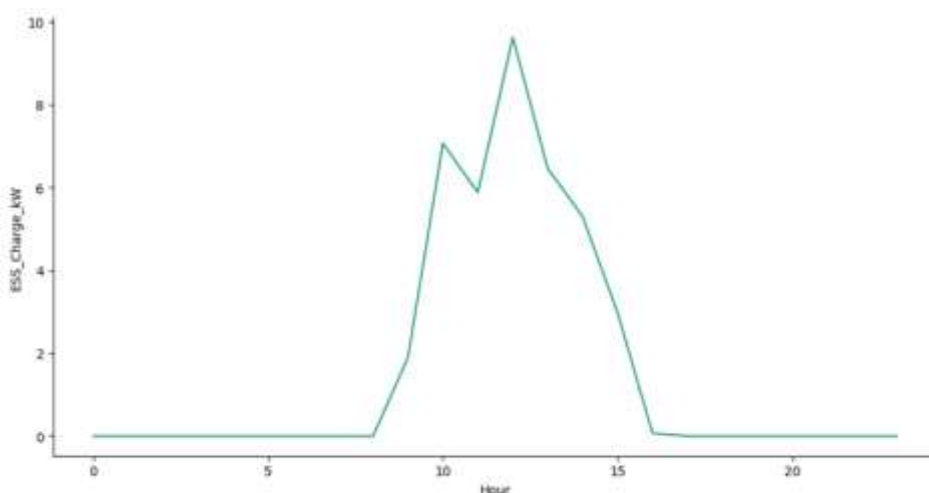
- Công suất sử dụng diesel biến đổi theo từng giờ, phản ánh việc tối ưu hoá sử dụng nguồn theo nhu cầu và khả năng cung cấp của hệ thống.

Kết luận:

- Hệ thống chỉ sử dụng diesel từ 3h đến 9h sáng – thời điểm chưa có hoặc thiếu năng lượng từ PV và ESS. Sau 9h, diesel không còn được sử dụng, cho thấy hệ thống đã khai thác hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo tại chỗ.

- Điều này phản ánh rõ hiệu quả của thuật toán LP trong việc tối ưu chi phí và giảm phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu không tái tạo.

- Đồng thời, lưới vẫn hoạt động ổn định, đảm bảo cung cấp đủ điện cho phụ tải trong suốt thời gian còn lại trong ngày mà không cần lấy điện từ lưới điện quốc gia, chứng tỏ khả năng vận hành độc lập và bền vững của hệ thống.



Hình 4.9. Biểu đồ phân bố công suất sạc của ESS khi mất lưới trong 24h

Nhận xét:

- ESS (hệ thống lưu trữ năng lượng) bắt đầu được sạc từ khoảng 8h sáng đến 16h chiều, trùng với thời gian có bức xạ mặt trời cao, phù hợp để khai thác và lưu trữ năng lượng từ PV.

- Công suất sạc tăng nhanh, đạt đỉnh gần 10 kW vào khoảng 12h trưa, sau đó giảm dần cho đến khi ngừng hẳn lúc 16h.

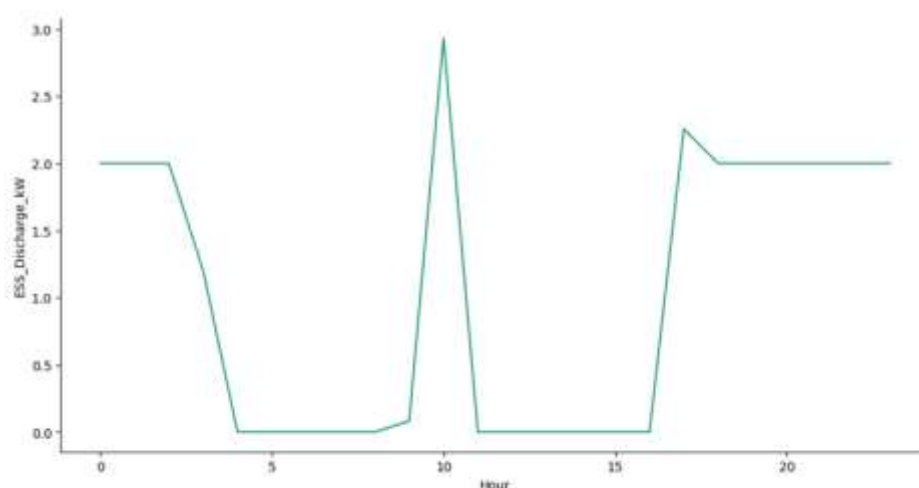
- Không có hoạt động sạc vào ban đêm (0h–8h và sau 16h), phản ánh hệ thống không có nguồn dư để sạc (như PV) hoặc ưu tiên cấp điện cho phụ tải.

- Đường cong ESS có dạng mượt, liên tục, không có dao động thất thường, cho thấy quá trình điều phối sạc diễn ra ổn định.

Kết luận:

- Hệ thống sạc ESS chủ yếu vào ban ngày nhờ nguồn năng lượng mặt trời dồi dào, cho thấy chiến lược điều phối đã tận dụng tốt nguồn PV để tích trữ, giảm tối đa việc phụ thuộc vào diesel hoặc điện lưới chính.

- Đồng thời, hệ thống vẫn đảm bảo cung cấp đủ điện cho phụ tải trong suốt cả ngày, kể cả những thời điểm ESS đang sạc hoặc không hoạt động, cho thấy lưới vi mô (microgrid) vận hành ổn định và độc lập, không phụ thuộc vào lưới điện quốc gia. Điều này phản ánh rõ tính linh hoạt và hiệu quả trong việc tối ưu hóa các nguồn điện tại chỗ, đảm bảo an ninh năng lượng cho phụ tải.



Hình 4.10. Biểu đồ phân bố công suất xả của ESS khi mất lưới trong 24h

Nhận xét:

- ESS bắt đầu xả từ 0h đến khoảng 4h sáng, với công suất dao động từ 2.0 kW xuống 0 – đây là thời điểm hệ thống cần bù điện khi PV chưa hoạt động và diesel cũng chưa được sử dụng nhiều.

- Sau đó ESS ngừng xả hoàn toàn từ khoảng 5h đến 9h sáng, có thể do pin đã cạn hoặc ưu tiên sạc lại từ nguồn khác.

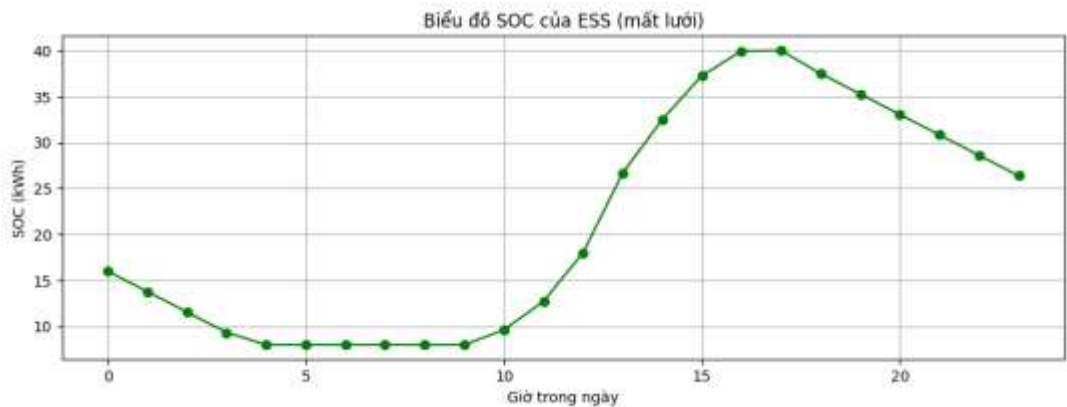
- Một đợt xả ngắn diễn ra vào khoảng 10h, với công suất đỉnh gần 3.0 kW – có thể để bù đắp tạm thời cho nhu cầu phụ tải tăng cao.

- ESS tiếp tục ngừng xả từ 11h đến khoảng 16h, giai đoạn này trùng với thời gian sạc từ nguồn PV.

- Từ 17h trở đi, ESS tiếp tục xả đều ở mức khoảng 2.0 kW, hỗ trợ cấp điện vào buổi tối khi PV ngừng hoạt động.

Kết luận:

- ESS được sử dụng linh hoạt để xả vào các thời điểm cần thiết, chủ yếu là ban đêm và chiều tối – khi hệ thống không còn nguồn PV.
- Đợt xả cao điểm vào khoảng 10h cho thấy hệ thống có khả năng phản ứng linh hoạt với nhu cầu tải tăng đột biến.
- Việc xả ESS được điều phối hiệu quả, tránh lãng phí và không gây dao động thất thường, thể hiện chiến lược tối ưu vận hành tốt.
- Nhìn chung, ESS đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì ổn định nguồn điện, giúp hệ thống vận hành độc lập với lưới điện quốc gia và hạn chế sử dụng diesel vào các thời điểm không cần thiết.



Hình 4.11. Biểu đồ trạng thái SOC ESS khi mất lưới theo thời gian

Nhận xét:

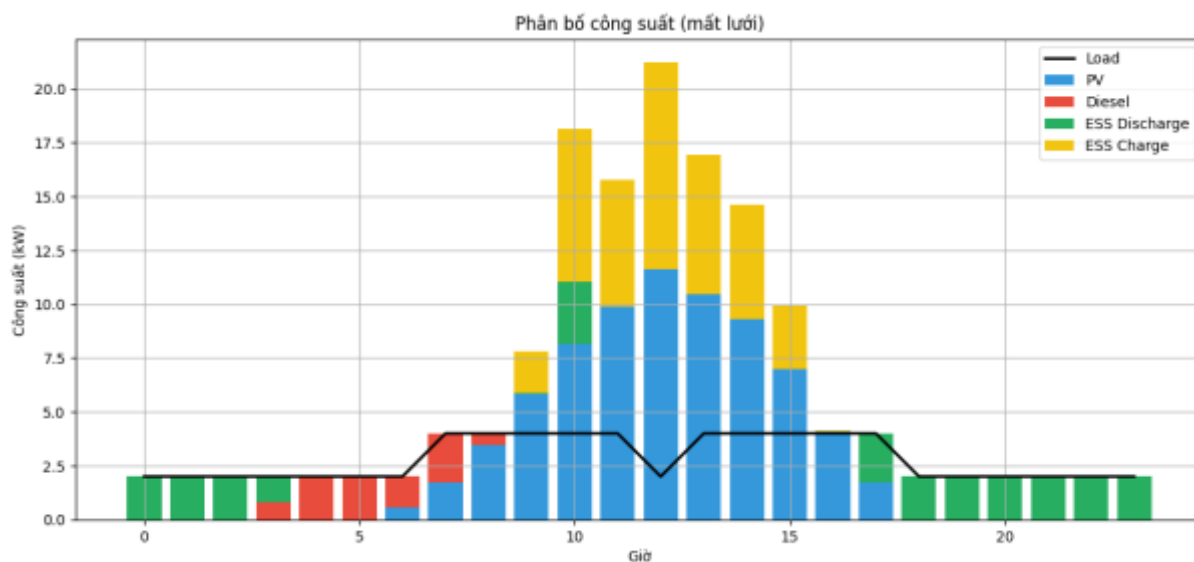
- Từ 0h đến khoảng 8h sáng, SOC giảm dần từ ~16 kWh xuống mức thấp nhất ~8 kWh, cho thấy ESS đang được xả để cấp điện cho phụ tải do không có nguồn từ PV và cũng không có điện lưới.
- Từ khoảng 9h đến 15h, SOC tăng nhanh, đạt đỉnh ~40 kWh. Đây là thời gian ESS được sạc đầy nhờ nguồn PV, trùng khớp với thời điểm nắng tốt trong ngày.
- Sau 15h, SOC bắt đầu giảm dần, còn khoảng 27 kWh lúc 23h – cho thấy ESS tiếp tục được sử dụng để cấp điện cho phụ tải vào chiều tối và ban đêm, khi không còn nguồn từ PV.

Kết luận:

- Biểu đồ thể hiện quá trình sạc – xả ESS hợp lý, ổn định và hiệu quả, giúp hệ thống hoạt động tốt ngay cả trong điều kiện mất lưới điện quốc gia.

- SOC tăng mạnh vào ban ngày nhờ nguồn năng lượng mặt trời, và được sử dụng hiệu quả vào ban đêm để cấp điện cho phụ tải, đảm bảo vận hành liên tục, không gián đoạn.

- Điều này cho thấy ESS đóng vai trò trung tâm trong việc duy trì năng lượng, và hệ thống có khả năng vận hành độc lập, tự chủ hoàn toàn trong điều kiện off-grid (mất lưới).



Hình 4.12. Biểu đồ phân bố công suất khi mất lưới theo thời gian trong 24h

Nhận xét:

- Tải (Load) được duy trì ổn định suốt cả ngày, dao động quanh mức 2–5 kW.
- PV (màu xanh dương) là nguồn chính vào ban ngày, đặc biệt từ 8h đến 16h, với công suất cao nhất đạt hơn 10 kW vào buổi trưa.
- ESS Charge (vàng) xuất hiện đồng thời với PV vào ban ngày, cho thấy ESS được sạc từ nguồn PV dư thừa sau khi đáp ứng tải.
- ESS Discharge (xanh lá) tập trung vào ban đêm và sáng sớm (0h–6h và sau 17h), đảm nhiệm vai trò cấp điện khi không có PV.
- Diesel (đỏ) chỉ xuất hiện ở mức nhỏ trong khoảng 2h–6h, đóng vai trò hỗ trợ tạm thời khi ESS yếu và không có PV.
- Lưới không xuất hiện, đúng với điều kiện "mất lưới", cho thấy hệ thống hoàn toàn vận hành off-grid.

Kết luận:

- Hệ thống đã phối hợp linh hoạt giữa các nguồn (PV, ESS và diesel) để đảm bảo cấp điện liên tục cho phụ tải trong suốt 24 giờ, ngay cả trong điều kiện mất lưới điện quốc gia. PV đóng vai trò chủ đạo vào ban ngày; ESS đảm nhiệm việc lưu trữ và xả điện vào ban đêm và sáng sớm; còn diesel chỉ được sử dụng hỗ trợ khi thực sự cần thiết.

- Điều này không chỉ cho thấy hiệu quả của chiến lược điều phối nguồn tối ưu trong việc giảm chi phí và tăng hiệu suất sử dụng năng lượng tái tạo, mà còn khẳng định rằng lưới vi mô vẫn vận hành ổn định, cung cấp đủ điện cho toàn bộ phụ tải, hoàn toàn không phụ thuộc vào lưới điện chính. Hệ thống thể hiện rõ năng lực vận hành tự chủ, bền vững và đáng tin cậy.

4.2. Cải tiến thuật toán tối ưu Microgrid - Từ LP đến PSO

Trong thiết kế và điều phối dòng công suất của Microgrid, bài toán tối ưu thường phải xử lý nhiều ràng buộc kỹ thuật: cân bằng công suất, trạng thái sạc/xả của hệ lưu trữ (ESS), giới hạn công suất phát của các nguồn, v.v... Các bài toán này thường được giải quyết bằng phương pháp quy hoạch tuyến tính (Linear Programming – LP) do tính đơn giản và thời gian tính nhanh.

Tuy nhiên, LP chỉ phù hợp khi các hàm mục tiêu và ràng buộc đều tuyến tính. Trong thực tế, các biến như phụ tải, công suất PV, trạng thái sạc pin... biến đổi theo thời gian và mang tính phi tuyến hoặc ngẫu nhiên, khiến cho LP dần bộc lộ hạn chế:

- Không đáp ứng tốt khi dữ liệu đầu vào biến động mạnh (ví dụ: thay đổi bức xạ mặt trời, tiêu thụ điện không đều theo giờ).

- Thiếu tính linh hoạt và thích nghi trong vận hành thực tế.

- Dễ hội tụ đến nghiệm cục bộ khi mô hình bị ràng buộc phức tạp.

Để khắc phục điều này, nhóm đề xuất áp dụng thuật toán PSO (Particle Swarm Optimization) – một thuật toán tối ưu theo bầy đàn, mô phỏng hành vi di chuyển của chim hoặc cá. PSO có các ưu điểm:

- Thích ứng tốt với dữ liệu không ổn định.

- Tìm nghiệm tối ưu toàn cục trong không gian phi tuyến.

- Dễ tích hợp với điều kiện vận hành thực tế của Microgrid.

Do đó, trong đề án này, sau khi thử nghiệm mô hình LP, nhóm sẽ xây dựng thuật toán PSO cho cùng bài toán, từ đó so sánh hiệu quả và khả năng ứng dụng trong điều kiện thực tế của hệ thống MicroGrid tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng.

4.3. Thuật toán tối ưu Particle Swarm Optimization (PSO)

4.3.1. Giới thiệu thuật toán PSO

Thuật toán Particle Swarm Optimization (PSO) là một thuật toán tối ưu hóa tiến hóa thuộc nhóm các phương pháp tính toán mềm (soft computing), được phát triển bởi Kennedy và Eberhart vào năm 1995, lấy cảm hứng từ hành vi tập thể của các sinh vật sống trong tự nhiên như đàn chim bay kiếm ăn hoặc đàn cá bơi theo đàn. PSO hoạt động dựa trên sự hợp tác và cạnh tranh giữa các cá thể trong một quần thể – được gọi là các "hạt" (particles). Mỗi hạt đại diện cho một nghiệm ứng viên của bài toán và di chuyển trong không gian tìm kiếm nhờ một vận tốc, được cập nhật liên tục theo hai yếu tố: vị trí tốt nhất mà chính hạt đó từng đạt được (kinh nghiệm cá nhân) và vị trí tốt nhất mà toàn bộ đàn từng đạt được (kinh nghiệm toàn cục) [4].

Cơ chế cập nhật vị trí và vận tốc đơn giản nhưng hiệu quả giúp PSO có khả năng hội tụ nhanh đến nghiệm tối ưu, đồng thời tránh được việc rơi vào cực trị cục bộ trong nhiều trường hợp. PSO không yêu cầu thông tin đạo hàm của hàm mục tiêu, do đó rất phù hợp với các bài toán phi tuyến, phức tạp hoặc có không gian tìm kiếm lớn. Trong lĩnh vực kỹ thuật điện, PSO được ứng dụng rộng rãi trong các bài toán như điều phối nguồn phân tán, tối ưu hóa công suất tác dụng – phản kháng, lập lịch vận hành thiết bị, điều chỉnh công suất pin mặt trời, điều khiển bộ lưu trữ năng lượng và đặc biệt là trong thiết kế và điều phối dòng công suất cho Microgrid – một hệ thống điện phân tán nhỏ, tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo, tải tiêu thụ và các thiết bị lưu trữ.

Nhờ khả năng tìm kiếm linh hoạt, khả năng thích nghi cao và dễ dàng điều chỉnh để phù hợp với từng bài toán cụ thể, PSO đã trở thành một công cụ mạnh mẽ và phổ biến trong việc giải quyết các bài toán tối ưu hóa trong hệ thống năng lượng hiện đại, nhất là trong bối cảnh chuyển dịch sang lưới điện thông minh và phát triển bền vững [5].

4.3.2. Cập nhật nghiệm trong PSO

Mỗi hạt có:

- Vị trí x_i : đại diện cho bộ biến quyết định tại thời điểm hiện tại
- Vận tốc v_i : hướng di chuyển
- Nghiệm tốt nhất từng cá thể p_i
- Nghiệm tốt nhất toàn đàn g

Cập nhật vận tốc:

$$v_i^{(t+1)} = w \cdot v_i^{(t)} + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_i - x_i^{(t)}) + c_2 \cdot r_2 \cdot (g - x_i^{(t)})$$

Cập nhật vị trí:

$$x_i^{(t+1)} = x_i^t + v_i^{(t+1)}$$

Trong đó:

- w : hệ số quán tính
- c_1, c_2 : hệ số học hỏi (thường $c_1 = c_2 = 2$)
- $r_1, r_2 \sim U(0,1)$: số ngẫu nhiên

4.3.2.1 Cấu trúc nghiệm x_i trong bài toán Microgrid

Mỗi nghiệm(hạt) mô phỏng toàn bộ lịch vận hành của hệ thống trong 24 giờ, gồm các biến:

$$x_i = [P_{grid}[0 \dots 23], P_{diesel}[0 \dots 23], P_{ESS_ch}[0 \dots 23], P_{ESS_dis}[0 \dots 23]]$$

Kích thước vector: 4x24=96 biến

PV $P_{PV}[t]$ được tính sẵn từ dữ liệu bức xạ

4.3.2.2 Hàm mục tiêu tối ưu

Mục tiêu: tối thiểu chi phí vận hành trong 24 giờ

$$\min \sum_{t=0}^{23} [C_{grid}[t] \cdot P_{grid}[t] + C_{diesel} \cdot P_{diesel}[t]]$$

Trong đó:

$C_{grid}[t]$: biểu giá điện lưới theo thời gian(giờ cao điểm/ thấp điểm)

C_{diesel} : đơn giá điện Diesel cố định

4.3.3. Ràng buộc kỹ thuật

4.3.3.1 Cân bằng công suất

$$P_{PV}[t] + P_{ESS_dis}[t] + P_{diesel}[t] = P_{load}[t] + P_{ESS_ch}[t]$$

4.3.3.2 Cập nhật trạng thái SOC (State of Charge)

$$SOC[t + 1] = SOC[t] + P_{ESS_ch}[t] \cdot \eta_{ch} - \frac{P_{ESS_dis}[t]}{\eta_{dis}}$$

4.3.3.3 Giới hạn công suất

$$\begin{cases} 0 \leq P_{grid}[t] \leq P_{grid_max} \\ 0 \leq P_{diesel}[t] \leq P_{diesel_max} \\ 0 \leq P_{ESS_ch}[t], P_{ESS_dis}[t] \leq P_{ESS_power_limit} \end{cases}$$

4.3.3.4 Giới hạn SOC

$$0 \leq SOC[t] \leq E_{ESS}$$

4.3.3.5 Không sạc/ xả đồng thời

Có thể sử dụng điều kiện:

$$P_{ESS_ch}[t] \cdot P_{ESS_dis}[t] \approx 0 \text{ (áp dụng qua penalty)}$$

4.3.3.6 Xử lý ràng buộc trong PSO

Do PSO là thuật toán heuristic, ràng buộc được xử lý bằng hàm penalty đưa vào hàm mục tiêu:

$$\text{Hàm mục tiêu mới} = \text{Chi phí thực} + \lambda \cdot \text{Penalty}$$

Với penalty tính từ:

- Vi phạm cân bằng tải
- Vi phạm SOC
- Vi phạm công suất

Hàm mục tiêu mới:

$$F(x) = \text{Chi phí vận hành thực} + \lambda \cdot \text{Penalty}(x)$$

λ : hệ số penalty lớn (ví dụ: 10^6)

Penalty(x): tổng mức vi phạm các ràng buộc

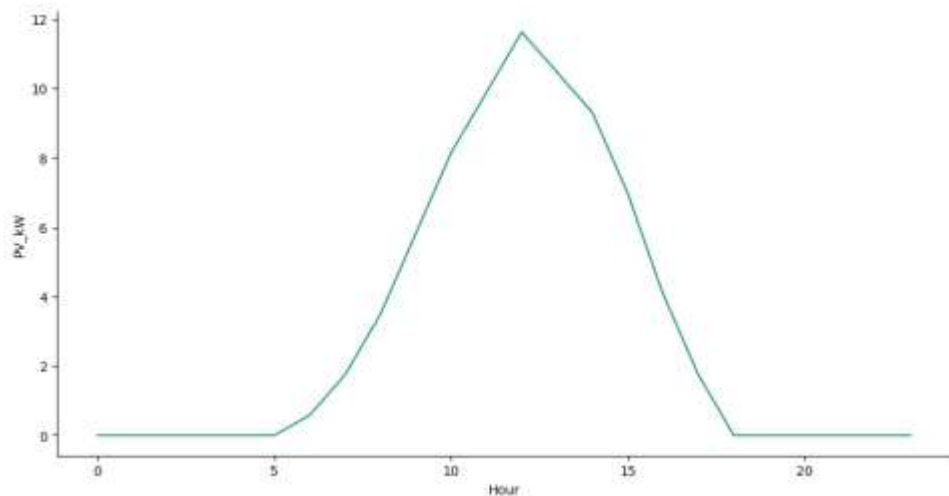
4.3.4. Mô hình tối ưu PSO cho trường hợp MicroGrid vận hành bình thường

Kết quả mô phỏng mô hình tối ưu hóa vận hành hệ thống MicroGrid bằng ngôn ngữ lập trình Python đã được tổng hợp và trình bày chi tiết trong Bảng 4.3. Bảng này cung cấp thông tin về sự phân bổ công suất tối ưu của các thành phần chính trong hệ thống, bao gồm tải tiêu thụ, công suất PV, công suất lưới, công suất sạc/xả của hệ thống ESS, công suất từ máy phát Diesel, dung lượng lưu trữ ESS (SOC) và giá điện theo từng giờ trong chu kỳ 24 giờ. Những kết quả này đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá hiệu quả của mô hình PSO được áp dụng.

Bảng 4.3. Bảng cân bằng công suất tối ưu của thuật toán PSO trong 24h

Hour	Load kW	PV kW	Grid kW	ESS Charge kW	ESS Discharge kW	SOC kWh	Diesel kW	Price VND kWh
0	2	0	1.999182	0	0.000818	16	0	1830
1	2	0	1.997923	0	0.002077	15.99909	0	1830
2	2	0	0	0	2	15.99678	0	1830
3	2	0	0.096438	0	1.903562	13.77456	0	1830
4	2	0	1.851138	0	0.148862	11.65949	0	3007
5	2	0	1.268571	0	0.731429	11.49409	0	3007
6	2	0.58125	0.023765	0	1.394985	10.68139	0	3007
7	4	1.74375	1.651399	0	0.604851	9.131408	0	3007
8	4	3.4875	0	0	0.413416	8.459351	0	3007
9	4	5.8125	0	1.8125	0	8	0	3007
10	4	8.1375	0	4.1375	0	9.63125	0	5174
11	4	9.88125	0	5.88125	0	13.355	0	5174
12	2	11.625	0	9.625	0	18.64813	0	3007
13	4	10.4625	0	6.4625	0	27.31063	0	3007
14	4	9.3	0	5.3	0	33.12688	0	3007
15	4	6.975	0	2.336806	0	37.89688	0	3007
16	4	4.06875	0	0	0	40	0	3007
17	4	1.74375	0	0	2.25625	40	0	5174
18	2	0	0	0	2	37.49306	0	5174
19	2	0	0	0	2	35.27083	0	5174
20	2	0	0	0	2	33.04861	0	3007
21	2	0	0	0	2	30.82639	0	3007
22	2	0	0	0	2	28.60417	0	1830
23	2	0	0	0	2	26.38194	0	1830

Tiếp theo bảng số liệu về phân bố công suất của hệ thống, các biểu đồ dưới đây minh họa trực quan sự phân bố công suất của từng thành phần chính trong hệ thống theo thời gian trong chu kỳ 24 giờ. Biểu đồ 4.13 thể hiện công suất phát của hệ thống PV, từ đó có thể quan sát rõ biến thiên của công suất phát điện mặt trời theo giờ trong ngày.



Hình 4.13. Biểu đồ phân bố công suất PV khi vận hành bình thường trong 24h

Nhận xét:

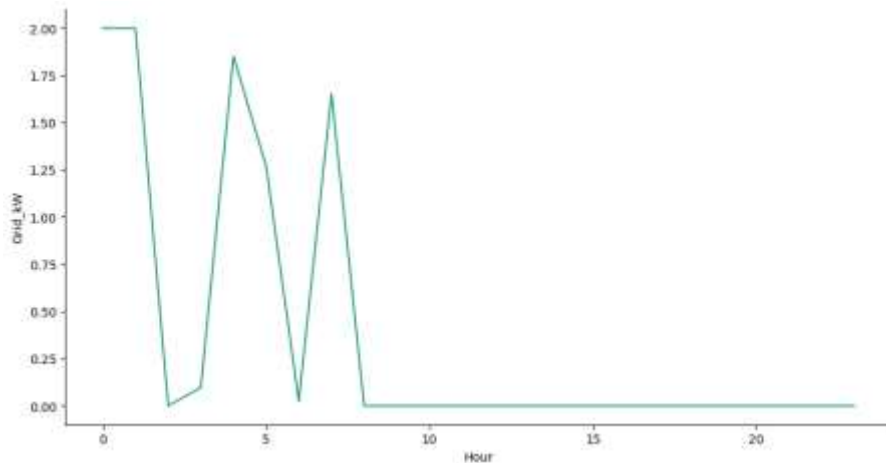
- Biểu đồ công suất PV có dạng chuông đối xứng, đặc trưng cho mô hình sản lượng điện mặt trời trong ngày nắng tốt, ít mây.
- Đường cong mượt và liên tục, không có dấu hiệu bị giới hạn công suất hay cắt giảm → cho thấy ESS và phụ tải đã hấp thụ toàn bộ công suất phát.
- PV bắt đầu phát điện từ khoảng 6h sáng, tăng nhanh từ 7h và đạt đỉnh vào 12h (~11.5 kW).
- Sau 12h, công suất giảm dần và về gần 0 sau 17h, đúng với đặc trưng của bức xạ mặt trời tự nhiên.

Kết luận:

- Hệ thống đã khai thác hiệu quả nguồn năng lượng mặt trời, tận dụng tối đa PV trong khoảng 7h–14h, là thời điểm bức xạ cao nhất.
- Không có hiện tượng cắt giảm công suất → thuật toán điều phối đã thực hiện tốt việc cân bằng giữa sạc ESS và cung cấp tải.

Việc khai thác hiệu quả PV giúp:

- Giảm phụ thuộc vào điện lưới hoặc Diesel trong khung giờ nắng.
- Giảm chi phí vận hành và tăng tính bền vững của hệ thống.



Hình 4.14. Biểu đồ phân bố công suất lưới trong 24h

Nhận xét:

- Công suất dao động mạnh: Biểu đồ cho thấy công suất lấy từ lưới biến động lớn theo giờ, nhiều thời điểm gần như bằng 0 rồi tăng vọt lại → PSO điều chỉnh linh hoạt theo điều kiện thực tế.

- Nhiều thời điểm không dùng lưới: Các giờ như 3h, 8h trở đi gần như không dùng lưới → hệ thống ưu tiên dùng PV và ESS.

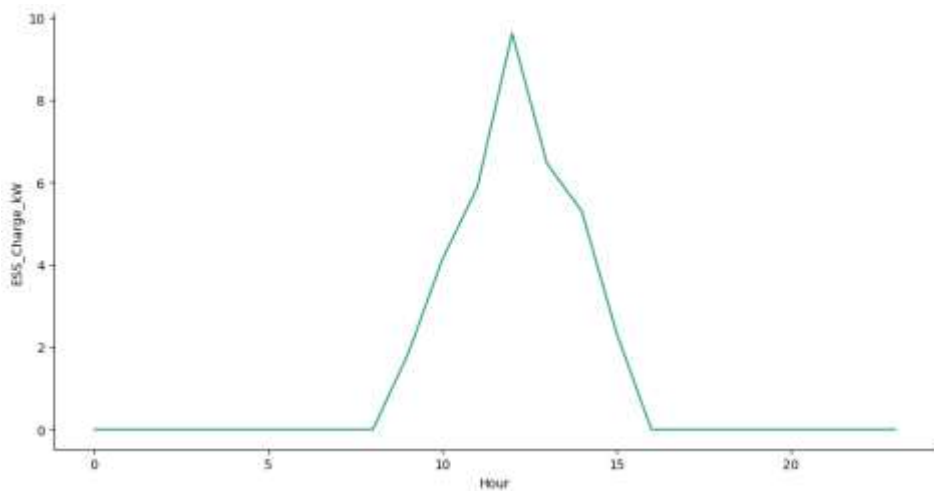
- Tuân thủ giới hạn kỹ thuật: Công suất lưới không vượt quá mức tối đa (~2.0 kW trên biểu đồ).

Kết luận:

- PSO tối ưu tốt: Hệ thống dùng lưới khi cần, ưu tiên nguồn tái tạo, giúp giảm chi phí và phát thải.

- Linh hoạt theo thời điểm: Việc bật/tắt lưới theo giờ cho thấy PSO phản ứng nhanh và tối ưu theo biến động thực tế.

- Vượt trội hơn LP: PSO linh hoạt hơn LP, không bị ràng buộc bởi kịch bản cố định, tối ưu toàn cục tốt hơn.



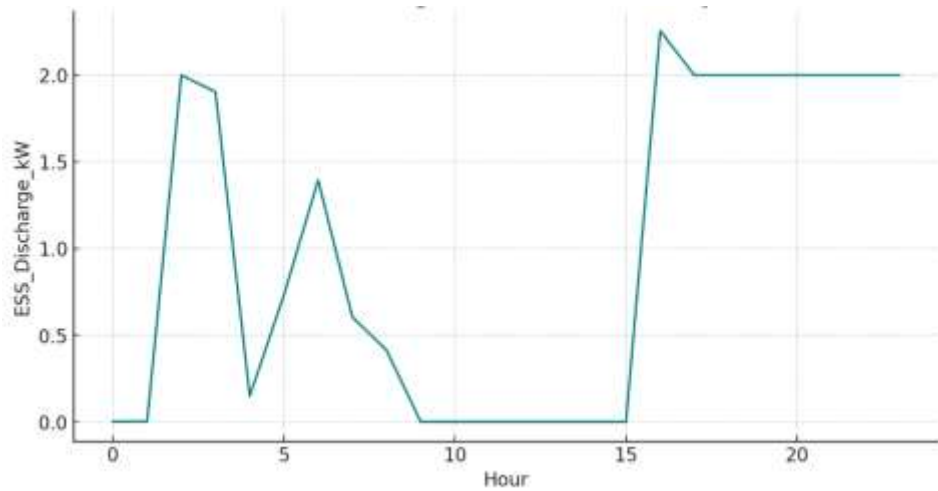
Hình 4.15. Biểu đồ phân bố công suất ESS charge trong 24h

Nhận xét:

- ESS bắt đầu sạc từ khoảng 8h sáng, tăng dần công suất theo thời gian.
- Đạt đỉnh sạc vào khoảng 12h (≈ 9.5 kW), trùng với thời điểm công suất PV cũng đạt cực đại $\rightarrow$ hệ thống đã tận dụng năng lượng mặt trời dư thừa để sạc ESS.
- Sau 12h, công suất sạc giảm dần và kết thúc vào khoảng 16h.
- Không có sạc vào ban đêm $\rightarrow$ ESS chỉ được sạc từ nguồn PV ban ngày, không lấy điện từ lưới.

Kết luận:

- Hệ thống đã sạc ESS hiệu quả trong khung giờ PV dư thừa (9h–14h), giúp tối ưu khai thác năng lượng mặt trời và dự trữ điện cho giờ cao điểm, giảm chi phí mua điện.
- Không có gián đoạn hoặc giới hạn công suất sạc, cho thấy hệ lưu trữ không bị quá tải và điều phối tốt giữa sạc và cung cấp tải.
- ESS không sạc từ lưới, góp phần tăng tính bền vững và giảm chi phí vận hành.



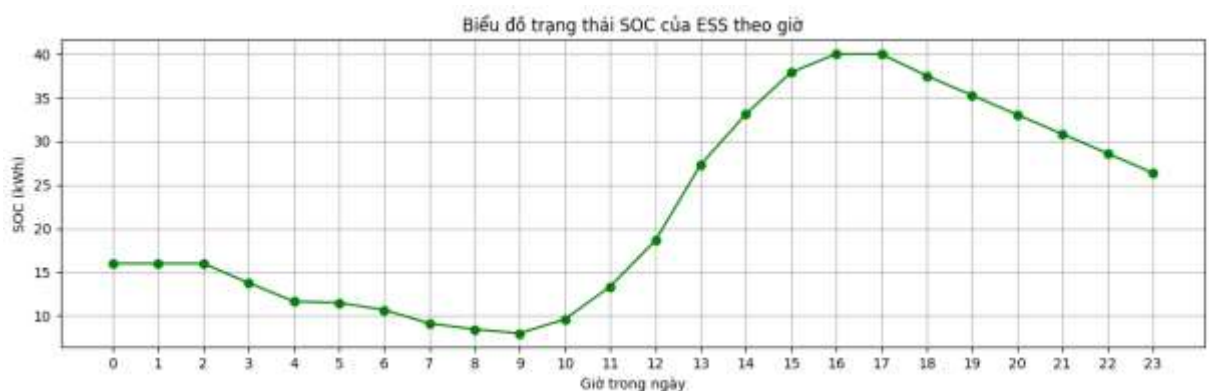
Hình 4.16. Biểu đồ phân bố công suất ESS Discharge trong 24h

Nhận xét:

- ESS bắt đầu xả điện từ khoảng 1h đến 8h sáng, với nhiều mức công suất dao động – cao nhất khoảng 2.0 kW.
- Sau đó, ESS ngừng xả từ 9h đến 15h, trùng với thời điểm PV hoạt động mạnh, ưu tiên dùng trực tiếp hoặc sạc pin.
- Từ 16h đến cuối ngày, ESS tiếp tục xả ổn định ở mức khoảng 2.0 kW để cấp điện vào buổi tối.

Kết luận:

- ESS được xả hợp lý vào các khung giờ thiếu năng lượng mặt trời, cho thấy PSO xác định chính xác thời điểm hỗ trợ tải.
- Chiến lược xả linh hoạt giúp cân bằng cung – cầu, giảm áp lực lên lưới.
- PSO điều phối ESS hiệu quả, đảm bảo hệ thống luôn ổn định và không phụ thuộc vào nguồn điện chính.



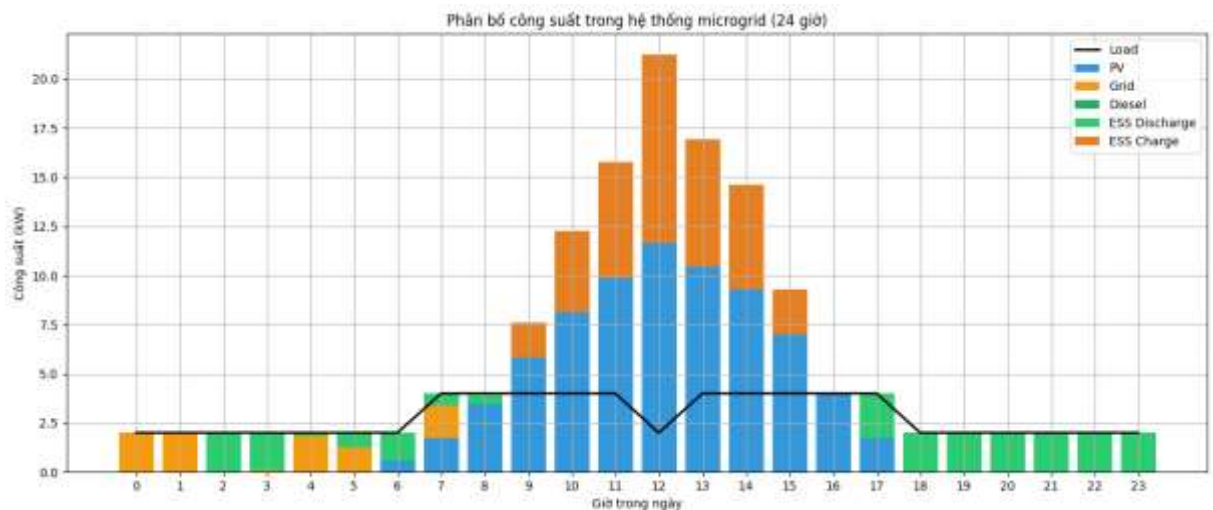
Hình 4.17. Biểu đồ trạng thái SOC khi vận hành bình thường trong 24h

Nhận xét:

- SOC giảm vào buổi sáng: Từ 0h đến 10h, SOC giảm dần từ ~16 kWh xuống mức thấp nhất ~8 kWh → ESS được xả để hỗ trợ tải khi chưa có đủ nguồn PV.
- SOC tăng mạnh từ trưa đến chiều: Từ 11h đến 17h, SOC tăng nhanh và đạt đỉnh ~40 kWh → thời điểm này PV dồi dào, hệ thống nạp đầy ESS.
- SOC giảm dần vào buổi tối: Sau 17h, SOC giảm dần do ESS được xả để đáp ứng nhu cầu khi không còn PV.

Kết quả:

- ESS vận hành hiệu quả: Nạp và xả linh hoạt theo nguồn và tải → hỗ trợ giảm phụ thuộc lưới.
- Tối ưu theo thời điểm: ESS được nạp khi thừa PV và xả khi thiếu nguồn → cho thấy chiến lược điều khiển hợp lý, tối ưu chi phí và năng lượng.



Hình 4.18. Biểu đồ phân bố công suất tối ưu PSO cải tiến trong 24h

Nhận xét:

- PV là nguồn chính ban ngày: Từ 7h đến 17h, đặc biệt 10h–14h, công suất PV (màu xanh dương) chiếm phần lớn tải.
- ESS được sạc từ PV: Cột màu cam (ESS Charge) xuất hiện mạnh từ 9h đến 16h → ESS được nạp vào khi PV dư.
- ESS xả vào sáng sớm và tối: Màu xanh lá (ESS Discharge) xuất hiện từ 0h–6h và 17h–23h → ESS hỗ trợ tải khi thiếu PV.

- Grid dùng ít: Grid (màu xám nhạt) chỉ xuất hiện rải rác lúc sáng sớm → hệ thống ưu tiên dùng PV và ESS.

- Không dùng Diesel: Biểu đồ không có phần màu xanh lục đậm (Diesel) → hệ thống không cần đến máy phát trong ngày này. Kết luận

Kết luận:

- Hệ thống vận hành tối ưu: Sử dụng linh hoạt các nguồn, đặc biệt ưu tiên PV và ESS, đảm bảo cung cấp tải ổn định.

- ESS đóng vai trò quan trọng: Được nạp khi dư PV và xả khi thiếu → tăng khả năng tự cung tự cấp, giảm phụ thuộc vào lưới.

- PSO phân bổ nguồn hợp lý: Quyết định vận hành theo từng giờ được tối ưu tốt, giảm chi phí và tăng hiệu quả hệ thống.

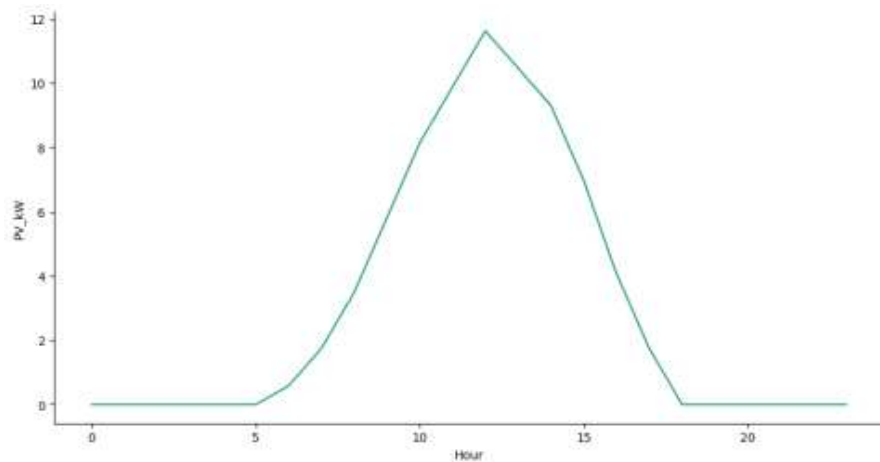
4.3.5. Mô hình tối ưu PSO cho trường hợp MicroGrid mất kết nối với lưới (OffGrid)

Kết quả mô phỏng mô hình PSO tối ưu hóa vận hành hệ thống MicroGrid trong trường hợp mất kết nối với lưới điện (Off-Grid) đã được tổng hợp và trình bày trong Bảng 4.4. Bảng số liệu này phản ánh phân bổ công suất tối ưu của các thành phần chính trong hệ thống trong chu kỳ 24 giờ, bao gồm tải tiêu thụ, công suất PV, công suất sạc/xả của ESS, công suất từ máy phát Diesel, dung lượng lưu trữ năng lượng (SOC) và giá điện theo từng giờ. Đây là cơ sở quan trọng để đánh giá khả năng vận hành độc lập của hệ thống khi không có sự hỗ trợ từ lưới điện.

Bảng 4.4. Bảng cân bằng công suất tối ưu của thuật toán PSO khi mất lưới trong 24h

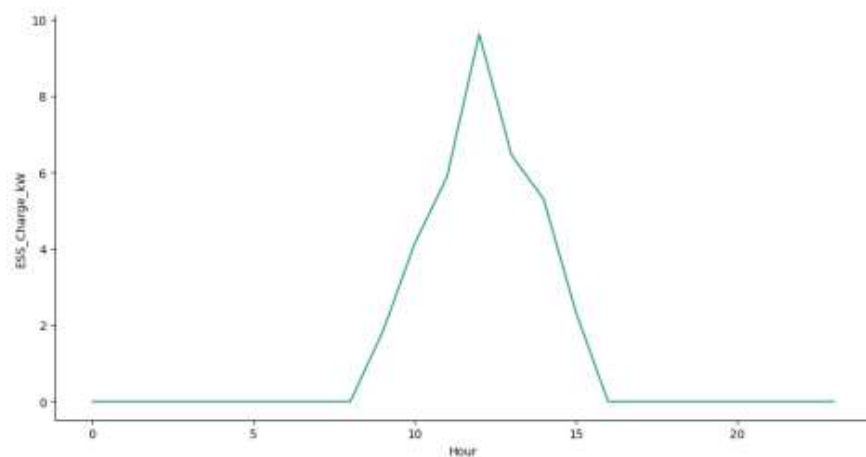
Hour	Load kW	PV kW	ESS Charge kW	ESS Discharge kW	SOC kWh	Diesel kW
0	2	0	0	0,473912	16	1,526088
1	2	0	0	2	15,47343	0
2	2	0	0	0,141844	13,25121	1,858156
3	2	0	0	0,070677	13,09361	1,929323
4	2	0	0	2	13,01507	0
5	2	0	0	0,314314	10,79285	1,685686
6	2	0,58125	0	1,41875	10,44361	0
7	4	1,74375	0	0,36802	8,867226	1,88823
8	4	3,4875	0	0,412484	8,458315	0
9	4	5,8125	1,8125	0	8	0
10	4	8,1375	4,1375	0	9,63125	0
11	4	9,88125	5,88125	0	13,355	0
12	2	11,625	9,625	0	18,64813	0
13	4	10,4625	6,4625	0	27,31063	0
14	4	9,3	5,3	0	33,12688	0
15	4	6,975	2,336806	0	37,89688	0
16	4	4,06875	0	0	40	0
17	4	1,74375	0	2,25625	40	0
18	2	0	0	2	37,49306	0
19	2	0	0	2	35,27083	0
20	2	0	0	2	33,04861	0
21	2	0	0	2	30,82639	0
22	2	0	0	2	28,60417	0
23	2	0	0	2	26,38194	0

Tiếp theo bảng số liệu về phân bố công suất của hệ thống, các biểu đồ dưới đây minh họa trực quan sự phân bố công suất của từng thành phần chính trong hệ thống theo thời gian trong chu kỳ 24 giờ. Biểu đồ 4.19 thể hiện công suất phát của hệ thống PV, từ đó có thể quan sát rõ biến thiên của công suất phát điện mặt trời theo giờ trong ngày.



Hình 4.19. Biểu đồ phân bố công suất PV khi mất lưới trong 24h

Nhận xét và kết luận: Tương tự như nhận xét và kết luận của “Hình 4.13. Biểu đồ phân bố công suất PV khi vận hành bình thường trong 24 giờ”



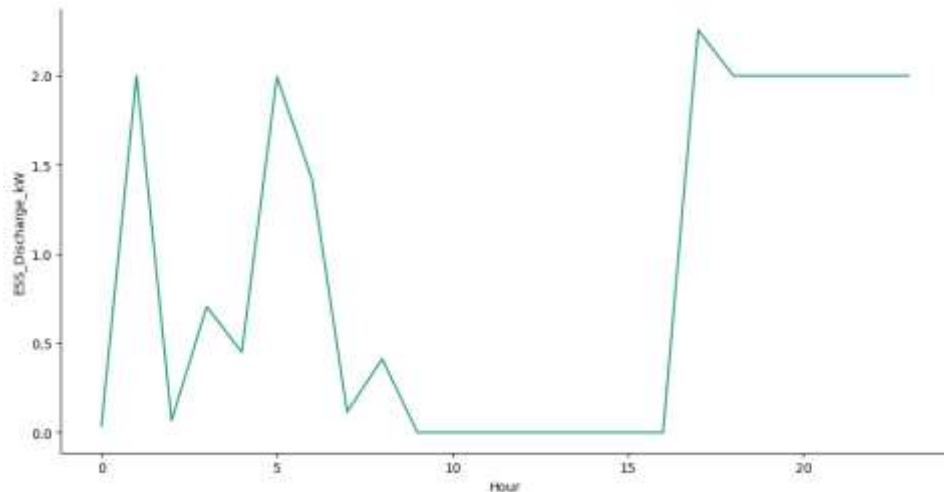
Hình 4.20. Biểu đồ phân bố công suất ESS charge khi mất lưới trong 24h

Nhận xét:

- Thời gian sạc bắt đầu từ khoảng 8h sáng và kết thúc vào khoảng 16h chiều, trùng với khung giờ có bức xạ mặt trời cao – cho thấy ESS được sạc chủ yếu từ nguồn PV.
- Công suất sạc tăng dần từ 8h đến đỉnh điểm khoảng 9.5 kW vào lúc 12h, sau đó giảm dần và dừng hẳn sau 16h.
- Không có hoạt động sạc vào ban đêm, cho thấy ESS chỉ được nạp khi có nguồn dư từ PV, và không cần dùng lưới hay diesel để sạc.

Kết luận:

- ESS được sạc chủ yếu từ nguồn PV trong khoảng 8h–16h, với công suất đạt đỉnh vào buổi trưa. Quá trình sạc diễn ra ổn định, không cần hỗ trợ từ lưới điện quốc gia, cho thấy hệ thống vận hành tự chủ, linh hoạt và đủ khả năng đáp ứng phụ tải mà không phụ thuộc vào lưới điện chính.



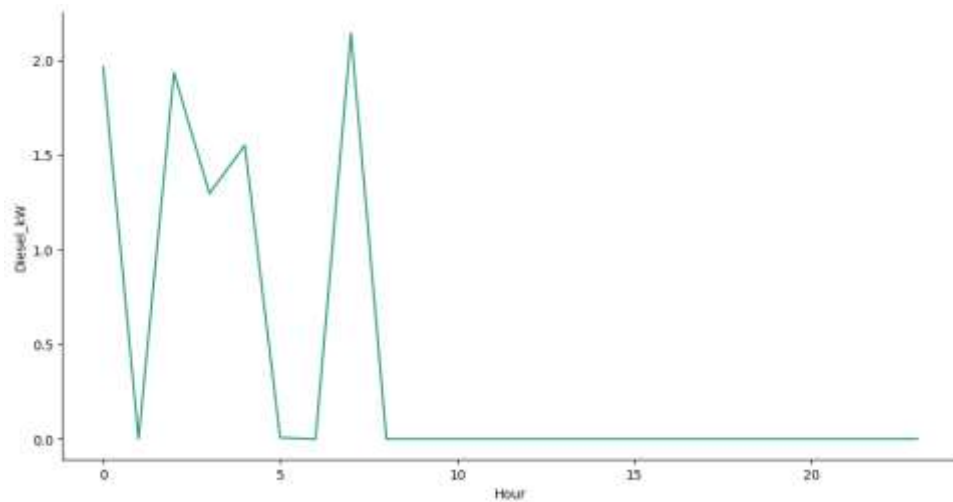
Hình 4.21. Biểu đồ phân bố công suất ESS Discharge khi mất lưới trong 24h

Nhận xét:

- ESS bắt đầu xả từ khoảng 0h đến 8h sáng, với các mức công suất dao động, đỉnh khoảng 2.0 kW – cho thấy ESS hỗ trợ tải vào thời điểm chưa có năng lượng mặt trời.
- Từ 9h đến 16h, ESS ngừng xả hoàn toàn – đây là khoảng thời gian PV hoạt động, đủ cung cấp điện và có thể đang sạc cho ESS.
- Từ sau 16h, ESS tiếp tục xả đều ở mức khoảng 2.0 kW, hỗ trợ hệ thống cấp điện vào buổi tối.
- Đường cong không dao động đột ngột, phản ánh quá trình xả được điều phối hợp lý, không gây lãng phí năng lượng.

Kết luận:

- ESS được sử dụng hiệu quả vào các khung giờ thiếu nguồn tái tạo, cho thấy chiến lược vận hành phù hợp. Hệ thống duy trì cấp điện ổn định trong cả ngày, khẳng định lưới vi mô hoạt động bình thường, linh hoạt, và đủ khả năng đáp ứng phụ tải mà không cần phụ thuộc vào lưới điện chính, đảm bảo tính tự chủ và độ tin cậy cao.



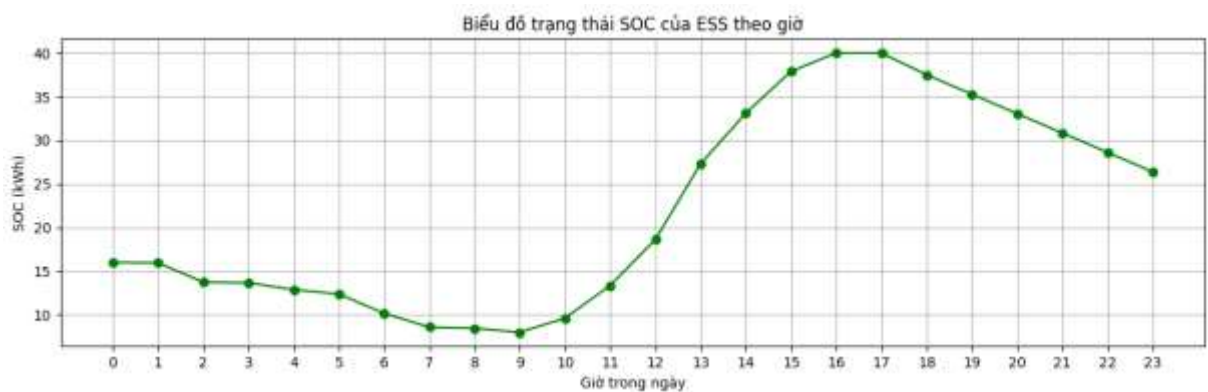
Hình 4.22. Biểu đồ phân bố công suất nguồn Diesel khi mất lưới trong 24h

Nhận xét:

- Diesel được sử dụng không liên tục trong khung giờ từ 0h đến khoảng 8h sáng, với các đỉnh công suất khoảng 2.0–2.2 kW.
- Sau 8h, diesel ngừng hoàn toàn, cho thấy các nguồn khác (PV, ESS) đã đủ đáp ứng tải.
- Việc diesel được kích hoạt từng thời điểm nhỏ cho thấy chiến lược điều phối tiết kiệm, chỉ dùng khi thật sự cần thiết, tránh lãng phí nhiên liệu.

Kết luận:

- Diesel chỉ được dùng vào sáng sớm khi thiếu hụt nguồn tái tạo, sau đó hệ thống hoàn toàn vận hành nhờ PV và ESS. Điều này chứng minh hệ thống vận hành ổn định, linh hoạt, đảm bảo cấp điện đầy đủ cho phụ tải mà không cần phụ thuộc vào lưới điện quốc gia, đồng thời tối ưu chi phí và giảm phát thải từ nhiên liệu hóa thạch.



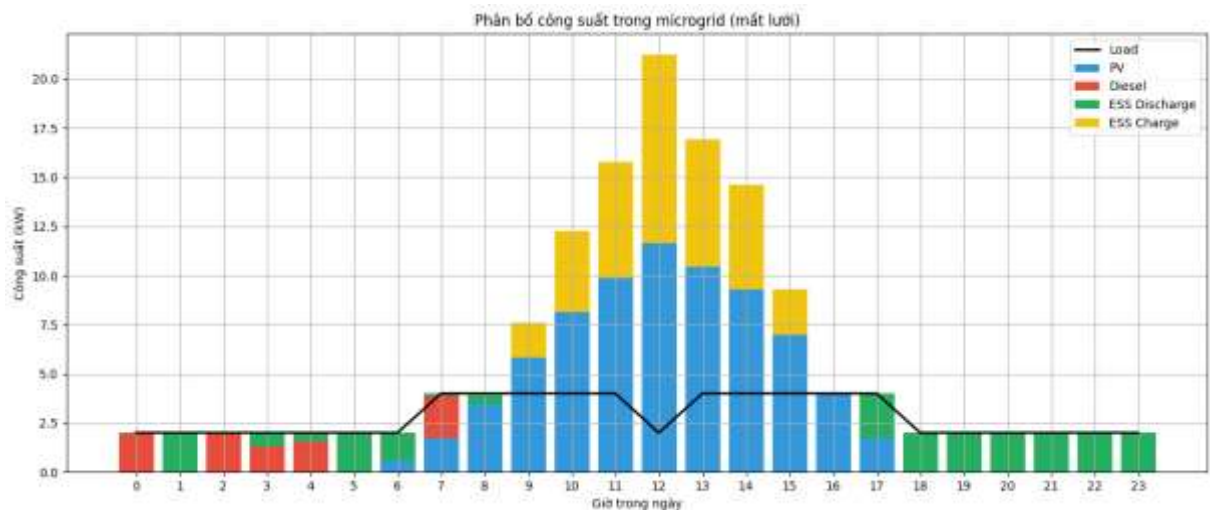
Hình 4.23. Biểu đồ trạng thái SOC khi mất lưới trong 24h

Nhận xét:

- Từ 0h đến 9h, SOC giảm dần từ khoảng 17 kWh xuống mức thấp nhất ~8 kWh, cho thấy ESS đang được xả để cấp điện vào ban đêm và sáng sớm.
- Từ 10h đến 16h, SOC tăng nhanh, đạt đỉnh ~40 kWh – đây là thời điểm ESS được sạc mạnh nhờ năng lượng mặt trời (PV).
- Sau 17h, SOC bắt đầu giảm từ từ, chứng tỏ ESS tiếp tục xả để cấp điện vào chiều tối và ban đêm

Kết quả:

- Quá trình sạc – xả của ESS được điều phối hợp lý theo thời điểm trong ngày. Hệ thống vận hành ổn định, ESS sạc vào ban ngày và xả vào ban đêm, giúp đáp ứng nhu cầu phụ tải mà không cần phụ thuộc vào lưới điện chính, thể hiện rõ tính tự chủ, hiệu quả và bền vững của hệ thống lưu trữ năng lượng.



Hình 4.24. Biểu đồ phân bố công suất tối ưu PSO cải tiến khi mất lưới trong 24h

Nhận xét:

- Tải (Load) được duy trì ổn định cả ngày, dao động quanh 2.5–4.5 kW.
- PV (xanh dương) là nguồn chính từ 8h đến 16h, với công suất cao nhất vào giữa trưa.
- ESS Charge (vàng) xuất hiện đồng thời với PV, cho thấy hệ thống ưu tiên sạc ESS khi dư năng lượng mặt trời.
- ESS Discharge (xanh lá) được dùng vào sáng sớm và chiều tối để hỗ trợ tải khi không có PV.

- Diesel (đỏ) chỉ được sử dụng vào đêm và sáng sớm (0h–7h), trong thời gian thiếu cả PV lẫn ESS.

- Không có điện lưới (do đang ở chế độ mất lưới), nhưng phụ tải vẫn được đáp ứng đầy đủ.

Kết luận:

- Hệ thống microgrid vận hành ổn định, sử dụng linh hoạt các nguồn PV, ESS và diesel để đảm bảo cấp điện liên tục trong điều kiện mất lưới hoàn toàn. Việc điều phối hiệu quả giúp đáp ứng đầy đủ nhu cầu phụ tải, giảm thiểu tối đa sử dụng diesel, không phụ thuộc vào lưới điện quốc gia, khẳng định tính tự chủ, bền vững và tối ưu chi phí của hệ thống.

4.4. So sánh và lựa chọn phương pháp điều khiển phù hợp

4.4.1. Đánh giá và so sánh hai phương pháp tối ưu LP và PSO

Để có cái nhìn toàn diện và trực quan, bảng sau đây tổng hợp các tiêu chí đánh giá chủ yếu giữa hai phương pháp LP và PSO được ứng dụng trong điều phối Microgrid:

Bảng 4.5. Bảng đánh giá so sánh giữa hai phương pháp LP và PSO

Tiêu chí	Linear Programming (LP)	Particle Swarm Optimization (PSO)
Nguyên lý tối ưu	Dựa trên mô hình toán tuyến tính, ràng buộc cứng	Heuristic dựa vào hành vi tập thể, linh hoạt theo thực tế
Khả năng thích nghi	Hạn chế, phụ thuộc vào mô hình đầu vào	Cao, tự điều chỉnh theo biến động tải và nguồn
Hiệu quả khai thác PV	Tốt trong giờ cao điểm, theo chiến lược định sẵn	Tối ưu theo thời điểm thực tế, tận dụng tối đa công suất PV
Hiệu quả vận hành ESS	Tuân theo mô hình lập trình tuyến tính	Linh hoạt theo trạng thái SOC và tải
Sử dụng Diesel	Có nhưng ít linh hoạt, chỉ định sẵn	Rất thấp, tối ưu sử dụng theo nhu cầu thiếu hụt thực sự
Vận hành khi mất lưới	Ổn định, đáp ứng tải với chiến lược định trước	Hiệu quả hơn, linh hoạt trong điều phối nguồn
Tự chủ năng lượng	Tốt	Rất cao, phù hợp cho hệ thống độc lập
Khả năng mở rộng và tích hợp AI	Khó tích hợp các yếu tố bất định	Dễ mở rộng, tích hợp với học máy và dữ liệu thời gian thực
Chi phí vận hành	Thấp xa	Thấp hơn nhờ điều phối tối ưu theo thời gian thực
Phù hợp triển khai	Hệ thống đơn giản, tải ổn định	MicroGrid phức tạp, biến động lớn.

Tổng quan đánh giá:

- LP phù hợp với các hệ thống có tải ổn định, mô hình hóa đơn giản và ít thay đổi theo thời gian. Nhờ khả năng giải bài toán tối ưu nhanh, LP thích hợp với các bài toán có cấu trúc rõ ràng, dữ liệu ít biến động và yêu cầu tính toán tuyến tính. Phương pháp này phù hợp để triển khai trong các hệ thống nhỏ, đơn năng lượng hoặc môi trường có tính ổn định cao.

- Trong khi đó, PSO nổi bật với khả năng điều phối tối ưu trong điều kiện vận hành thực tế có nhiều biến động như: thay đổi tải theo thời gian, năng lượng tái tạo không ổn định, hoặc các tình huống mất kết nối lưới. PSO mang lại sự linh hoạt cao, giúp hệ thống thích nghi nhanh với các kịch bản không định trước. Đây là phương pháp phù hợp cho các hệ thống điện hiện đại, đặc biệt là MicroGrid thông minh, nơi cần phản ứng tức thời và tối ưu hóa đa mục tiêu trong môi trường thay đổi liên tục.

4.4.2. Đánh giá hiệu quả khi mất lưới

- Trong điều kiện mất lưới, hệ thống MicroGrid vẫn đảm bảo cấp điện liên tục nhờ điều phối hợp lý giữa PV – ESS – Diesel.

- ESS được xả điện vào sáng sớm và chiều tối, sạc vào ban ngày từ nguồn PV, đảm bảo khả năng duy trì phụ tải mà không cần lưới điện quốc gia.

- PSO cho thấy khả năng tối ưu cao hơn LP trong vận hành độc lập (off-grid), giúp giảm thời gian dùng Diesel và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng tái tạo.

- Điều này chứng minh hệ thống MicroGrid hoàn toàn có thể triển khai hiệu quả tại các khu vực nông thôn, hải đảo, vùng sâu vùng xa, nơi lưới điện không ổn định hoặc không có.

4.4.3. Lựa chọn phương pháp điều khiển phù hợp

Đề án đề xuất sử dụng PSO làm phương pháp điều khiển chính cho hệ thống Microgrid tại PC Đà Nẵng, nhờ tính thích ứng cao, khả năng xử lý dữ liệu biến động, và hiệu quả tối ưu về kỹ thuật lẫn kinh tế.

CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Đồ án đã nghiên cứu, thiết kế và mô phỏng hệ thống Microgrid tại Trung tâm điều khiển PC Đà Nẵng, với các thành phần chính bao gồm: năng lượng mặt trời (PV), hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS), máy phát Diesel dự phòng và lưới điện quốc gia. Hệ thống được xây dựng nhằm tận dụng tối đa nguồn năng lượng tái tạo, giảm chi phí vận hành, đồng thời đảm bảo khả năng tự chủ và an toàn trong vận hành, kể cả khi xảy ra sự cố mất lưới điện.

Hai phương pháp điều khiển dòng công suất – Linear Programming (LP) và Particle Swarm Optimization (PSO) – đã được nghiên cứu và mô phỏng trên nền tảng Python. Kết quả cho thấy:

- LP cho phép giải nhanh, phù hợp với hệ thống ổn định nhưng hạn chế về tính linh hoạt.
- PSO thể hiện ưu thế vượt trội về khả năng thích nghi với điều kiện thực tế, khả năng tối ưu hóa toàn cục và vận hành ổn định trong nhiều kịch bản.

Việc triển khai hệ thống Microgrid tại PC Đà Nẵng, kết hợp với phương pháp điều khiển Particle Swarm Optimization (PSO), không chỉ mang lại giải pháp tối ưu về mặt kỹ thuật và kinh tế mà còn góp phần thúc đẩy xu hướng phát triển bền vững của ngành điện tại Việt Nam. Hệ thống Microgrid này có khả năng khai thác hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo sẵn có như năng lượng mặt trời, đồng thời linh hoạt phối hợp với hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS) và máy phát Diesel dự phòng để đảm bảo cấp điện liên tục và ổn định, kể cả trong những tình huống mất kết nối với lưới điện chính. Với phương pháp PSO, khả năng điều phối công suất giữa các nguồn được tối ưu hóa theo thời gian thực, giúp giảm chi phí vận hành, giảm phát thải khí nhà kính, và nâng cao độ tin cậy của hệ thống.

Đây không chỉ là một giải pháp mang tính lý thuyết mà còn có tính ứng dụng cao, mở ra cơ hội hiện thực hóa các mô hình Microgrid hiện đại, phù hợp với yêu cầu phát triển năng lượng sạch và bền vững của Việt Nam trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng và cuộc cách mạng công nghiệp 4.0. Mô hình được đề xuất có thể được mở rộng và nhân rộng cho nhiều khu vực khác, đặc biệt là các khu vực xa xôi, hải đảo, hoặc những nơi

có phụ tải nhạy cảm, yêu cầu cao về độ ổn định nguồn điện. Bên cạnh đó, việc kết hợp công nghệ điều khiển tiên tiến như PSO với các hệ thống giám sát, dự báo thời tiết và trí tuệ nhân tạo (AI) trong tương lai có thể nâng cao hơn nữa tính tối ưu, khả năng dự báo, và tự động hóa của hệ thống.

Với những đóng góp cả về lý thuyết lẫn thực tiễn, đề tài không chỉ thể hiện tính cấp thiết trong nghiên cứu và ứng dụng Microgrid tại PC Đà Nẵng mà còn khẳng định tính khả thi, sáng tạo và tính sẵn sàng để triển khai thực tế. Đây chính là minh chứng rõ ràng cho hướng đi tiên phong trong việc phát triển hệ thống điện hiện đại, tối ưu hóa năng lượng, đồng thời góp phần hiện thực hóa các cam kết về giảm phát thải khí nhà kính và phát triển bền vững của Việt Nam.

5.2. Đề xuất cải tiến và triển khai thực tế

- Tối ưu dung lượng và chiến lược ESS: Tránh tình trạng đầy/xả quá sớm, tăng khả năng lưu trữ và hỗ trợ tối đa cho phụ tải.
- Tích hợp hệ thống dự báo: Bổ sung bộ dự báo thời tiết, dự đoán phụ tải để nâng cao hiệu quả điều khiển.
- Kết hợp phương pháp điều khiển: Kết hợp PSO với các thuật toán khác như GA, DE hoặc ANN để hình thành chiến lược điều khiển lai, tăng hiệu quả và độ tin cậy.
- Triển khai thực tế tại PC Đà Nẵng: Tiến hành thử nghiệm mô hình Microgrid, áp dụng thuật toán PSO, kết hợp nâng cấp phần cứng (ESS, PV, bộ điều khiển SCADA) để tiến tới vận hành thực tế, đảm bảo mục tiêu vận hành xanh, bền vững và giảm phát thải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quốc hội Việt Nam. (2024). *Luật Điện lực số 58/2024/QH-15*.
- [2]. EVN. (2024). *Biểu giá bán lẻ điện áp dụng tại Việt Nam*.
- [3]. Nguyễn Văn Bình. (2022). Lập trình tuyến tính trong tối ưu hóa hệ thống năng lượng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, 60(5), 27–36.
- [4]. Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, 1942–1948.
- [5]. Zhang, P., Li, W., Wang, S., & Xiao, W. (2016). Real-time optimal control of microgrids with renewable energy sources. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(2), 1017–1025.
- [6]. Xue, Y., & Zhang, X. (2021). *Microgrid Control and Optimization*. Springer.
- [7]. Lasseter, R. H. (2002). *Microgrids*. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 1, 305–308.
- [8]. Mohammadi, M., Hosseinian, S. H., & Gharehpetian, G. B. (2014). Optimal operation management of microgrids using particle swarm optimization with smart grid consideration. *Electric Power Systems Research*, 116, 89–98.
- [9]. IRENA. (2020). *Innovation Landscape Brief: Behind-the-Meter Batteries*. International Renewable Energy Agency.
- [10]. Farret, F. A., & Simões, M. G. (2006). *Integration of Alternative Sources of Energy*. John Wiley & Sons.