

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM**

**TÔN NGỌC TRIỀU**

**MỞ RỘNG NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN VÀ BỘ DỰ TRỮ  
NĂNG LƯỢNG TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI**

Chuyên ngành: KỸ THUẬT ĐIỆN  
Mã số chuyên ngành: 9520201

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ**

**TP. HỒ CHÍ MINH – NĂM 2023**

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. TRƯỜNG VIỆT ANH

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS. TS. VŨ PHAN TÚ

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án Cấp Cơ sở họp tại

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM

vào ngày        tháng        năm

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Anh Viet Truong, **Trieu Ngoc Ton**, Thuan Thanh Nguyen and Thanh Long Duong, ‘Two states for optimal position and capacity of distributed generators considering network reconfiguration for power loss minimization based on runner root algorithm’, *Energies*, vol. 12, no. 1, p. 106, 2019 (SCIE – Q2, IF = 3.343).
2. **Trieu Ngoc Ton**, Thuan Thanh Nguyen, Viet Anh Truong, and Tu Phan Vu, ‘Optimal Location and Size of Distributed Generators in an Electric Distribution System based on a Novel Metaheuristic Algorithm’, *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 5325–5329, 2020, doi: 10.48084/etasr.3372 (ESCI).
3. Anh Viet Truong, **Trieu Ngoc Ton**, Thanh Long Duong, and Phan-Tu Vu, ‘Reconfigure the Distribution Network With Photovoltaic Connection to Minimize Energy Loss Based on Average Branch Power and an Advanced Branch Exchange Algorithm’, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 104572–104581, 2021, doi: 10.1109/access.2021.3098902 (SCIE – Q1, IF = 3.557).
4. **Trieu Ngoc Ton**, Thuan Thanh Nguyen, Viet Anh Truong, and Phan-Tu Vu, ‘Optimal location and operation of battery energy storage system in the distribution system for reducing energy cost in 24-hour period’, *Int Trans Electr Energ Syst*, Vol. e12861, No. February, pp. 1–17, 2021 (SCIE – Q2, IF = 2.860).
5. **Tôn Ngọc Triều**, Nguyễn Tùng Linh, Trương Việt Anh và Phạm Văn Lói, “Nâng cao công suất của hệ thống pin lưu trữ trên lưới điện phân phối có kết nối năng lượng mặt trời nhằm giảm chi phí,” *TNU J. Sci. Technol.*, vol. 226, no. 16, pp. 11–19, 2021 (ĐH Thái Nguyên).
6. **Tôn Ngọc Triều**, Trương Việt Anh, Vũ Phan Tú, ‘Áp dụng phương pháp Backward / Forward cải tiến trong bài toán tối ưu lưới điện phân phối có kết nối nguồn điện phân tán’, *Tạp chí phát triển KH&CN*, vol. 2, no. 2, 2019 (ĐH Quốc gia Tp. HCM).

### CÁC CÔNG BỐ LIÊN QUAN

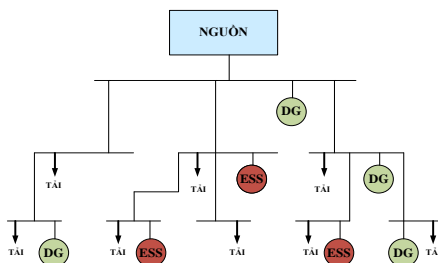
7. Nguyễn Tùng Linh, Nguyễn Thanh Thuận, **Tôn Ngọc Triều**, Trương Việt Anh, Nguyễn Anh Xuân, ‘Tối ưu vị trí và công suất nguồn điện phân tán có xét đến tái hình cấu hình lưới điện phân phối’, *Tạp chí phát triển KH&CN*, vol. 20, no. K7, pp. 5–14, 2017 (ĐH Quốc gia Tp. HCM).
8. Thuan Thanh Nguyen, **Trieu Ngoc Ton**, Thang Trung Nguyen, Thanh-Phuc Nguyen, and Ngoc Au Nguyen, ‘Optimization of location and size of distributed generations for maximizing their capacity and minimizing power loss of distribution system based on cuckoo search algorithm’, *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 1769–1776, 2021, doi: 10.11591/eei.v10i4.2278 (SCOPUS – Q3, IF = 1.87).
9. **Tôn Ngọc Triều**, Nguyễn Tùng Linh, Trương Việt Anh, Hoàng Ngọc Tuyền, ‘Tối ưu vị trí và công suất nguồn điện phân tán cho hệ thống điện phân phối hình tia không cân bằng sử dụng whale optimization algorithm’, *Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ Năng Lượng - Trường Đại Học Điện Lực*, vol. 27, pp. 1–13, 2021 (Trường ĐH Điện lực).
10. N. T. Thuan, **T. N. Trieu**, T. V. Anh, and D. T. Long, ‘Service restoration in radial distribution system using continuous genetic algorithm’, *Proceeding 2016 Int. Conf. advanced Technol. Sustain. Dev. ICATSD2016*, pp. 619–628, 2016 (Conference).

# CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU

## 1.1. Đặt vấn đề

Điện năng ngày càng đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo ổn định và phát triển ở mỗi quốc gia. Lưới điện phân phối (LĐPP) và tải có sự thay đổi trong những năm tới với yêu cầu mới. Để mở rộng LĐPP có thể nâng cấp hệ thống, xây dựng tuyến dây, lắp đặt trạm, mở rộng trạm, lắp đặt nguồn điện phân tán (DG) và lắp đặt bộ dự trữ năng lượng (ESS) [1]. Hiện nay, việc mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt DG hay ESS là xu thế tất yếu [2]. Chiến lược năng lượng hiện nay và sắp tới là tập trung khai thác nguồn năng lượng tái tạo (RES) và khí thiên nhiên, tiết kiệm năng lượng, năng lượng lưu trữ và chính sách thu hút trong đầu tư tư nhân. RES đang phổ biến vì có chi phí giảm mạnh và được nhiều chính sách hỗ trợ [3], [4].

ESS hiện đang phát triển và sử dụng ngày càng nhiều với các lợi ích khác nhau. Trong đó, lợi ích rất lớn từ việc giải quyết vấn đề trong giờ cao điểm mà hệ thống không đáp ứng nhu cầu hoặc chi phí mua năng lượng với chi phí cao. Năng lượng dư thừa được ESS lưu trữ ở thời điểm nhu cầu thấp và phát ra khi có nhu cầu cao [5]. Vì vậy, cần tối ưu lắp đặt ESS cho LĐPP để nâng cao hiệu quả vận hành LĐPP và các lợi ích khác. Thực tế, pin quang điện (PV) đã được lắp đặt theo điều kiện đầu tư hiện có và sẽ tiếp tục mở rộng thêm công suất. Vì vậy, LĐPP cần phải vận hành với cấu hình lưới có hiệu quả cao nhất.



**Hình 1. 1.** LĐPP có kết nối các DG và bộ ESS

DG và ESS thu hút rất nhiều nghiên cứu cho bài toán tối ưu mở rộng LĐPP [6], [7]. Khi có DG hoặc ESS thì LĐPP sẽ làm việc hiệu quả hơn, kiểm soát được giá mua điện [8], [9]. Vì vậy, bài toán cho LĐPP hiện nay là:

- Đối với LĐPP chưa có DG: Việc mở rộng LĐPP thông qua xác định vị trí và công suất DG tham gia vào hệ thống nhằm nâng cao hiệu quả của LĐPP.
- Đối với LĐPP đã có kết nối DG: Tiếp tục mở rộng công suất DG theo thời gian đầu tư, chính sách khuyến khích, vị trí lắp đặt và yếu tố môi trường.
- Đối với LĐPP có chi phí mua điện cao thì cần giảm chi phí và làm ổn định công suất của RES. Lắp đặt ESS, ngoài việc giảm giá điện và hỗ trợ RES thì giảm tổn thất năng lượng, dịch chuyển thời gian và giảm tải đỉnh cũng được xem xét.
- Đối với LĐPP cần khai thác nguồn năng lượng tại chỗ: Việc mở rộng LĐPP cần phải tối đa tỷ lệ DG tham gia và giảm chi phí đầu tư. Một trong các vấn đề kỹ thuật để giảm chi phí trong vận hành là cực tiểu tổn thất công suất [10].

Đề tài “Mở rộng nguồn điện phân tán và bộ dự trữ năng lượng trên lưới điện phân phối” với mục tiêu giải quyết bài toán như sau:

- Mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt DG để cực tiểu tổn thất công suất.
- Xác định cấu hình lưới khi PV mở rộng công suất để cực tiểu tổn thất năng lượng.
- Mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt ESS để giảm chi phí mua điện.
- Mở rộng tối đa công suất DG tham gia vào LĐPP.

## 1.2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết về LĐPP, DG và ESS.
- Nghiên cứu các bài toán mở rộng LĐPP thông qua kết nối DG và ESS.
- Mô phỏng, kiểm tra trên LĐPP mẫu và so sánh với các công bố khác.

## 1.3. Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu

- Mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt DG để cực tiểu tổn thất công suất.
- Xác định cấu hình lưới khi mở rộng công suất PV để cực tiểu tổn thất năng lượng.
- Kế hoạch mở rộng công suất DG tham gia vào lưới để cực tiểu tổn thất công suất.
- Tối ưu lắp đặt ESS để giảm chi phí mua năng lượng và giảm tổn thất năng lượng.

## 1.4. Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết: Tìm hiểu, phân tích và tổng hợp một số tài liệu.
- Mô phỏng trên MATLAB, ETAP, PSS-ADEPT.

## 1.5. Đóng góp của luận án

Luận án phân tích và đề xuất bài toán mở rộng LĐPP, mở rộng công suất của DG và công suất vận hành của ESS để nâng cao hiệu quả hoạt động của LĐPP. Luận án đề xuất ba bài toán mới và một bài toán áp dụng cho LĐPP Việt Nam:

**Bài toán 1:** Mở rộng LĐPP thông qua xác định vị trí và công suất tối ưu của DG có xét tái cấu hình lưới điện phân phối (DNR): Luận án đề nghị bài toán để giải quyết vấn đề tối ưu vị trí và công suất của DG thông qua hai giai đoạn. Giai đoạn I - tối ưu lắp đặt DG trong LĐPP kín và giai đoạn II - tối ưu khóa mở để LĐPP vận hành hở. Bài toán đề nghị thực hiện tối ưu lắp đặt DG có xét DNR với hàm mục tiêu là cực tiểu tổn thất công suất. Bài toán đề nghị là một dạng bài toán tối ưu mới trong tối ưu lắp đặt DG có DNR bên cạnh các dạng bài toán tối ưu lắp đặt DG có xét DNR khác như bài toán tối ưu đồng thời vị trí, công suất và DNR (bài toán đồng thời) và bài toán tối ưu vị trí trước và sau đó tối ưu công suất và DNR (bài toán VT-CS và DNR). Bài toán đề nghị có ưu điểm là đưa ra lời giải tối ưu toàn cục và giảm tham số cho thuật toán tối ưu bằng cách chia ra hai giai đoạn. Ngoài ra, bài toán đề nghị cho thấy phù hợp với việc lắp đặt DG trong dài hạn (thiết kế) được ưu tiên trước và việc DNR là ngắn hạn (vận hành) thực hiện sau. LĐPP 33 nút và 69 nút được kiểm tra và cho thấy tính hiệu quả của bài toán. Bài toán sử dụng thuật toán Runner Root Algorithm (RRA) thực hiện và so sánh với thuật toán Coyote Algorithm (COA) và Genetic Algorithm (GA). Kết quả cho thấy RRA, COA và GA là các thuật toán hiệu quả để tối ưu lắp đặt DG. Bài toán đề nghị cũng được so sánh với các bài toán đồng thời và bài toán VT-CS và DNR với các thuật toán khác nhau cũng cho thấy hiệu quả của bài toán. Các kết quả mô phỏng của bài toán đề nghị cho thấy tổn thất công suất toàn hệ

thống tương tự với bài toán đồng thời và tốt hơn bài toán VT- CS và DNR. Bài toán đề nghị đã được nghiên cứu và công bố trong công trình số [1], [5] và [7].

**Bài toán 2:** Xác định cấu hình LĐPP khi mở rộng công suất của pin quang điện (PV). Luận án đề nghị thuật toán trao đổi nhánh với công suất nhánh trung bình (CSNTB) cải tiến nhằm xác định cấu hình vận hành LĐPP khi PV được mở rộng công suất với mục tiêu cực tiểu tổn thất năng lượng. Ưu điểm của bài toán đề nghị là đơn giản, dễ thực hiện và chính xác trong việc xác định cấu hình của LĐPP khi PV được mở rộng công suất lắp đặt. LĐPP 18 nút và 33 nút được áp dụng thử nghiệm đã cho thấy phương pháp đề nghị là đơn giản, nhanh chóng xác định được cấu hình lưới và có độ chính xác cao khi so sánh với bài toán DNR theo phương pháp sử dụng CSNTB và đồ thị phụ tải bằng các thuật toán tối ưu. Bài toán đề nghị đã được nghiên cứu, thực hiện và công bố trong công trình số [2] và [10].

**Bài toán 3:** Áp dụng mở rộng LĐPP Chư Prông – Gia Lai của Việt Nam. LĐPP Chư Prông được áp dụng để mở rộng thông qua lắp đặt DG nhằm tối đa công suất tham gia và cực tiểu tổn thất công suất của hệ thống. Bài toán đề xuất ba giai đoạn lắp đặt DG tương ứng với ba vị trí và công suất khả thi cho phép lắp đặt của LĐPP Chư Prông. Thuật toán RRA, COA và GA được sử dụng hiệu quả cho bài toán 1 và được áp dụng để thử nghiệm cho vấn đề lắp đặt ba DG cho LĐPP Chư Prông không xét đến DNR. Từ kết quả tối ưu 3 DG cho LĐPP Chư Prông, luận án đề xuất một kế hoạch lắp đặt mở rộng DG cho LĐPP Chư Prông qua 3 giai đoạn nhằm phù hợp với vấn đề đầu tư và lắp đặt DG trong một thời gian dài. Bài toán đề nghị đã được nghiên cứu, thực hiện và công bố trong công trình số [3], [8] và [9].

**Bài toán 4:** Mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt pin dự trữ năng lượng (BESS) để giảm chi phí mua năng lượng. Luận án đưa ra bài toán xác định vị trí và công suất vận hành của BESS trên LĐPP nhằm giảm chi phí mua điện cũng như giảm chi phí tổn thất năng lượng. Bài toán đề nghị với điểm mới là đưa ra hàm mục tiêu là cực tiểu chi phí mua năng lượng và thuật toán Cuckoo Search (CSA) được áp dụng lần đầu tiên cho bài toán tối ưu vị trí và dung lượng của BESS. Tối ưu lắp đặt BESS vào hệ thống ngoài vấn đề giảm chi phí mua điện năng và chi phí tổn thất năng lượng thì BESS còn khai thác hiệu quả RES. LĐPP 18 nút và 33 nút có PV được thử nghiệm cho bài toán tối ưu lắp đặt BESS và đã cho thấy tính hiệu quả của bài toán. Bài toán đề nghị đã được nghiên cứu, thực hiện và công bố trong công trình số [4] và [6].

Các bài toán trong luận án đề nghị mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt và mở rộng công suất của DG và BESS nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của LĐPP. Đối với DG đã cho thấy giảm tổn thất công suất của hệ thống và đối với BESS cho thấy giảm chi phí mua điện năng rõ rệt.

## **1.6. Bố cục của luận án**

Chương 1: Giới thiệu

Chương 2: Tổng quan

Chương 3: Mở rộng sự thâm nhập của nguồn điện phân tán trên lưới điện phân phối

Chương 4: Mở rộng sự thâm nhập của bộ dự trữ năng lượng trên lưới điện phân phối

Chương 5: Kết luận

## CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN

### 2.1. Lưới điện phân phối (LĐPP)

Cấu trúc truyền thống của hệ thống điện có dạng dọc. Do đó, việc truyền tải từ nguồn điện đến hộ sử dụng điện sẽ gây ra tổn thất công suất lớn. Để nâng cao độ tin cậy thì cần hoạch định xây dựng lưới điện theo cấu trúc là mạch vòng và được vận hành theo cấu trúc hình tia. Cấu trúc mới của hệ thống điện là dạng ngang do có DG hay ESS và hệ thống sẽ thực hiện nhiệm vụ tốt hơn.

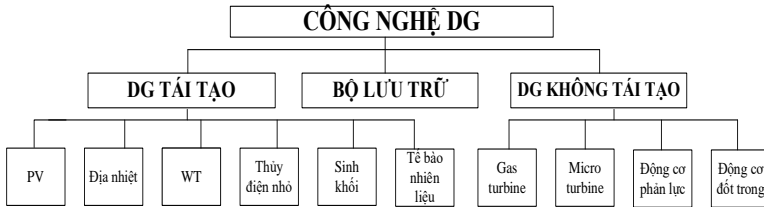
### 2.2. Nguồn phân tán (DG)

#### 2.2.1. Giới thiệu về DG

DG hiện nay được tích hợp vào LĐPP là rất phổ biến vì các lợi ích rất lớn [2], [11]. Các DG có công suất lớn là RES thường nối với lưới truyền tải. Vì điều kiện môi trường không thuận lợi có thể thiếu hụt điện năng. Để bù cho sự thiếu hụt này thì giải pháp lắp đặt DG công suất nhỏ là hữu hiệu với chi phí hợp lý [12], [13]. Do đó, LĐPP cần quy hoạch công suất và vị trí DG với mục tiêu phù hợp, trong đó tổn thất công suất là mục tiêu hàng đầu vì nó đánh giá được hiệu quả của các DG thâm nhập vào hệ thống [14].

#### 2.2.2. Công nghệ của DG

Công nghệ DG được mô tả như Hình 2.1 [11].



Hình 2.1. Các công nghệ của DG [11]

#### 2.2.3. Lợi ích của DG

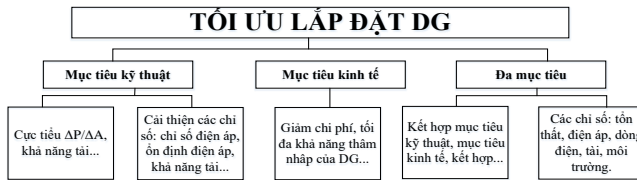
DG kết nối vào hệ thống có nhiều ưu điểm và lợi ích như ở Bảng 2.1 [15].

Bảng 2.1. Lợi ích của việc kết nối DG vào LĐPP

Kỹ thuật	Kinh tế	Môi trường
<ul style="list-style-type: none"><li>Giảm tổn thất công suất.</li><li>Cải thiện chất lượng.</li><li>Tăng độ tin cậy và an ninh.</li><li>Tự chủ cấp điện.</li><li>Tăng hiệu suất năng lượng.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Hoàn đầu tư.</li><li>Giảm các loại chi phí.</li><li>Hiệu suất nâng cao.</li><li>Giảm yêu cầu dự trữ.</li><li>Giảm rủi ro đầu tư.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Giảm phát thải.</li><li>Giảm tác động môi trường.</li><li>Khuyến khích RES.</li></ul>

#### 2.2.4. Mục tiêu lắp đặt DG

Hầu hết các nghiên cứu tối ưu lắp đặt DG với mục tiêu là cực tiểu tổn thất công suất là cơ bản và các mục tiêu khác sử dụng hỗ trợ như Hình 2.2.

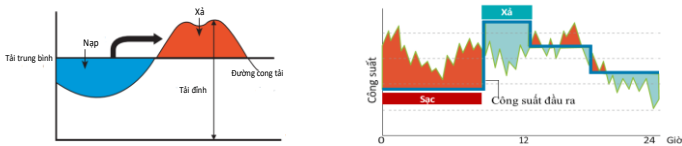


**Hình 2. 2.** Các mục tiêu khi tối ưu lắp đặt DG

## 2.3. Bộ dự trữ năng lượng (ESS)

### 2.3.1. Giới thiệu về ESS

Các ESS có ứng dụng hầu hết ở các khâu phát điện - truyền tải - phân phối- DG (RES) - khách hàng. ESS giúp điện năng luôn được cân bằng trong hệ thống. ESS là cấp thiết đối với ngành điện [16] và tạo ra cơ hội mới trong kinh doanh cũng như sự kết nối mới giữa người bán và mua [17]. Hiện nay, công nghệ ESS có ưu điểm đáp ứng yêu cầu mới với chi phí đầu tư đang giảm dần và có sinh lời [18]. ESS là giải pháp bền vững, tin cậy, hiệu quả và thân thiện [5]. Hình 2.3 thể hiện thời gian nạp/xả và san phẳng đồ thị với ESS [5], [19].



**Hình 2. 3.** Nạp/ xả và san phẳng đồ thị với ESS [5]

### 2.3.2. Công nghệ của ESS

Có nhiều công nghệ ESS khác nhau như cơ, nhiệt, điện hóa, tĩnh điện và từ tính, hóa học và hỗn hợp [18].

### 2.3.3. Lợi ích của ESS

Chuỗi giá trị điện truyền thống có năm liên kết: nhiên liệu - phát điện - truyền tải - phân phối - dịch vụ thì ESS trở thành liên kết thứ sáu là phản ứng nhanh. Bảng 2.2 thể hiện các lợi ích của việc kết nối ESS vào LĐPP.

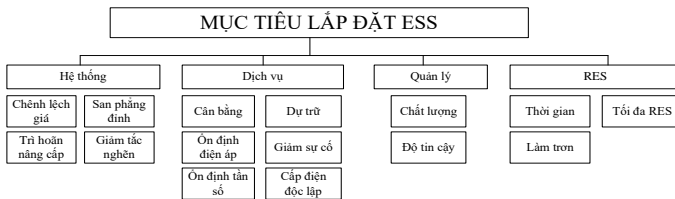
**Bảng 2. 2.** Các lợi ích của việc kết nối ESS vào LĐPP

Công ty truyền tải và phân phối	Người sử dụng điện	RES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoàn năng cấp và ổn định hệ thống.</li> <li>• San phẳng đỉnh tải, giảm dự phòng.</li> <li>• Thay thế năng lượng truyền thống.</li> <li>• Điều chỉnh tần số/ điện áp.</li> <li>• Đáp ứng yêu cầu ngoài hợp đồng.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tăng chất lượng điện.</li> <li>• Dịch chuyển thời gian.</li> <li>• Khai thác RES.</li> <li>• Chênh lệch giá.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tối đa RES.</li> <li>• Điều chỉnh điện áp/ tần số.</li> <li>• Tránh bị phạt.</li> <li>• Cân bằng tải.</li> </ul>

### 2.3.4. Mục tiêu lắp đặt ESS

Hình 2.4 thể hiện các mục tiêu lắp đặt ESS. Khi LĐPP có các ESS thì khách hàng kiểm soát chi phí mua điện năng và có thể chuyển đổi nguồn điện kết nối sao cho chi phí mua điện là thấp nhất [20].



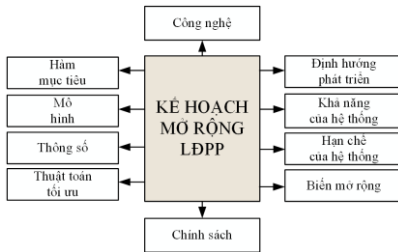


**Hình 2. 4.** Mục tiêu lắp đặt ESS

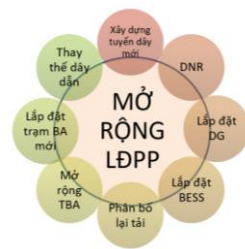
## 2.4. Phương pháp và thuật toán tối ưu lắp đặt DG và ESS

Thuật toán sử dụng trong tối ưu lắp đặt DG và ESS có hai nhóm cơ bản: thuật toán cổ điển và thuật toán thông minh nhân tạo [8].

## 2.5. Mở rộng lưới điện phân phối



**Hình 2. 5.** Kế hoạch mở rộng LDDP



**Hình 2. 6.** Biến mở rộng LDDP

LDDP và tải sẽ thay đổi đáng kể với yêu cầu mới như độ tin cậy, dịch vụ mong đợi, chi phí đầu tư, giá năng lượng và môi trường. Vì vậy, cần có kế hoạch mở rộng LDDP (DEP). DEP cần xét các đặc tính của tải mới, chi phí, DG và ESS, nhà cung cấp, đường dây, mở rộng trạm biến áp. Gần đây, một số nghiên cứu DEP thông qua lắp đặt hiệu quả DG/ESS là yếu tố chủ đạo [1]. Mở rộng LDDP thông qua lắp đặt DG/ESS để LDDP làm việc hiệu quả là một nhu cầu quan trọng và cấp thiết [21].

### 2.5.1. Mở rộng sự thâm nhập của DG vào LDDP

- Mở rộng LDDP thông qua việc lắp đặt mới DG vào LDDP:

Các kết hợp khác nhau về công suất, vị trí, số lượng và loại DG sẽ có những lợi thế khác nhau [1], [12]. Kế hoạch tối ưu LDDP là một quá trình hỗ trợ cung cấp năng lượng thông qua DG nhằm đạt được lợi ích tối đa của DG với chi phí tối thiểu [24]. Lợi ích được quan tâm nhất hiện nay là lắp đặt DG với mục tiêu là cực tiểu tổn thất công suất. Bởi vì, điều này thể hiện cho việc đánh giá hiệu quả của DG tham gia vào LDDP [25], [26]. Các nghiên cứu tích hợp tối ưu DNR với lắp đặt DG để tăng cường hiệu quả hoạt động của LDDP được nghiên cứu rất nhiều. Mặc dù, cả hai kỹ thuật đều góp phần giảm tổn thất. Việc thực hiện tối ưu kết hợp đồng thời thì các tham số của thuật toán sẽ phức tạp hơn so với việc giải quyết riêng lẻ. Khi kết hợp đồng thời, các biến điều khiển sẽ dài hơn, tốn nhiều thời gian và số lần lặp cho lời giải tối ưu. Vì thế, bài toán được tách ra hai giai đoạn với giai đoạn I là tối ưu lắp đặt DG trong LDDP kín và giai đoạn II là tối ưu các khóa mở để LDDP vận hành hở.

- Mở rộng công suất của DG đã được lắp đặt vào LDDP:

Các PV kết nối vào LĐPP với số lượng, công suất và vị trí như thiết kế ban đầu là rất khó khăn. LĐPP có PV sẽ tiếp tục mở rộng công suất nhưng không trên phương thức tối ưu vận hành. Lúc này, việc xác định cấu hình vận hành giảm tổn thất công suất là rất quan trọng. Trong đó, DNR là phương pháp hiệu quả cho vấn đề này. Bài toán cực tiểu tổn thất năng lượng được thay thế cho bài toán cực tiểu tổn thất công suất vì các lý do khác nhau [27], [28]. Các nghiên cứu hiện nay không xem xét đến sự ảnh hưởng từ công suất của DG tác động lên công suất nhánh của LĐPP. Điều này có thể dẫn đến cấu hình có tổn thất năng lượng không là cực tiểu. Khi công suất của DG tham gia vào LĐPP với công suất lớn thì ở một số thời điểm, hướng truyền công suất của một số nhánh có thể bị đổi hướng truyền. Do vậy, cần xem xét ảnh hưởng của công suất DG lên các nhánh của LĐPP để xác định cấu hình LĐPP đơn giản, nhanh chóng và chính xác khi mở rộng công suất của PV.

### **2.5.2. Mở rộng sự thâm nhập của ESS vào LĐPP**

Khi có ESS thì LĐPP dễ dàng kiểm soát, linh hoạt và cải thiện hệ thống [29]. Khi ESS xác định tối ưu thì mới phát huy hiệu quả, ngược lại ESS sẽ ảnh hưởng xấu đến hệ thống [30]. Tùy theo quan điểm của người vận hành (cấp điện độc lập, mở rộng LĐPP, khai thác năng lượng) hay quan điểm nhà đầu tư (ổn định RES, tránh phạt hợp đồng hay chênh lệch giá năng lượng) sẽ có mục tiêu cụ thể. Tối ưu ESS cần phải xét đến lợi nhuận dựa trên chênh lệch giá và cải thiện hệ thống.

## **2.6. Kết luận chương 2**

Chương 2 trình bày tổng quan về LĐPP, nguồn điện phân tán (DG), bộ dự trữ năng lượng (ESS) và vấn đề tích hợp DG/ ESS để mở rộng LĐPP. Trong chương 3 trình bày bài toán mở rộng sự thâm nhập của DG trên LĐPP thông qua lắp đặt mới DG để cực tiểu tổn thất công suất và bài toán xác định cấu hình vận hành của lưới điện khi mở rộng công suất của DG để cực tiểu tổn thất điện năng. Ngoài ra, chương 3 cũng đề xuất một kế hoạch mở rộng sự thâm nhập của DG cho LĐPP Chư Prông. Chương 4 trình bày bài toán mở rộng sự thâm nhập của ESS trên LĐPP để cực tiểu chi phí điện năng. Chương 5 trình bày kết luận và hướng phát triển của luận án.

# CHƯƠNG 3: MỞ RỘNG SỰ THÂM NHẬP CỦA NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

## 3.1. Giới thiệu

Bài toán tối ưu DG trên LĐPP với hàm mục tiêu chủ yếu là cực tiểu tổn thất công suất [31], [32].  $\Delta P$  và  $\Delta Q$  của nhánh x thể hiện như (3.1) và (3.2).

$$\Delta P_x = \left( \frac{P_x^2 + Q_x^2}{|V_x|^2} \right) R_x \quad (3.1)$$

$$\Delta Q_x = \left( \frac{P_x^2 + Q_x^2}{|V_x|^2} \right) X_x \quad (3.2)$$

Chương 3 này trình bày ba bài toán mở rộng sự thâm nhập của DG trên LĐPP:

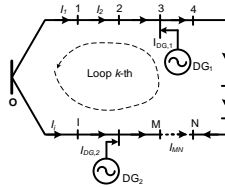
- Bài toán 1 trong phần 3.2 sẽ trình bày bài toán mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt DG có xét tái cấu hình lưới (DNR) với hàm mục tiêu là cực tiểu tổn thất công suất. Bài toán đề nghị giải quyết vấn đề qua hai giai đoạn. Giai đoạn I – tối ưu lắp đặt DG trong lưới điện kín và giai đoạn II – tối ưu các khóa mở để LĐPP vận hành hở.

- Bài toán 2 trong phần 3.3 sẽ trình bày bài toán xác định cấu hình LĐPP khi mở rộng công suất của pin quang điện (PV). Bài toán đề nghị sử dụng thuật toán trao đổi nhánh với công suất nhánh trung bình (CSNTB) cải tiến nhằm xác định cấu hình vận hành LĐPP khi PV mở rộng công suất với mục tiêu là cực tiểu tổn thất năng lượng.

- Bài toán 3 trong phần 3.4, phần này sẽ trình bày bài toán áp dụng mở rộng cho LĐPP Chư Phòng thông qua lắp đặt DG nhằm tối đa công suất tham gia của DG và cực tiểu tổn thất công suất của hệ thống.

## 3.2. Mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt DG có xét DNR

### 3.2.1. Mô tả bài toán



**Hình 3. 1.** LĐPP đơn giản một mạch vòng

Tổn thất công suất của LĐPP kín ( $\Delta P^{kín}$ ) và hở ( $\Delta P^{hở}$ ) như (3.3) và (3.4).

$$\Delta P^{kín} = \sum_{i \in OM}^{nbr} R_i I_i^2 + R_{MN} I_{MN}^2 + \sum_{i \in ON}^{nbr} (-I_i)^2 R_i \quad (3.3)$$

$$\Delta P^{hở} = \sum_{i \in OM}^{nbr} R_i (I_i - I_{MN})^2 + \sum_{i \in ON}^{nbr} R_i (I_i + I_{MN})^2 \quad (3.4)$$

$$\text{Đặt } R_{Loop} = \sum_{i \in OM}^{nbr} R_i + R_{MN} + \sum_{i \in ON}^{nbr} R_i$$

$$\Delta P^{hở} - \Delta P^{kín} = I_{MN}^2 R_{Loop} \quad (3.5)$$

$$\text{Hàm mục tiêu: } \Delta P = \sum_{i=1}^{nbr} R_i \times \left( \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right) \quad (3.6)$$

### 3.2.2. Tối ưu công suất và vị trí DG trên LĐPP có xét DNR

Ở phần này, vấn đề mở rộng LĐPP chỉ tập trung nghiên cứu vấn đề tối ưu lắp đặt vị trí và công suất của DG có xét DNR với hàm mục tiêu là cực tiểu tổn thất công suất. Bởi vì cực tiểu tổn thất công suất sẽ đánh giá hiệu quả của DG tham gia vào LĐPP [25], [26]. Hiện nay, các nghiên cứu về tối ưu lắp đặt DG trên LĐPP với hàm mục tiêu là cực tiểu tổn thất công suất là khá phổ biến và phần lớn là thuật toán tối ưu [33]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này tập trung việc tối ưu lắp đặt DG mà không xét DNR. Trong khi đó, DNR là kỹ thuật hiệu quả để giảm tổn thất công suất. Khi các DG tích hợp vào LĐPP thì cấu hình vận hành tối ưu sẽ thay đổi, cấu hình vận hành trước đó có thể không còn phù hợp. Do đó, cần phải xem xét một cách toàn diện lắp đặt DG kết hợp với DNR để LĐPP hoạt động hiệu quả. Hiện nay, bài toán tối ưu lắp đặt DG có xét DNR có rất nhiều nghiên cứu nhưng chủ yếu tập trung vào thuật toán metaheuristic vì nó giải quyết hiệu quả mức độ phức tạp và mang lại lời giải tối ưu toàn cục cho bài toán [34]. Có hai dạng bài toán như sau:

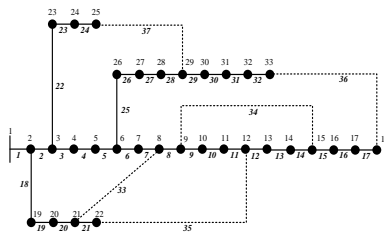
- Dạng thứ nhất là tối ưu vị trí trước, sau đó công suất DG và DNR. Các nghiên cứu [35], [36] là điển hình cho bài toán này. Tuy nhiên, đây là sự lắp ghép DNR và lắp đặt DG. Vị trí và công suất của DG sẽ phụ thuộc vào cấu hình ban đầu nhưng khi DNR thì vị trí và công suất của DG đã tối ưu có thể không phù hợp để cực tiểu tổn thất công suất. Vì vậy, dạng này dễ rơi vào cực trị địa phương.

- Dạng thứ hai là tối ưu đồng thời vị trí, công suất và DNR. Các nghiên cứu [37], [38] là điển hình của bài toán đồng thời. Bài toán dạng này thường đạt cực trị toàn cục. Tuy nhiên, yêu cầu giải quyết đồng thời cả hai vấn đề là không cần thiết vì lắp đặt DG đã tối ưu sẽ không còn là tốt nhất khi vị trí các khóa mở thay đổi. Việc thực hiện tối ưu đồng thời thì tham số của thuật toán phức tạp với biến điều khiển lớn hơn so với việc giải quyết vấn đề riêng lẻ để tìm ra lời giải tối ưu.

Vì vậy, bài toán cần tách ra hai giai đoạn: giai đoạn I - tối ưu lắp đặt DG trong LĐPP kín và giai đoạn II - tối ưu các khóa mở để LĐPP vận hành hở. Lúc này, bài toán đề nghị sẽ thực hiện đơn giản, nhanh hội tụ và lời giải tối ưu toàn cục với tham số đầu vào giảm hơn cho mỗi giai đoạn tối ưu và điều này cũng phù hợp với giai đoạn thiết kế và giai đoạn vận hành của LĐPP.

### 3.2.3. Kết quả kiểm tra

#### 3.2.3.1. LĐPP 33 nút



Hình 3. 2. Sơ đồ LĐPP 33 nút [39]

LĐPP 33 nút có 37 nhánh và 5 khóa mở {33; 34; 35; 36 và 37} như Hình 3.2 [39]. Bảng 3.1 và Bảng 3.2 cho thấy kết quả của bài toán đề nghị.

**Bảng 3. 1.** Các kết quả của bài toán hai giai đoạn - LĐPP 33 nút

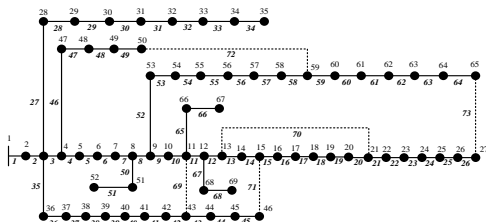
Thông số	Ban đầu	Bài toán đề nghị - Bài toán hai giai đoạn					
		RRA – Giai đoạn		COA – Giai đoạn		GA - Giai đoạn [40]	
		I	II	I	II	I	II
Khóa mở	33; 34; 35; 36; 37	-	33; 34; 11; 30; 28	-	33; 34; 11; 30; 28	-	33, 34, 11, 30, 28
PDG - MW (Nút số)	-	1,133(25) 0,815(32) 1,101(8)	1,133(25) 0,815(32) 1,101(8)	1,172(30) 0,754(14) 1,146(24)	1,172(30) 0,754(14) 1,146(24)	1,107(25) 0,823(32) 1,105(8)	1,107(25)0, 823(32) 1,105(8)
$\Delta P$ (kW)	202,68	41,905	53,313	42,342	54,035	41,9082	53,4274
% Giảm $\Delta P$	-	79,32	73,70	79,11	73,34	79,32	73,64
Thời gian (s)	-	25,078	9,316	25,078	9,316	130,49	39,54
Số lần lặp TB	-	245,2	18,50	284,6	28,56	260,4	25,5

Bảng 3.1 cho thấy tổn thất công suất ban đầu là 202,68 kW giảm xuống còn 41,905 kW ở giai đoạn I và giai đoạn II là 53,313 kW. Kết quả giai đoạn I cho thấy tổn thất công suất là tối thiểu vì đây là tổn thất của LĐPP kín. Ở giai đoạn I, tìm vị trí và công suất các DG trong LĐPP kín. Giai đoạn II, tìm khóa mở sao cho LĐPP hình tia với khóa mở là {33; 34; 11; 30; 28}. Vì vậy, ở giai đoạn II thì tổn thất công suất tăng lên 53,313 kW so với 41,905 kW ở giai đoạn I. Kết quả của bài toán hai giai đoạn bằng thuật toán RRA tương tự với các kết quả của các thuật toán COA và GA. Điều này, cho thấy bài toán đề nghị được thực hiện với các thuật toán khác nhau cùng cho kết quả tương tự. Bảng 3.2 cho thấy kết quả của các bài toán và các giải thuật khác nhau.

**Bảng 3. 2.** Kết quả tối ưu của các bài toán - LĐPP 33 nút

Thông số	Bài toán				
	Hai giai đoạn (RRA)	Đồng thời (RRA)	Đồng thời (CSA) [33]	VT-CS và DNR (FWA) [41]	VT-CS và DNR (HSA) [42]
Khóa mở	33; 34; 11; 30; 28	33; 34; 11; 30; 28	33; 34; 11; 31; 28	7; 14; 11; 32; 28	7; 14; 10; 32; 28
PDG - MW (Nút)	1,1326 (25) 0,8146 (32) 1,1011 (8)	1,12095 (25) 0,87689 (18) 0,96971 (7)	0,8968 (18) 1,4381 (25) 0,9646 (7)	0,5367 (32) 0,6158 (29) 0,5315 (18)	0,5258 (32); 0,5586 (31); 0,5840 (33)
$\Delta P$ (kW)	53,3129	50,825	53,21	67,11	73,05
% Giảm $\Delta P$	73,70	74,92	73,75	66,89	63,95
Số lần lặp TB	63,7	751,9	724,6	668,4	704,5
Thời gian (s)	34,39	46,39	52,4	64,3	74,8

### 3.2.3.2. LĐPP 69 nút



**Hình 3. 3.** Sơ đồ đơn tuyến của LĐPP 69 nút [39]

LĐPP 69 nút như Hình 3.3 có 73 nhánh và 5 khóa mở {69; 70; 71; 72; 73} [43]. Kết quả tối ưu được thể hiện ở Bảng 3.3 và Bảng 3.4.

**Bảng 3.3.** Các kết quả của bài toán hai giai đoạn - LĐPP 69 nút

Thông số	Ban đầu	Bài toán đề nghị - Bài toán hai giai đoạn					
		RRA – Giai đoạn		COA – Giai đoạn		GA – Giai đoạn	
		I	II	I	II	I	II
Khóa mở	69; 70; 71; 72; 73	-	69; 70; 12; 55; 63	-	69; 70; 12; 55; 63	-	69; 70; 12; 55; 62
PDG - MW (Nút số)	-	1,618(61) 0,771(50) 0,675(21)	1,618(61) 0,771(50) 0,675(21)	1,554(62) 0,824(50) 0,735(21)	1,618(62) 0,771(50) 0,675(21)	1,622(61) 0,743(50) 0,678(21)	1,622(61)0, 0,743(50) 0,678(21)
ΔP (kW)	224,89	28,89	39,31	29,32	40,02	28,89	39,33
% Giảm ΔP	-	87,15	82,52	85,53	80,25	85,75	80,60
Thời gian (s)	-	32,97	27,26	34,67	29,35	35,43	28,31
Số lần lặp TB	-	240,15	71,05	252,04	75,09	242,22	74,25

**Bảng 3.4.** Kết quả tối ưu của các bài toán - LĐPP 69 nút

Thông số	Bài toán				
	Hai giai đoạn (RRA)	Đồng thời (RRA)	Đồng thời (CSA) [33]	VT-CS và DNR (FWA) [41]	VT-CS và DNR (HSA) [42]
Khóa mở	69; 70; 12; 55; 63	69; 70; 14; 55; 61	69; 70; 14; 58; 61	69; 70; 13; 55; 63	69; 17; 13; 58; 61
PDG (MW) (Nút số)	1,6175 (61) 0,7710 (50) 0,6752 (21)	0,5161 (64) 1,45167 (61) 0,53696 (11)	0,5413 (11) 0,5536 (65) 1,7240 (61)	1,1272 (61) 0,2750 (62) 0,4159 (65)	1,0666 (61) 0,3525 (60) 0,4257 (62)
ΔP (kW)	39,31	35,193	37,02	39,25	40,3
% Giảm ΔP	82,52	84,35	83,54	82,55	82,08
Số lần lặp TB	311,15	807,15	796,9	840,6	860,2
Thời gian (s)	60,23	184,26	186,9	203,2	235,7

Kết quả của bài toán hai giai đoạn ở LĐPP 69 nút như ở Bảng 3.3. Với tổn thất công suất ban đầu là 224,89 kW giảm xuống còn 28,89 kW ở giai đoạn I và 39,31 kW ở giai đoạn II. Kết quả của bài toán hai giai đoạn bằng thuật toán RRA tương tự với các kết quả của các thuật toán COA và GA. Điều này, cho thấy bài toán đề nghị được thực hiện với các thuật toán khác nhau cùng cho kết quả tương tự với nhau. Bảng 3.4 cho thấy kết quả của các bài toán khác nhau và các giải thuật khác nhau.

### 3.2.4. Kết luận

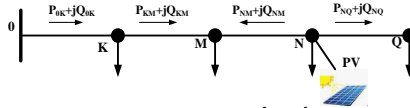
Ở phần 3.2 đề xuất bài toán tối ưu lắp đặt DG có DNR qua hai giai đoạn để mở rộng LĐPP. Bài toán đề nghị cho thấy hiệu quả khi thực hiện kiểm tra trên hai LĐPP 33 nút và 69 nút bằng các thuật toán RRA, COA và GA có kết quả là tương tự nhau. Kết quả kiểm tra cũng cho thấy bài toán đề nghị có kết quả tương đương với bài toán tối ưu đồng thời và tốt hơn bài toán VT-CS và DNR. Bài toán đề nghị đã giải quyết hai vấn đề riêng lẻ giúp thuật toán tối ưu đơn giản, rút ngắn thời gian tính và hiệu quả trong từng giai đoạn thiết kế và vận hành. Bài toán đề nghị nghiên cứu, thực hiện và công bố trong công trình số [1], [5] và [7].

### 3.3. Xác định cấu hình vận hành LĐPP khi mở rộng công suất DG

Một phương pháp đề nghị để giải quyết bài toán DNR là sử dụng CSNTB cải tiến. Phương pháp này dựa vào hệ số phụ tải để xác định CSNTB cải tiến thông qua việc bổ sung một lượng công suất ở các nhánh có PV tham gia. Việc bù công suất cho các nhánh để CSNTB chính xác và giúp cho DNR chính xác.

#### 3.3.1. Mô hình toán học

Công thức (3.7) thể hiện mục tiêu bài toán DNR giảm tổn thất điện năng [44].



**Hình 3. 4.** LĐPP có kết nối với PV

$$\text{Min: } \Delta A(X) = \sum_{m=1}^M t_m \times \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \times \left( \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right) \quad (3.7)$$

Công thức (3.8) là độ lệch tổn thất công suất nhánh MN giữa lưới kín và hở [39].

$$\delta P_{MN} = \Delta P_{h\ddot{o}} - \Delta P_{k\ddot{i}n} = I_{MN\text{peak}}^2 R_{\text{Loop}} \quad (3.8)$$

$$\delta A_{MN} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{iMN} T_i \quad (3.9)$$

$$= 24 \frac{R_{\text{Loop}}}{V^2} \left( \left( \frac{P_{MN\text{avg}}}{LF} \right)^2 + \left( \frac{Q_{MN\text{avg}}}{LF} \right)^2 \right) (aLF + (1-a)LF^2) \quad (3.10)$$

Từ (3.10),  $\delta A$  được xác định thông qua CSNTB ( $P_{BR\text{avg}}$ ) và hệ số tải LF [45].

**Trường hợp 1:** CSNTB ( $P_{BR\text{avg}}$ ) trên nhánh truyền một chiều từ nguồn đến tải được tính theo công thức (3.11)

$$\sum_{ie0C} P_{BR\text{avg}} = \frac{\sum_{ie0A}(P_{\text{Load}t_i} - P_{PVt_i})}{\sum_{ie0A} t_i} + \frac{\sum_{ieAB}(P_{PVt_i} - P_{\text{Load}t_i})}{\sum_{ieAB} t_i} + \frac{\sum_{ieBC}(P_{\text{Load}t_i} - P_{PVt_i})}{\sum_{ieBC} t_i} \quad (3.11)$$

**Trường hợp 2:** CSNTB cải tiến ( $P_{BR\text{avg}}^N$ ) trên nhánh truyền khi có PV. Lúc này công suất truyền hai chiều, được tính như (3.12)

$$\sum_{ie0C} P_{BR\text{avg}}^N = \frac{\sum_{ie0A}(P_{\text{Load}t_i} - P_{PVt_i})}{\sum_{ie0A} t_i} - \frac{\sum_{ieAB}(P_{PVt_i} - P_{\text{Load}t_i})}{\sum_{ieAB} t_i} + \frac{\sum_{ieBC}(P_{\text{Load}t_i} - P_{PVt_i})}{\sum_{ieBC} t_i} \quad (3.12)$$

Chúng ta có  $P_{BR\text{avg}}^N$  từ (3.11) và (3.12) khi kết nối với PV như (3.13).

$$\begin{aligned} \sum_{ie0C} P_{BR\text{avg}}^N &= \sum_{ie0C} P_{BR\text{avg}} + 2 \frac{\sum_{ieAB}(P_{\text{Load}t_i} - P_{PVt_i})}{\sum_{ieAB} t_i} \\ &= \sum_{ie0C} P_{BR\text{avg}} + 2P_{BR\text{avg}AB} = \sum P_{BR\text{avg}} + P_{BR\text{neg}} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Xét một tam giác cân có đáy là AB và đường cao  $P_s^{12h}$ . Ta có:

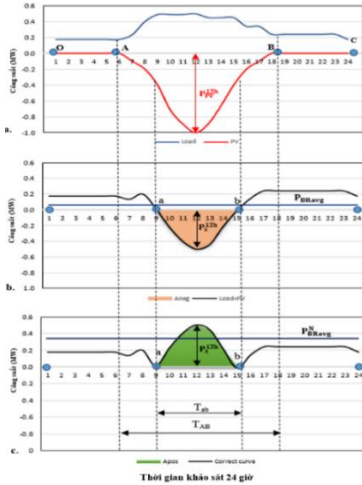
$$\begin{aligned} A_{\text{neg}} &= 24P_{BR\text{neg}} = \frac{(P_s^{12h})^2 T_{PV}}{2P_{PV}^{12h}} \\ \Leftrightarrow P_{BR\text{neg}} &= \frac{(P_s^{12h})^2 T_{PV}}{2P_{PV}^{12h} \cdot 24} \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$P_{BRavg}^N = P_{BRavg} + P_{BRneg} \quad (3.15)$$

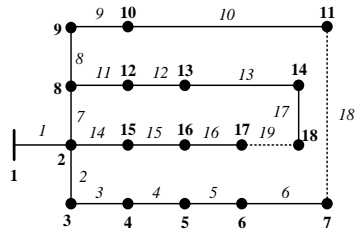
$\Delta A$

$$= \frac{24R_{Loop}}{V_i^2} \left( \left( \frac{P_{BRavg}^N}{LF} \right)^2 + \left( \frac{Q_{BRavg}}{LF} \right)^2 \right) (aLF) \quad (3.16)$$

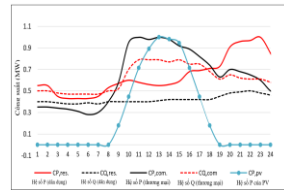
$$+ (1 - a)LF^2$$



Hình 3. 5. Công suất của tải và PV



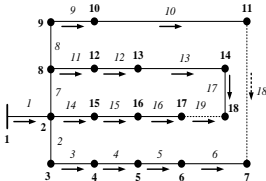
Hình 3. 6. Sơ đồ LDP18 nút



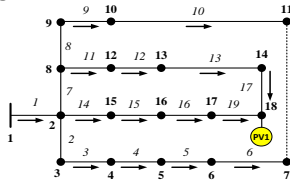
Hình 3. 7. Đồ thị tải và PV

Xét LDP 10 kV có 18 nút: 19 nhánh, 17 khóa đóng và 2 khóa mở {17, 18}. Thử nghiệm 2 kịch bản DNR với công suất PV đã được lắp đặt và mở rộng.

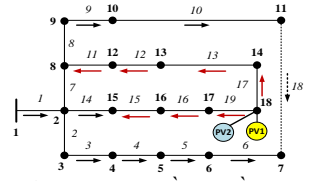
**Trường hợp 1:** LDP mở rộng với PV1 tại nút 18 với  $P_{PV1} = 560$  kW. Do PV có công suất nhỏ nên không ảnh hưởng nhiều đến CSNTB các nhánh của LDP và có kết quả của phương pháp CSNTB và CSNTB cải tiến là giống nhau. Hình 3.9 cho thấy hướng truyền công suất của các nhánh khi có PV. Bảng 3.5 cho thấy kết quả thử nghiệm với trường hợp ban đầu và  $P_{BRavg}^N$ .



Hình 3. 8. Chiều truyền công suất khi không có PV



Hình 3. 9. Chiều truyền của công suất khi có PV1



Hình 3. 10. Chiều truyền của công suất khi thêm PV2

**Bảng 3. 5.** Khóa mở trong trường hợp PV có công suất 560 kW

Trường hợp	$P_{PV1}$ (kW)	$P_{PV2}$ (kW)	$P_{PV}$ (kW)	Khóa mở	$\Delta A$ (kWh)
Ban đầu – không PV	-	-	-	{18, 19}	1514,0
Ban đầu – có PV	560	-	560	{18, 19}	1345,5
CSNTB	560	-	560	{17, 18}	1325,1
CSNTB cải tiến	560	-	560	{17, 18}	1325,1



**Trường hợp 2:** LDPP có  $P_{PV1}$  và mở rộng  $P_{PV2} = 2440$  kW tại nút 18. Bảng 3.6 và Bảng 3.7 cho thấy kết quả CSNTB, CSNTB cải tiến và  $\Delta A$  của các nhánh của 2 vòng kín. Do tác động của PV đến các nhánh của LDPP sẽ làm  $\Delta A$  không chính xác. CSNTB cải tiến là phương pháp đơn giản, dễ thực hiện và kết quả chính xác.

**Bảng 3. 6.** Các thông số khi PV lắp đặt thêm tại nút 18 với  $P_{PV2} = 2440$  kW

Nhánh	Khóa	Đổi hướng	$P_{BRneg}(kW)$	$P_{BRavg}(kW)$	$P_{BRavg}^N(kW)$	$\Delta A(Wh)$
2 - 15	14	Không	0	1046,5	1046,5	642,8
15 - 16	15	Có	4,5	658,9	663,4	266,9
16 - 17	16	Có	40,65	272,4	313,1	66,1
17 - 18	19	Có	114,8	<b>120,2</b>	<b>235</b>	<b>32,7</b>
14 - 18	17	Có	410,3	307,8	718,1	279,4
13 - 14	13	Có	227,1	<b>51,4</b>	<b>278,5</b>	<b>41,6</b>
12 - 13	12	Có	74	269	343,0	72,6
8 - 12	11	Có	11,8	525,7	537,5	181,9
2 - 8	7	Không	0	1651	1651	1650

**Bảng 3. 7.** Khóa mở trong trường hợp khi mở rộng PV2 với  $P_{PV2} = 2440$  kW

Trường hợp	$P_{PV1}(kW)$	$P_{PV2}(kW)$	$P_{PV}(kW)$	Khóa mở	$\Delta A(kWh)$
Ban đầu – không PV	-	-	-	{18, 19}	1514,0
Ban đầu – có PV	560	2440	3000	{18, 19}	1196,5
CSNTB	560	2440	3000	{18, 13}	1312,0
CSNTB cải tiến	560	2440	3000	{18, 19}	1196,5

### 3.3.2. Thuật toán trao đổi nhánh cải tiến cho vấn đề DNR có kết nối PV

Trong (3.16),  $\Delta A_i$  và  $\Delta A_j$  là độ lệch cho vòng lặp thứ  $i$  và  $j$  như (3.17) và (3.18).

$$\Delta A_i = \Delta A_{initial} - \Delta A_i \quad (3.17)$$

$$\Delta A_j = \Delta A_{initial} - \Delta A_j \quad (3.18)$$

Ta có: công thức (3.18) - công thức (3.19)  $\Delta A_i - \Delta A_j = \Delta A_j - \Delta A_i$  (3.19)

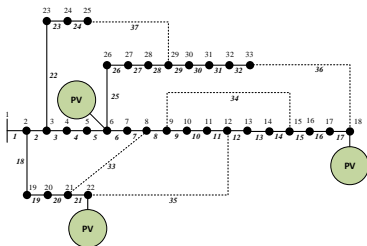
Từ công thức (3.20), cho thấy: Nếu  $\Delta A_i > \Delta A_j$  thì  $\Delta A_i < \Delta A_j$  (3.20)

### 3.3.3. Kết quả kiểm tra

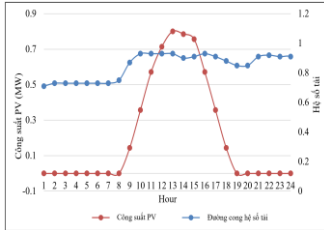
LDPP 12,66 kV có 33 nút: 37 nhánh với 32 khóa đóng và 5 khóa mở {33, 34, 35, 36, 37} như ở Hình 3.11. Hình 3.13 cho thấy thuật toán trao đổi nhánh cải tiến. Phương pháp đề nghị được kiểm tra đối với LDPP 33 nút cho thấy phương pháp đơn giản, thời gian tính toán nhỏ và độ chính xác cao.

**Bảng 3. 8.** Kết quả DNR của phương pháp đề xuất cho LDPP 33 nút

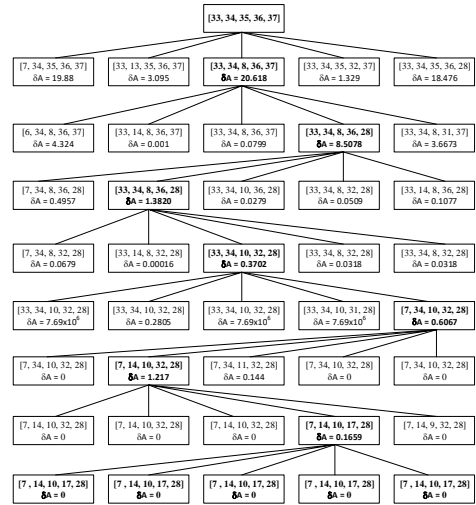
Phương pháp	Khóa mở	$\Delta A(kWh)$
Ban đầu	{33, 34, 35, 36, 37}	3304,82
Phương pháp đồ thị	{7, 9, 14, 32, 37}	2243,98
EP [46]	{7, 10, 14, 31, 37}	2334,28
GSA [46]	{7, 10, 14, 17, 28}	2075,51
Phương pháp đề nghị	{7, 10, 14, 17, 28}	2075,51



Hình 3. 11. LĐPP 33 nút



Hình 3. 13. Đồ thị phụ tải và PV



Hình 3. 12. Quá trình tối ưu LĐPP 33 nút có PV

### 3.3.4. Kết luận

Bài toán đề nghị đã cải tiến CSNTB để có giá trị chính xác cho độ lệch tổn thất công suất giữa vòng kín và vòng hở trong LĐPP và độ lệch tổn thất năng lượng giữa các cấu hình khác nhau. Từ đó, xác định được chính xác cấu hình có tổn thất năng lượng là nhỏ nhất. Ưu điểm của bài toán là đơn giản, dễ thực hiện và chính xác trong việc xác định cấu hình của LĐPP. Bài toán đề nghị đã được nghiên cứu, thực hiện và công bố ở công trình số [2].

### 3.4. Mở rộng nguồn điện phân tán cho LĐPP Chư Prông – Gia Lai

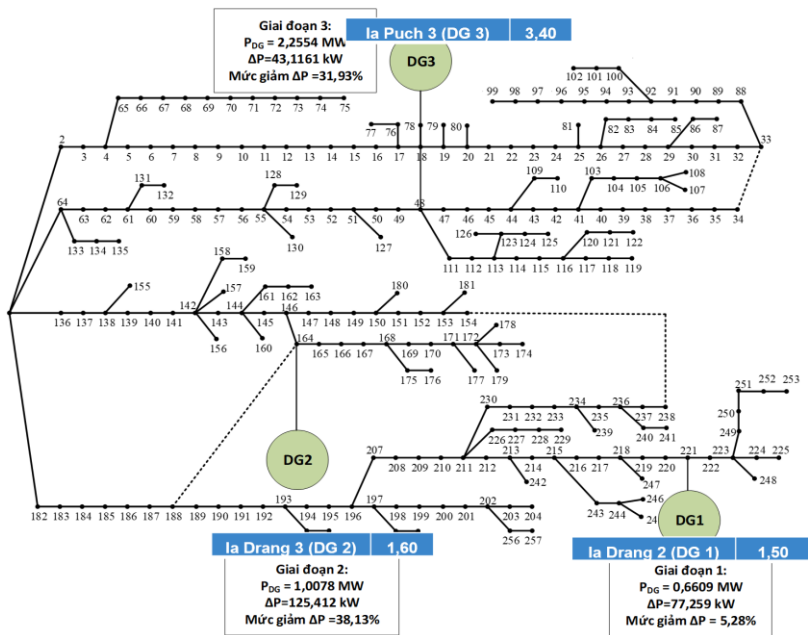
LĐPP Chư Prông có 257 nút, 259 nhánh, tải là 8,6357 MW và ba khóa mở {33 - 34, 154 - 238, 164 - 182}. Bảng 3.9 cho thấy các DG lắp đặt khả thi ở một số nút trong hệ thống với công suất của DG cho phép kết nối [47]. LĐPP Chư Prông có 3 DG được kết nối với số lượng, công suất và vị trí đã được tối ưu như Hình 3.14.

**Bảng 3. 9.** Vùng và công suất cho phép DG kết nối - LĐPP Chư Prông [47]

STT	DG được kết nối	P (MW)	Nút khả thi kết nối DG
1	Ia Drang 2 (DG 1)	1,50	221, 222, 223
2	Ia Drang 3 (DG 2)	1,60	164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173
3	Ia Puch 3 (DG 3)	3,40	34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51

**Bảng 3. 10.** Các giai đoạn lắp đặt DG vào LĐPP Chư Prông

Thông số	Ban đầu	COA	RRA	GA
$P_{DG}$ (MW)	-	0,661 (221); 1,489 (164); 2,256 (48)	0,731 (221); 1,502 (164); 2,156 (48)	0,682 (221); 1,385 (164); 2,188 (48)
Tổng $P_{DG}$	-	4,406	4,389	4,255
$\Delta P$ (kW)	81,566	43,116	45,426	46,421
$V_{min}$ (pu) - nút	0,9717- 99	0,9717 - 99	0,9717 - 99	0,9717 - 99
$V_{max}$ (pu)	1,0 (nút 1)	1,0 (nút 1)	1,0 (nút 1)	1,0 (nút 1)
LBI	0,00441	0,00141	0,00144	0,00144
$(I/I_{dm})_{max}$	0,28341	0,17231	0,17245	0,17265



**Hình 3. 14.** LĐPP Chư Prông với 3 giai đoạn lắp đặt mở rộng DG

### 3.5. Kết luận chương 3

Trong phần này, LĐPP Chư Prông – Gia Lai của Việt Nam được áp dụng để mở rộng thông qua lắp đặt DG nhằm tối đa công suất thâm nhập và cực tiểu tổn thất công suất của hệ thống. Bài toán đề xuất 3 giai đoạn lắp đặt DG tương ứng với 3 vị trí và công suất khả thi cho phép lắp đặt vào LĐPP Chư Prông. Thuật toán COA, RRA và GA được sử dụng hiệu quả cho bài toán 1 và tiếp tục được áp dụng để thử nghiệm cho vấn đề lắp đặt ba DG cho LĐPP Chư Prông. Từ kết quả ba DG đã được tối ưu, luận án đề xuất một kế hoạch lắp đặt mở rộng DG cho LĐPP Chư Prông qua 3 giai đoạn nhằm phù hợp với vấn đề đầu tư và lắp đặt DG trong thời gian tối. Bài toán đề nghị đã được nghiên cứu, thực hiện và công bố trong công trình số [3], [8] và [9].

# CHƯƠNG 4: MỞ RỘNG SỰ THÂM NHẬP CỦA BỘ DỰ TRỮ NĂNG LƯỢNG TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

## 4.1. Giới thiệu

Bộ dự trữ năng lượng (ESS) có nhiều công nghệ khác nhau. Trong đó, pin dự trữ năng lượng (BESS) được sử dụng nhiều cho LĐPP vì thời gian đáp ứng, khả năng lưu trữ và tính độc lập [48]. Pin lithium-ion là loại đáng chú ý nhất vì thời gian đáp ứng nhanh, trọng lượng thấp, kích thước nhỏ, dễ lắp đặt và tiết kiệm [49], [50].

$$P_S(t) = P_G(t) - P_L(t) \quad (4.1)$$

$$W_S(t) = \int_0^t P_S(\tau) d\tau \quad (4.2)$$

Trong giai đoạn sạc:  $E_{t+1} = E_t + P_t \eta$  (4.3)

Trong giai đoạn xả:  $E_{t+1} = E_t - P_t$  (4.4)

BESS đóng một vai trò nổi bật trong chuỗi hoàn chỉnh của hệ thống điện: phát điện - truyền tải - phân phối - tải. Nó tạo ra một cơ chế phản ứng nhanh trong chuỗi cung ứng mới của ngành điện.

- Chênh lệch giá năng lượng:  $P_i = P_i^+ - P_i^-$  với  $i = 1 \dots 24$  (4.5)

Trong thời gian sạc của BESS thì  $P_i = -P_i^-$  và trong thời gian xả thì  $P_i = P_i^+$ . Vì vậy, lợi ích thông qua chênh lệch giá theo các thời điểm như công thức (4.6).

$$T_1 = \sum_i (P_i^+ - P_i^-) C_i \quad (4.6)$$

- Giảm chi phí truy cập đường truyền:  $T_2$  là lợi ích của việc giảm chi phí:

$$T_2 = \sum_{i \in \{\text{thời gian phí thấp}\}} (P_i^+ - P_i^-) C_a + \sum_{i \in \{\text{thời gian phí cao}\}} (P_i^+ - P_i^-) C_b + \sum_{i \in \{\text{thời gian phí trung bình}\}} (P_i^+ - P_i^-) C_c \quad (4.7)$$

**Bảng 4.1.** Chi phí đường truyền theo thời gian

Chi phí truy cập đường truyền	Phí (\$ / kW - tháng)
Khoảng thời gian với chi phí thấp	$C_a$
Khoảng thời gian với chi phí cao	$C_b$
Khoảng thời gian với chi phí trung bình	$C_c$

BESS là một công cụ hữu hiệu để giảm chi phí mua năng lượng và điều chỉnh các vị phạm ràng buộc kỹ thuật, BESS là một thành phần để cải thiện hiệu suất của RES bằng cách dịch chuyển thời gian sử dụng năng lượng.

## 4.2. Mô tả bài toán

Hàm mục tiêu trong tối ưu vị trí và công suất vận hành của BESS trong 24 giờ được xác định như công thức (4.8):

$$OF(S) = \sum_{i=1}^{24} (P_{s,i} + P_{loss,i}) C_i \quad (4.8)$$

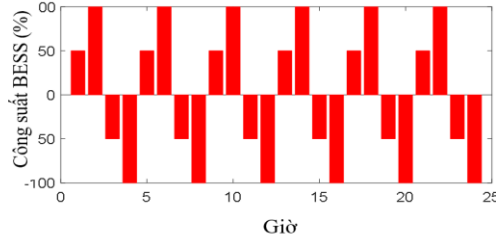
Với  $P_{s,i}$  là công suất được mua từ hệ thống ở khoảng thời gian thứ  $i$ ,  $P_{loss,i}$  là tổn thất công suất ở khoảng thời gian thứ  $i$  và  $C_i$  là giá điện ở khoảng thứ  $i$ .

$K$  là giải pháp cho công suất vận hành và vị trí của BESS, công thức (4.9):

$$K = [x_1, x_2, \dots, x_{25}] \quad (4.10)$$

Ở đây, biến đầu tiên sẽ là vị trí và các biến còn lại là công suất vận hành của BESS. Với các biến này là  $P_{dm}$  của BESS (tính theo giá trị %) và công suất BESS trong mỗi khoảng thì dung lượng lưu trữ tương ứng với  $S$  như công thức (4.11).

$$BESS_{capacity}(S) = \max(|\text{cumulative\_sum}(x_2, \dots, x_{25})|) \quad (4.11)$$



**Hình 4. 1.** Các giá trị trong một giải pháp điển hình của BESS

Với giá định  $P_{dm}$  của BESS là 1 MW. Như vậy, để vận hành ở trường hợp này thì dung lượng phải đạt là 150%  $P_{dm}$  tức là 1,5 MWh. Để hiệu quả, thì năng lượng tích lũy trong thời gian 24 giờ là bằng không. Do đó, bài toán tối ưu vị trí và công suất vận hành của BESS cần thỏa mãn điều kiện ràng buộc ở công thức (4.12).

$$\sum_{i=1}^{24} P_{BESS,i} = 0 \quad (4.12)$$

Các ràng buộc trong công thức (4.14) cần phải xem xét.

$$\begin{cases} I_j < I_{j,rate} & ; j = 1,2, \dots, n_{branch} \\ V_i > V_{low} \text{ và } V_i < V_{high} & ; i = 1,2, \dots, n_{bus} \end{cases} \quad (4.13)$$

Hàm thích nghi: hàm mục tiêu với các điều kiện ràng buộc, công thức (4.14).

$$f = OF + p \cdot \left[ \max(V_{low} - V_{min}, 0) + \max(V_{max} - V_{high}, 0) + \max(KI_{max} - KI_{rate}) + \left| \sum_{i=1}^{24} P_{BESS,i} \right| \right] \quad (4.14)$$

### 4.3. Tối ưu công suất và vị trí của BESS

### 4.4. Kết quả kiểm tra

Giả thiết rằng có ba loại tải công nghiệp, dân dụng và thương mại. Khi đó, tải tại mỗi nút được tính như công thức (4.15) [44], [51].

$$\begin{cases} P_{j,i} = \sum_{k=1}^3 P_{j,peak} \cdot R_{j,k} \cdot RP_{k,i} \\ Q_{j,i} = \sum_{k=1}^3 Q_{j,peak} \cdot R_{j,k} \cdot RQ_{k,i} \end{cases} \quad (4.15)$$

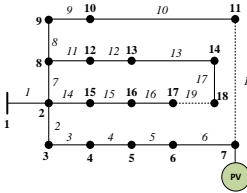
Giả định thời gian xả và sạc là bằng nhau và Pđm là 1 MW. Hệ số phạt p được chọn với giá trị là 10000. Thời gian biểu và giá điện như Bảng 4.2 [52], [53].

**Bảng 4.2.** Khung giờ và giá điện

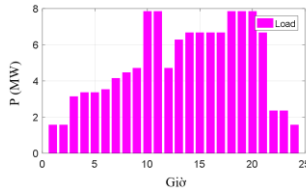
Khung giờ	Giờ cao điểm	Giờ bình thường	Giờ thấp điểm
Thời gian	9 giờ - 11 giờ 17 giờ - 20 giờ	4 giờ - 9 giờ; 11 giờ - 17 giờ; 20 giờ - 22 giờ	22 giờ - 4 giờ
Giá điện (\$/kWh)	0,12890	0,070	0,04540

#### 4.4.1. LDPP 18 nút

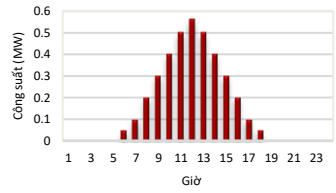
LDPP 18 nút có điện áp 10 kV như Hình 4.2. Tổng tải như Hình 4.3 với PV nối vào nút 7 có phát công suất ở Hình 4.4.



**Hình 4.2.** LDPP 18 nút có PV

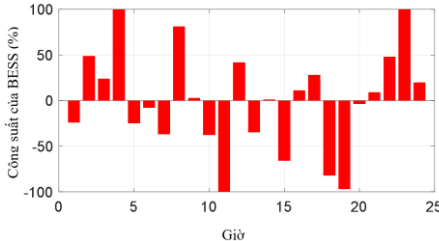


**Hình 4.3.** Tải của LDPP 18 nút

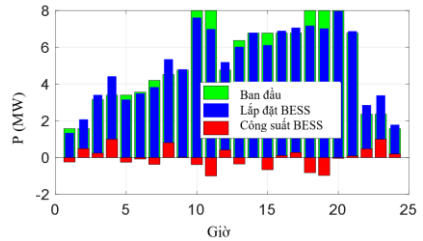


**Hình 4.4.** Công suất phát của PV

Sau khi thực hiện tối ưu cho công suất vận hành và vị trí bằng CSA thì vị trí là nút 15 và công suất vận hành 24 giờ (%Pđm) là {-24; 49; 24; 100; -25; -8; -37; 81; 3; -38; -100; 42; -35; 1; -66; 11; 28; -82; -97; -4; 9; 48; 100; 20}.



**Hình 4.5.** Công suất vận hành của BESS - LDPP 18 nút

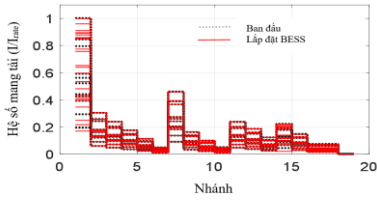


**Hình 4.6.** Công suất mua - LDPP 18 nút

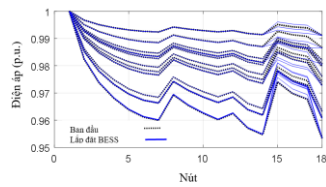
Giá trị lớn nhất là 177 tương ứng dung lượng 1,77 MWh. Kết quả từ CSA cho LDPP 18 nút như trong Bảng 4.3. Khi có BESS thì chi phí tiết kiệm được là 258,2807\$ (tương ứng 2,45%). Hình 4.7 và Hình 4.8 cho thấy BESS không ảnh hưởng xấu đến dòng điện và cấu hình điện áp. CSA có kết quả tốt hơn so với GA, SFO và PFA trong 30 lần chạy độc lập.

**Bảng 4.3.** Kết quả sau khi lắp đặt BESS đối với LDPP 18 nút

Trạng thái	Giá trị hàm thích nghi	Chi phí mua điện (\$)	Chi phí tiết kiệm (\$)	$\Delta A$ (kWh)	Chi phí $\Delta A$ (\$)
Ban đầu	10682,3856	10523,5441	-	1679,4449	158,8308
BESS	10420,9595	10265,2634	258,2807	1674,7208	155,6961



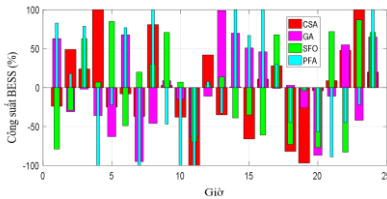
**Hình 4. 7.** Dòng điện nhánh khi có BESS - LĐPP 18 nút



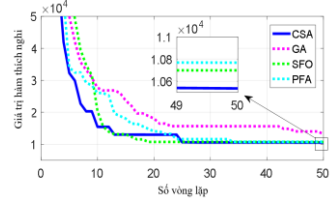
**Hình 4. 8.** Điện áp nút khi có BESS - LĐPP 18 nút

**Bảng 4. 4.** Các kết quả tính toán của CSA, GA, SFO và PFA - LĐPP 18 nút

Phương pháp	Vị trí (nút)	S (MWh)	Giá trị hàm thích nghi	Chi phí mua điện (\$)	Chi phí tiết kiệm (\$)	$\Delta\Delta$ (kWh)	Chi phí $\Delta\Delta$ (\$)
Ban đầu	-	-	10693,0598	10523,5441	-	1679,4449	158,8308
CSA	15	1,77	10420,9595	10265,2634	258,2807	1674,7208	155,6961
GA	9	2,22	10570,5415	10407,4480	116,0961	1705,2337	157,5186
SFO	3	1,58	10532,4499	10364,9542	158,5899	1689,2404	157,4761
PFA	18	1,8	10461,2865	10304,1091	219,435	1783,7335	157,1775



**Hình 4. 9.** Công suất vận hành BESS với CSA, GA, SFO và PFA



**Hình 4. 10.** Đường cong hội tụ của PFA, SFO, GA và CSA

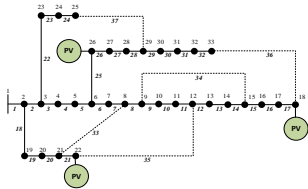
**Bảng 4. 5.** Hiệu quả của CSA, GA, SFO và PFA khi có BESS - LĐPP 18 nút

Phương pháp	CSA	GA	SFO	PFA
Thích nghi cực tiểu	10420,9595	10570,5415	10532,4499	10461,2865
Thích nghi trung bình	10534,7008	13186,7217	10698,2309	10767,8222
Thích nghi cực đại	10624,4975	34809,9839	11028,3392	11175,5319
Độ lệch chuẩn	58,6329	7307,463	111,2877	152,4096
Số lần hội tụ trung bình	123,3688	28,5333	27,6667	40,1667
Thời gian (s)	106,6542	54,951	56,0792	57,5677

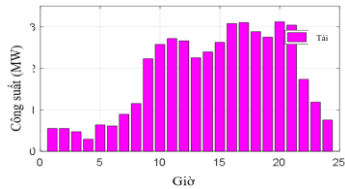
Giải pháp đề nghị giúp tiết kiệm 258,2807\$ trong khi giải pháp từ GA, SFO và PFA lần lượt chỉ là 116,961\$; 158,5899 \$ và 219,435\$. CSA là đáng tin cậy và hiệu quả hơn GA, SFO và PFA cho việc tối ưu lắp đặt BESS như Hình 4.9 và Hình 4.10.

#### 4.4.2. LĐPP 33 nút

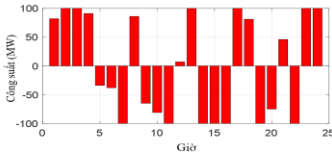
Các DG được kết nối vào LĐPP là 3 PV vị trí kết nối là nút 18, nút 22 và nút 26 [52], [53]. Giá trị lớn nhất là 373 tương ứng với dung lượng lưu trữ là 3,73 MWh và đây chính là dung lượng cần thiết của BESS. Hình 4.13 và Hình 4.14 cho thấy công suất vận hành của BESS và công suất mua. Hình 4.15 và Hình 4.16 trình bày điện áp của các nút và dòng điện trên các nhánh của LĐPP 33 nút.



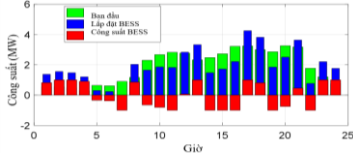
**Hình 4. 11.** LĐPP 33 nút có 3 PV



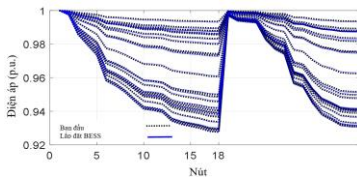
**Hình 4. 12.** Tải của LĐPP 33 nút



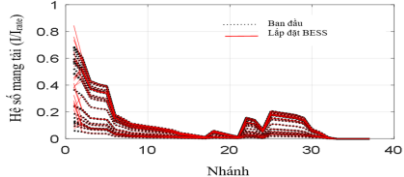
**Hình 4. 13.** Công suất vận hành của BESS - LĐPP 33 nút



**Hình 4. 14.** Công suất mua của LĐPP 33 nút



**Hình 4. 15.** Điện áp nút khi có BESS - LĐPP 33 nút



**Hình 4. 16.** Dòng điện nhánh khi có BESS - LĐPP 33 nút

Bảng 4.6 cho thấy kết quả tiết kiệm chi phí trước và sau khi lắp đặt BESS. Bảng 4.7 và Bảng 4.8 thể hiện các kết quả tính toán và hiệu quả của các phương pháp khác khi lắp đặt BESS vào LĐPP.

**Bảng 4. 6.** Kết quả sau khi lắp đặt BESS đối với LĐPP 33 nút

Trạng thái	Giá trị hàm thích nghi	Chi phí mua điện (\$)	Chi phí tiết kiệm (\$)	$\Delta A$ (kWh)	Chi phí $\Delta A$ (\$)
Ban đầu	4117,2242	3971,4943	-	1506,884	137,777
BESS	3813,0712	3667,8305	303,6638	1506,4889	137,1419

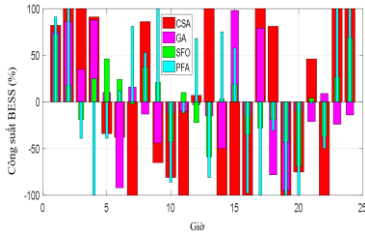
**Bảng 4. 7.** Các kết quả tính toán của CSA, GA, SFO và PFA - LĐPP 33 nút

Phương pháp	Vị trí (nút)	S (MWh)	Giá trị hàm thích nghi	Chi phí mua điện (\$)	Chi phí tiết kiệm (\$)	$\Delta A$ (kWh)	Chi phí $\Delta A$ (\$)
Ban đầu	-	-	4117,2242	3971,4943	-	1506,8840	137,7770
CSA	2	3,73	3813,0712	3667,8305	303,6638	1506,4889	137,1419
GA	3	2,94	3943,8311	3787,6752	183,8191	1505,0175	135,1959
SFO	10	2,23	3945,0977	3815,5320	155,9623	1452,1091	125,8681
PFA	3	2,81	3845,8422	3711,6225	259,8718	1506,5038	133,5666

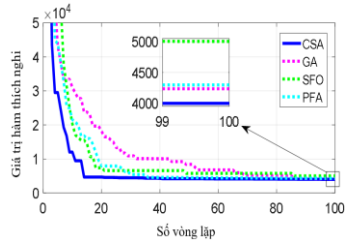
**Bảng 4. 8.** Hiệu quả của CSA, GA, SFO và PFA khi có BESS - LĐPP 33 nút

Phương pháp	CSA	GA	SFO	PFA
Thích nghi cực tiểu	3813,0712	3943,8311	3945,0977	3845,8422
Thích nghi trung bình	3998,0242	4235,0721	5005,2403	4297,219
Thích nghi cực đại	4189,6828	4793,4513	29803,6606	5885,5111
Độ lệch chuẩn	70,4216	228,6883	4685,2723	485,7155
Số lần hội tụ trung bình	55,1	63,7667	65,5333	86,6333
Thời gian (s)	237,4453	122,6167	122,6141	127,1943





**Hình 4. 17.** Công suất vận hành BESS với CSA, GA, SFO và PFA



**Hình 4. 18.** Đường cong hội tụ của PFA, SFO, GA và CSA

Kết quả cho thấy, BESS đã giúp giảm chi phí mua điện 3971,4943\$ xuống còn 3667,8305\$ tiết kiệm là 303,6638\$ (tương ứng 7,65%). Trong khi GA, SFO và PFA số tiền tiết kiệm được là 183,8191\$; 155,9623\$ và 259,8718\$ là thấp hơn lần lượt là 119,8447\$; 147,7015\$ và 43,792\$ so với CSA. Kết quả chi phí tiết kiệm của CSA vượt trội hơn GA, SFO và PFA như Hình 4.17 và Hình 4.18.

#### 4.5. Kết luận chương 4

Chương 4 trình bày bài toán mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt BESS. Để tối ưu công suất và vị trí BESS cần xem xét tối ưu công suất vận hành trong 24 giờ và vị trí lắp đặt với mục tiêu là giảm chi phí mua điện và chi phí tổn thất năng lượng. Mở rộng công suất BESS tham gia vào LĐPP để vận hành LĐPP nhằm giảm chi phí năng lượng, làm mịn công suất của RES và cải thiện các yếu tố kỹ thuật. Hai LĐPP được kiểm tra là LĐPP 18 nút và LĐPP 33 nút đã cho thấy sau khi tối ưu việc lắp đặt BESS, chi phí mua điện giảm 2,45% và 7,65% cho LĐPP 18 nút và LĐPP 33 nút. BESS không những làm giảm chi phí điện năng mà còn giảm đỉnh tải, giảm tổn thất năng lượng. Ngoài ra, kết quả của phương pháp đề nghị cho thấy phương pháp CSA là hữu hiệu hơn phương pháp GA, SFO và PFA cho bài toán tối ưu BESS trên LĐPP. Bài toán đề nghị tối ưu lắp đặt BESS trên LĐPP đã được nghiên cứu, thực hiện và công bố trong công trình [4] và [6].

## CHƯƠNG 5 : KẾT LUẬN

### 5.1. Kết luận

Luận án “Mở rộng nguồn điện phân tán và bộ dự trữ năng lượng trên lưới điện phân phối” đề nghị ba bài toán mới và một bài toán áp dụng như sau:

Bài toán 1: Mở rộng LĐPP thông qua xác định vị trí và công suất tối ưu của DG có xét tái cấu hình lưới điện phân phối (DNR). Luận án đưa ra một bài toán mới để giải quyết vấn đề tối ưu vị trí và công suất của DG thông qua hai giai đoạn. Giai đoạn I - Tối ưu lắp đặt DG trong LĐPP kín và Giai đoạn II - Tối ưu khóa mở để lưới điện vận hành hở. Bài toán đề nghị thực hiện tối ưu lắp đặt DG có xét đến DNR với hàm mục tiêu là cực tiểu tổn thất công suất. Bài toán đề nghị là bài toán mới trong tối ưu lắp đặt DG có xét DNR bên cạnh các bài toán tối ưu bài toán đồng thời vị trí, công suất và DNR (đồng thời) và bài toán tối ưu vị trí và sau đó tối ưu công suất và DNR (VT-CS và DNR). Bài toán đề nghị có ưu điểm là đưa ra lời giải tối ưu toàn cục. Bài toán đề nghị cho thấy số biến giảm cho mỗi giai đoạn của thuật toán tối ưu bằng cách chia ra hai giai đoạn. Ngoài ra, bài toán đề nghị hai giai đoạn cũng cho thấy phù hợp với việc lắp đặt DG trong dài hạn được ưu tiên trước và việc DNR là ngắn hạn thực hiện sau. LĐPP 33 nút và 69 nút được kiểm tra và cho thấy tính hiệu quả bài toán đề nghị. Bài toán đề nghị sử dụng thuật toán RRA và so sánh với COA và GA đã cho kết quả tương tự nhau. Ngoài ra, bài toán hai giai đoạn cũng được so sánh với bài toán đồng thời và bài toán tối ưu vị trí trước và sau đó tối ưu công suất và DNR để cho thấy tính hiệu quả của nó. Khi tối ưu cho LĐPP 33 nút với bài toán hai giai đoạn bằng RRA; đồng thời (RRA), đồng thời (CSA); VT-CS và DNR (FWA) và VT-CS và DNR (HSA) với mức giảm % tổn thất công suất lần lượt là 73%; 74,92%; 73,75%; 70%; 66,89% và 63,95%. Tương tự, LĐPP 69 nút là 82,52%; 84,35%; 83,54%; 82,55% và 82,08%. Các kết quả mô phỏng của bài toán đề nghị cho thấy tổn thất công suất toàn hệ thống tương tự với bài toán đồng thời và tốt hơn so với bài toán VT- CS và DNR. Kết quả cũng cho thấy các thuật toán RRA, COA và GA là hiệu quả để tối ưu lắp đặt DG cho LĐPP có DNR. Bài toán đề nghị đã được thực hiện và công bố trong công trình [1], [5] và công trình liên quan [7].

Bài toán 2: Xác định cấu hình LĐPP khi mở rộng công suất của pin quang điện (PV). Luận án đề nghị thuật toán trao đổi nhánh với công suất nhánh trung bình (CSNTB) cải tiến nhằm xác định cấu hình vận hành LĐPP khi PV được mở rộng công suất với mục tiêu cực tiểu tổn thất năng lượng. Ưu điểm của bài toán đề nghị là đơn giản, dễ thực hiện và chính xác trong việc xác định cấu hình của LĐPP. LĐPP 18 nút được thử nghiệm cho bài toán sử dụng CSNTB cải tiến và đã cho thấy được hiệu quả khi LĐPP có PV. LĐPP 33 nút được áp dụng thử nghiệm cho phương pháp sử dụng kỹ thuật trao đổi nhánh và CSNTB cải tiến. Tổn thất năng lượng của phương pháp đề nghị là 2075,51 kWh, phương pháp sử dụng đồ thị tải là 2243,98 kWh và phương pháp EP là 2334,28 kWh. Kết quả cho thấy phương pháp đề nghị là đơn giản, nhanh chóng xác định được cấu hình lưới và có độ chính xác cao khi so sánh với bài toán khác. Bài toán đề nghị được nghiên cứu, thực hiện và công bố ở công trình [2] và công trình liên quan [10].

Bài toán 3: Áp dụng mở rộng LĐPP Chư Prông - Gia Lai của Việt Nam. LĐPP Chư Prông được áp dụng để mở rộng thông qua lắp đặt DG nhằm tối đa công suất tham gia của DG và cực tiểu tổn thất công suất của hệ thống. Bài toán đề nghị ba giai đoạn lắp đặt DG tương ứng với ba vị trí và công suất khả thi cho phép lắp đặt vào LĐPP Chư Prông. Thuật toán COA, RRA và GA được sử dụng hiệu quả cho bài toán 1 và tiếp tục được áp dụng để thử nghiệm cho vấn đề lắp đặt ba DG cho LĐPP Chư Prông. Từ kết quả ba DG đã được tối ưu, đề xuất một kế hoạch lắp đặt mở rộng DG cho LĐPP Chư Prông qua ba giai đoạn. LĐPP Chư Prông lắp đặt DG ở giai đoạn 1 công suất là 0,6609 MW (nút 221) có tổn thất công suất từ 81,566 kW giảm xuống còn 77,26 kW (giảm 5,28%). Giai đoạn 2, lắp đặt thêm DG với công suất là 1,4898 MW (nút 164), tổn thất công suất giảm còn 63,3393 kW (giảm 18,02%). Giai đoạn 3 lắp đặt thêm DG với công suất là 2,2554 MW (nút 48) tổn thất công suất còn 43,1161 kW (giảm 31,93%). Điện áp các nút và dòng điện các nhánh nằm trong phạm vi cho phép. Bài toán mở rộng LĐPP Chư Prông với mục tiêu tối đa công suất và cực tiểu tổn thất công suất được nghiên cứu và công bố trong công trình [3] và công trình liên quan [8], [9].

Bài toán 4: Mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt pin dự trữ năng lượng (BESS) để giảm chi phí mua điện. Luận án đề nghị bài toán xác định vị trí và công suất của BESS trên LĐPP nhằm giảm chi phí mua điện cũng như giảm chi phí tổn thất năng lượng. Bài toán đề nghị có điểm mới là đề nghị hàm mục tiêu cực tiểu chi phí năng lượng và áp dụng thuật toán CSA lần đầu tiên cho vấn đề tối ưu vị trí và công suất vận hành của BESS. Việc tối ưu BESS vào LĐPP không những giảm chi phí mua điện, mà còn giảm tổn thất năng lượng và các lợi ích khác. Phương pháp đề nghị thử nghiệm ở LĐPP 18 nút cho thấy chi phí giảm 258,2807 \$ (giảm 2,45%). LĐPP 33 nút, chi phí mua điện giảm 303,6638 \$ (giảm 7,65%). Ngoài ra, tổn thất năng lượng cũng được giảm xuống. Thuật toán CSA cho thấy hiệu quả hơn so với GA, SFO và PFA. Bài toán đề nghị đã được nghiên cứu, thực hiện và công bố trong công trình số [4] và [6].

## 5.2. Hướng nghiên cứu tiếp theo

Luận án đã phân tích và đề xuất các bài toán mở rộng LĐPP. Tuy nhiên, luận án vẫn còn một số hạn chế là chưa xem xét hết các bài toán mở rộng khác. Nghiên cứu sinh tiếp tục nghiên cứu các bài toán khác như:

- Bài toán mở rộng LĐPP thông qua lắp đặt ESS với hàm đa mục tiêu (mục tiêu kinh tế kết hợp mục tiêu nâng cao các chỉ số vận hành của LĐPP);
- Bài toán mở rộng LĐPP với sự thâm nhập của tua bin gió (WT) và pin quang điện (PV) kết hợp với bộ dự trữ năng lượng (ESS);
- Bài toán tối ưu ESS có xét đến các chi phí đầu tư, chi phí lắp đặt và chi phí vận hành của BESS trên LĐPP.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C. L. T. Borges and V. F. Martins, “Multistage expansion planning for active distribution networks under demand and Distributed Generation uncertainties,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 36, no. 1, pp. 107–116, 2012, doi: 10.1016/j.ijepes.2011.10.031.
- [2] R. Payasi, A. Singh, and D. Singh, “Review of distributed generation planning: objectives, constraints, and algorithms,” *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 133–153, 2011, doi: 10.4314/ijest.v3i3.68430.
- [3] L. Gédéon and F. Guillemot, “Huy động tối đa nguồn tài chính để phát triển ngành năng lượng,” *L’Asie du Sud-Est 2014 bilan, enjeux Perspect.*, pp. 369–399, 2018, doi: 10.4000/books.irasec.2494.
- [4] J. Rockhold, *Kế hoạch Năng lượng sản xuất tại Việt Nam - Bài toán về việc sử dụng tập trung các nguồn lực trong nước của Việt Nam để kích thích đầu tư vào sản xuất năng lượng sạch, an toàn và chi phí hợp lý*. 2019.
- [5] Asian Development Bank, *Handbook on Battery Energy Storage System*, no. December. 2018.
- [6] C. K. Das, O. Bass, G. Kothapalli, T. S. Mahmoud, and D. Habibi, “Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, no. November 2016, pp. 1205–1230, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.068.
- [7] G. J. May, A. Davidson, and B. Monahov, “Lead batteries for utility energy storage: A review,” *J. Energy Storage*, vol. 15, pp. 145–157, 2018, doi: 10.1016/j.est.2017.11.008.
- [8] M. Pesaran H.A, P. D. Huy, and V. K. Ramachandaramurthy, “A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, no. September 2015, pp. 293–312, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.10.071.
- [9] E. S. Ali, S. M. Abd Elazim, and A. Y. Abdelaziz, “Optimal allocation and sizing of renewable distributed generation using ant lion optimization algorithm,” *Electr. Eng.*, 2016, doi: 10.1007/s00202-016-0477-z.
- [10] R. C. Dugan, T. E. McDermott, and G. J. Ball, “Distribution planning for distributed generation,” *Pap. Electr. Power Conf.*, p. C4, 2000, doi: 10.1109/REPCON.2000.848048.
- [11] R. H. A. Zubo, G. Mokryani, H. S. Rajamani, J. Aghaei, T. Niknam, and P. Pillai, “Operation and planning of distribution networks with integration of renewable distributed generators considering uncertainties: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, no. September, pp. 1177–1198, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.10.036.
- [12] W. Lip, J. Shiun, W. Shin, H. Hashim, and C. Tin, “Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 531–573, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.063.
- [13] W. El-Khattam, K. Bhattacharya, Y. Hegazy, and M. M. A. Salama, “Optimal investment planning for distributed generation in a competitive electricity market,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 3, pp. 1674–1684, 2004, doi: 10.1109/TPWRS.2004.831699.
- [14] D. Bogdanov *et al.*, “Low-cost renewable electricity as the key driver of the global energy transition towards sustainability,” *Energy*, vol. 227, p. 120467, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120467.
- [15] A. A. Bayod-Rújula, “Future development of the electricity systems with distributed generation,” *Energy*, vol. 34, no. 3, pp. 377–383, 2009, doi: 10.1016/j.energy.2008.12.008.
- [16] H. Chen, T. Ngoc, W. Yang, C. Tan, and Y. Li, “Progress in electrical energy storage system : A critical review,” *Prog. Nat. Sci.*, vol. 19, no. 3, pp. 291–312, 2009, doi: 10.1016/j.pnsc.2008.07.014.

- [17] M. Winfield, S. Shokrzadeh, and A. Jones, "Energy policy regime change and advanced energy storage: A comparative analysis," *Energy Policy*, vol. 115, no. January, pp. 572–583, 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2018.01.029.
- [18] E. Hossain, H. M. R. Faruque, M. S. H. Sunny, N. Mohammad, and N. Nawar, "A comprehensive review on energy storage systems: Types, comparison, current scenario, applications, barriers, and potential solutions, policies, and future prospects," *Energies*, vol. 13, no. 14, 2020, doi: 10.3390/en13143651.
- [19] H. A. Behabtu *et al.*, "A review of energy storage technologies' application potentials in renewable energy sources grid integration," *Sustain.*, vol. 12, no. 24, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/su122410511.
- [20] A. K. Rohit and S. Rangnekar, "An overview of energy storage and its importance in Indian renewable energy sector: Part II – energy storage applications, benefits and market potential," *J. Energy Storage*, vol. 13, no. October 2017, pp. 447–456, 2017, doi: 10.1016/j.est.2017.07.012.
- [21] V. Vahidinasab *et al.*, "Overview of Electric Energy Distribution Networks Expansion Planning," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 34750–34769, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2973455.
- [22] P. S. Georgilakis and N. D. Hatzigargyriou, "A review of power distribution planning in the modern power systems era: Models, methods and future research," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 121, pp. 89–100, 2015, doi: 10.1016/j.epsr.2014.12.010.
- [23] B. Singh and J. Sharma, "A review on distributed generation planning," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, no. December 2015, pp. 529–544, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.03.034.
- [24] V. F. Martins and C. L. T. Borges, "Active distribution network integrated planning incorporating distributed generation and load response uncertainties," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 4, pp. 2164–2172, 2011, doi: 10.1109/TPWRS.2011.2122347.
- [25] N. S. Rau and Y. H. Wan, "Optimum Location of Resources in Distributed Planning," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, no. 4, pp. 2014–2020, 1994, doi: 10.1109/59.331463.
- [26] S. H. Lee and J. W. Park, "Optimal placement and sizing of multiple dgs in a practical distribution system by considering power loss," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 49, no. 5, pp. 2262–2270, 2013, doi: 10.1109/TIA.2013.2260117.
- [27] M. P. P. and N. D. H. G.J. Peponis, "Distribution network reconfiguration to minimize resistive line losses," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 10, no. No. 3, 1995, doi: 10.1109/APT.1993.673869.
- [28] K. Taleski and D. Rajicid, "Distribution Network Reconfiguration For Energy Loss Reduction," vol. 12, no. 1, pp. 398–406, 1997.
- [29] M. R. Sheibani, G. R. Yousefi, M. A. Latify, and S. H. Dolatabadi, "Energy storage system expansion planning in power systems: A review," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 12, no. 11, pp. 1203–1221, 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2018.0089.
- [30] H. Ebrahimian, S. Barmayoon, and M. Mohammadi, "The price prediction for the energy market based on a new method," *Econ. Res. Istraživanja*, vol. 31, no. 1, pp. 1–25, 2018, doi: 10.1080/1331677X.2018.1429291.
- [31] T. T. Nguyen, T. T. Nguyen, A. V. Truong, Q. T. Nguyen, and T. A. Phung, "Multi-objective electric distribution network reconfiguration solution using runner-root algorithm," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 52, pp. 93–108, 2017, doi: 10.1016/j.asoc.2016.12.018.
- [32] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–9, 2012, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2197227.

- [33] T. T. Nguyen, A. V. Truong, and T. A. Phung, “A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 78, pp. 801–815, 2016, doi: 10.1016/j.ijepes.2015.12.030.
- [34] T. N. Ton, T. T. Nguyen, A. V. Truong, and T. P. Vu, “Optimal Location and Size of Distributed Generators in an Electric Distribution System based on a Novel Metaheuristic Algorithm,” *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 5325–5329, 2020, doi: 10.48084/etasr.3372.
- [35] A. M. Imran, M. Kowsalya, and D. P. Kothari, “A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 461–472, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.06.011.
- [36] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, “Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 317–325, 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2197227.
- [37] T. T. Nguyen, A. V. Truong, and T. A. Phung, “A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 78, pp. 801–815, 2016, doi: 10.1016/j.ijepes.2015.12.030.
- [38] M. Subramaniyan, S. Subramaniyan, M. Veeraswamy, and V. R. Jawalkar, “Optimal reconfiguration/distributed generation integration in distribution system using adaptive weighted improved discrete particle swarm optimization,” *COMPEL - Int. J. Comput. Math. Electr. Electron. Eng.*, vol. 38, no. 1, pp. 247–262, 2019, doi: 10.1108/COMPEL-08-2017-0344.
- [39] A. V. Truong, T. N. Ton, T. T. Nguyen, and T. L. Duong, “Two states for optimal position and capacity of distributed generators considering network reconfiguration for power loss minimization based on runner root algorithm,” *Energies*, vol. 12, no. 1, 2019, doi: 10.3390/en12010106.
- [40] N. T. Linh, N. T. Thuận, and T. N. Triều, “Tối ưu vị trí và công suất nguồn điện phân tán có xét đến tái hình cấu hình lưới điện phân phối,” *Tạp chí phát triển KH&CN*, vol. 20, no. K7, pp. 5–14, 2017.
- [41] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, and D. P. Kothari, “A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 461–472, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.06.011.
- [42] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, “Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–9, 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2197227.
- [43] H.-D. Chiang and R. Jean-Jumeau, “Optimal network reconfigurations in distribution systems: part 2: Solution algorithms and numerical results,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 5, no. 3, pp. 1568–1574, 1990, doi: 10.1109/61.58002.
- [44] T. T. Nguyen, T. T. Nguyen, L. T. Duong, and V. A. Truong, “An effective method to solve the problem of electric distribution network reconfiguration considering distributed generations for energy loss reduction,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 2, 2020, doi: 10.1007/s00521-020-05092-2.
- [45] K. Malmedal and P. K. Sen, “A better understanding of load and loss factors,” *IEEE Ind. Appl. Soc.*, pp. 1–6, 2008, doi: 10.1109/08IAS.2008.376.
- [46] K. G. Ing, H. Mokhlis, H. A. Illias, M. M. Aman, and J. J. Jamian, “Gravitational Search

Algorithm and Selection Approach for Optimal Distribution Network Configuration Based on Daily Photovoltaic and Loading Variation,” *J. Appl. Math.*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/894758.

- [47] Nguyễn Thanh Thuận, *Tải cấu hình lưới điện phân phối sử dụng các giải thuật tìm kiếm tối ưu*. Luận án Tiến sĩ - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM, 2019.
- [48] Y. Yang, S. Bremner, C. Menictas, and M. Kay, “Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, no. June 2017, pp. 109–125, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.047.
- [49] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, and J. Clarke, “Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation,” *Appl. Energy*, vol. 137, pp. 511–536, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.09.081.
- [50] Y. Li, M. Vilathgamuwa, S. S. Choi, T. W. Farrell, N. T. Tran, and J. Teague, “Development of a degradation-conscious physics-based lithium-ion battery model for use in power system planning studies,” *Appl. Energy*, vol. 248, no. August, pp. 512–525, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.04.143.
- [51] Y. Huping, P. Yunyan, and X. Ning, “Gradual Approaching Method for Distribution Network Dynamic Reconfiguration,” pp. 257–260, 2008, doi: 10.1109/PEITS.2008.104.
- [52] T. N. Ton, T. T. Nguyen, V. A. Truong, and P.-T. Vu, “Optimal location and operation of battery energy storage system in the distribution system for reducing energy cost in 24-hour period,” *Int Trans Electr Energ Syst*, vol. e12861, no. February, pp. 1–17, 2021.
- [53] Tôn Ngọc Triều, Nguyễn Tùng Linh, Trương Việt Anh, and Phạm Văn Lối, “Nâng cao công suất của hệ thống pin lưu trữ trên lưới điện phân phối có kết nối năng lượng mặt trời nhằm giảm chi phí,” *TNU J. Sci. Technol.*, vol. 226, no. 16, pp. 11–19, 2021.