

Xác định vị trí và công suất nguồn trữ năng trong hệ thống điện sử dụng giải thuật Min-Cut cải tiến

Đinh Ngọc Sang^{1,2,*}, Dương Thanh Long³, Trương Việt Anh², Nguyễn Thanh Thuận³



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

¹Trường ĐH Kiến trúc Tp.HCM, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Trường ĐH Công nghiệp Tp.HCM, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Đinh Ngọc Sang, Trường ĐH Kiến trúc Tp.HCM, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: sang.dinhngoc@uah.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 11-9-2019
- Ngày chấp nhận: 16-12-2019
- Ngày đăng: 31-3-2020

DOI: 10.32508/stdjet.v3i1.587



Bản quyền

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



TÓM TẮT

Bài báo này thể hiện việc tìm vị trí và công suất tối ưu cho nguồn điện trữ năng trong quy hoạch phát triển điện, bao gồm quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải và quy hoạch mở rộng nguồn điện. Các nguồn năng lượng tái tạo ngày nay đang được phát triển trên thế giới để thay thế các nguồn năng lượng hóa thạch ngày càng cạn kiệt và gây ô nhiễm. Tuy nhiên, việc phát năng lượng của các loại nguồn năng lượng này không thể điều khiển theo chủ ý mà phụ thuộc vào điều kiện tự nhiên. Để khắc phục khiếm khuyết mà năng lượng tái tạo gây ra, hệ thống nguồn lưu điện đã được nghiên cứu và áp dụng. Phát triển nguồn trữ năng để lưu trữ năng lượng khi giá rẻ và cung cấp ngược lại cho hệ thống điện khi giá cao hơn trong thị trường điện là một trong những vấn đề được chú ý gần đây. Tuy vậy, chọn vị trí thích hợp để đặt nguồn trữ năng là một thách thức lớn. Một số thuật toán đã được nghiên cứu trong một thời gian dài để tìm vị trí phù hợp trong quy hoạch nguồn, thuật toán heuristic đã được sử dụng trong những năm gần đây vì tính linh hoạt và phạm vi ứng dụng rộng rãi của chúng. Các phương pháp heuristic, mặc dù được cải thiện theo thời gian để trở thành công cụ tìm kiếm ngày càng hiệu quả hơn, nhưng vẫn dễ rơi vào cực trị địa phương trong quá trình tìm kiếm, số lượng vòng lặp quá lớn khi áp dụng cho hệ thống điện lớn, ... vẫn đang được các nhà khoa học nghiên cứu và khắc phục cho các thuật toán heuristic. Bên cạnh đó, thuật toán MFMC đã được áp dụng để xác định TCSC để quản lý tắc nghẽn cũng đã được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm nhưng nó còn một số hạn chế. Thuật toán MFMC sẽ được cải thiện hiệu quả hơn để loại bỏ tắc nghẽn kết hợp với thuật toán heuristic trong bài báo và kết quả mô phỏng được kiểm tra để xác định vị trí và công suất của nguồn trữ năng trên hệ thống chuẩn 24 bus IEEE cho thấy tính khả thi của phương pháp.

Từ khoá: Nguồn trữ năng, quản lý tắc nghẽn, quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải, giải thuật mặt cắt tối thiểu

GIỚI THIỆU

Quy hoạch phát triển điện và nguồn trữ năng

Trong quy hoạch phát triển hệ thống điện có nhiều vấn đề giải quyết để đạt được một hoặc một nhóm các mục tiêu đặt ra tùy theo bài toán nghiên cứu, trong đó tối ưu vẫn là phần quan trọng nhất trong quy hoạch. Có một số nhóm giải pháp quy hoạch cơ bản trong đó quy hoạch mở rộng nguồn (GEP) là một phần quan trọng của quy hoạch hệ thống điện song song với giải pháp quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải (TEP)^{1,2}.

Xét về góc độ quy hoạch dài hạn, TEP vẫn là giải pháp cần thiết để giải quyết bài toán quy hoạch, nhưng không phải lúc nào TEP cũng là giải pháp tốt nhất phát triển hệ thống nhằm mục tiêu giải quyết quá tải, tắc nghẽn hoặc ổn định, độ tin cậy của hệ thống điện³. Nhược điểm thường thấy nhất của giải pháp TEP là chi phí cao và đặc biệt có thể bị giới hạn bởi số lượng đường dây mở rộng trên một trụ khi lắp lên trụ có sẵn

hoặc phải đền bù giải tỏa nếu phải xây đường dây mới. Một số các phương pháp tích cực hơn, tiết kiệm hơn được sử dụng để cải thiện hệ thống như tái cấu trúc mạng điện⁴, điều khiển trào lưu công suất bằng các thiết bị FACTS⁵ và không thể không kể đến nhóm giải pháp GEP với các vị trí nguồn mở rộng và công nghệ mới hiệu quả hơn^{6,7}. Tuy nhiên, mỗi phương pháp có ưu và khuyết điểm trong một phạm vi nhất định, và không phải phương pháp nào cũng có thể thay thế cho phương pháp khác.

Trong những năm gần đây, nguồn năng lượng tái tạo được liên kết với hệ thống điện như điện gió, năng lượng mặt trời, ... đã và đang phát triển khá nhanh^{6,7}, và phổ cập rộng rãi trên một số lượng lớn các quốc gia trên thế giới. Thời gian phát điện của các loại nguồn năng lượng này không theo nhu cầu tiêu thụ điện mà theo điều kiện tự nhiên. Điều này dẫn đến có những thời điểm nhu cầu điện thấp thì nguồn điện vẫn phát lên lưới điện trong khi có lúc nhu cầu phụ tải điện cao thì các loại nguồn này lại không thể sản xuất năng lượng.

Trích dẫn bài báo này: Sang D N, Long D T, Anh T V, Thuận N T. **Xác định vị trí và công suất nguồn trữ năng trong hệ thống điện sử dụng giải thuật Min-Cut cải tiến.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 3(1):339-351.

Để giải quyết vấn đề bất hợp lý nêu trên, một trong các giải pháp là sử dụng nguồn điện trữ năng ES, là một loại nguồn điện cần thiết để bơm năng lượng vào hệ thống điện trong khoảng thời gian nhất định khi cần bổ sung bất kỳ lúc nào^{8,9}.

Theo nguyên lý hoạt động, ES có thể cung cấp năng lượng trong thời gian quá tải do đỉnh tải gây ra để đảm bảo hệ thống điện hoạt động ổn định mà không cần nâng cấp hệ thống điện. Ngoài ra, ES còn nâng cao khả năng truyền tải của hệ thống bằng cách nâng công suất phát giúp cho hệ thống không chỉ giảm tắc nghẽn mà còn giảm áp lực cho các nguồn điện hiện hữu, nâng cao hiệu quả vận hành, nâng độ tin cậy, nâng độ dự trữ và ổn định của hệ thống điện^{10,11}.

Có nhiều công nghệ trữ năng đang sử dụng trong thương mại, cơ bản nhất là loại batteries, đây là loại thiết bị trữ năng phổ thông nhất hiện nay¹⁰, có một số loại khác nhau bởi chủ yếu là dung môi và vật liệu sản xuất điện cực. Các loại trữ năng khác bằng công nghệ flywheels và supercapacitors cũng được sử dụng ở các vị trí cần thiết phải ổn định công suất trong thời gian ngắn. Ngoài ra, các loại trữ năng Pumped Hydro và Compressed Air thường có công suất lớn và trữ năng lượng cao nên được dùng trong hệ thống điện rất tích cực. Mỗi loại công nghệ trữ năng phục vụ cho những mục đích và điều kiện cụ thể được phân loại như trên Hình 1.

Như vậy, nhờ khả năng phân bố lại trào lưu công suất và giảm tải cho hệ thống truyền tải điện, nguồn ES có thể giải quyết được một số những khiếm khuyết quan trọng do sự phát triển nguồn năng lượng tái tạo sinh ra như đã nêu. Tuy nhiên, vấn đề được đặt ra khi quy hoạch GEP đối với nguồn ES là vị trí nguồn lắp đặt ở đâu trên hệ thống lưới điện và công suất nguồn bao nhiêu thì đạt hiệu quả.

Giải thuật MFMC

Như đã nêu, vấn đề quan trọng nhất của quy hoạch là bài toán tối ưu cần được giải quyết để đạt được mục tiêu mong muốn. Nhiều nghiên cứu quy hoạch hệ thống điện trong thời gian qua đã đưa ra các giải thuật khác nhau để giải bài toán tối ưu như: phương pháp toán học có thuật toán AC, DC; phương pháp heuristic có PSO, GA^{2,12}.

Mỗi phương pháp có ưu và khuyết điểm nhưng nhìn chung đều giới hạn số lượng mục tiêu có hạn và kết quả hội tụ với tối ưu toàn cục của các bài toán phụ thuộc khá nhiều vào kinh nghiệm trong việc đặt giá số giữa các bước tính hoặc chọn thông tin đầu vào. Các nghiên cứu cũng cho thấy, dù trong điều kiện nào thì khối lượng tính toán của các giải thuật là không nhỏ,

và khi áp dụng trên các hệ thống điện lớn thì thời gian một lần tính toán có thể tính bằng ngày trở lên.

Từ những năm đầu 2000s, giải thuật MFMC được một số nghiên cứu sử dụng trong hệ thống điện để xác định điểm tắc nghẽn trong hệ thống điện¹³, hoặc tìm vị trí đặt thiết bị điều khiển công suất phản kháng tối ưu^{5,13}, cũng như nghiên cứu các ràng buộc, độ tin cậy trong quy hoạch mở rộng hệ thống truyền tải điện^{14,15}.

Ưu điểm của giải thuật MFMC là đơn giản và đặc biệt là tính toán khá nhanh so với các thuật toán tối ưu đã nêu nên được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Tuy nhiên, mặt cắt tối thiểu tìm được trong các bài toán xác định vị trí nghẽn mạch, vị trí của TCSC^{5,13-15} là tập hợp các nhánh mà tổng khả năng truyền tải của mặt cắt (tổng giới hạn nhiệt của đường dây) là bé nhất mà chưa xét đến phân bố công suất hiện hữu của các nhánh dây. Trong khi đó, việc phân bố công suất trong hệ thống điện không chỉ phụ thuộc vào giới hạn nhiệt của đường dây mà còn phụ thuộc vào tổng trở (một số đường dây có giới hạn nhiệt lớn nhưng phân bố công suất truyền tải lại nhỏ, ngược lại đường dây giới hạn nhiệt nhỏ lại mang dòng công suất lớn). Kết quả là mặt cắt tối thiểu tìm được có thể không bao gồm đường dây bị quá tải trong khi những đường dây truyền tải đang bị quá tải cần thiết phải xem xét để mở rộng hoặc loại bỏ nghẽn mạch.

Như vậy, khuyết điểm lớn nhất của giải thuật MFMC là không xét đến phân bố công suất trên hệ thống điện khi tính toán nên không áp dụng được cho các bài toán có mục tiêu liên quan đến phân bố công suất, như bài toán tính tối ưu tổn thất điện năng thường được sử dụng trong quy hoạch điện.

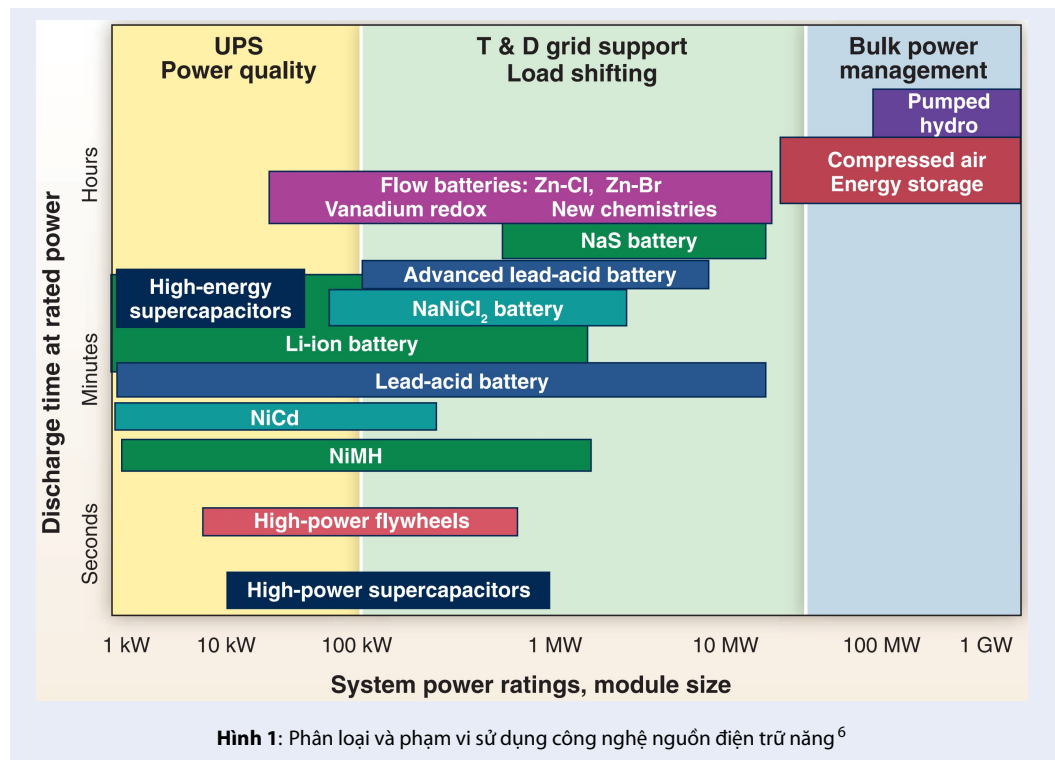
Chính vì vậy, trong bài báo này nghiên cứu cải tiến giải thuật MFMC có xét đến trào lưu công suất của hệ thống điện và áp dụng vào bài toán tối ưu trong tìm vị trí và công suất nguồn ES như đã đặt ra ở trên hệ thống điện 24bus IEEE-RTS.

PHƯƠNG PHÁP TOÁN HỌC

Giải thuật MFMC trước đây trong việc xác định vị trí của TCSC để quản lý nghẽn mạch⁵

MFMC là một thuật toán đã được Ford và Fulkerson đề ra vào những năm 1950s, theo đó xác định lát cắt có dung lượng nhỏ nhất của một đồ thị vô hướng, từ đó có thể tìm ra các điểm thắt cổ chai của đồ thị này. Đến năm 1997, Mechtild Stoer và Frank Wagner đã phát triển xây dựng thành giải thuật Min-Cut sử dụng chương trình máy tính¹⁶.

Đối với hệ thống truyền tải lưới điện, xét mô hình điển hình từ bài toán xác định vị trí TCSC để giải quyết tắc nghẽn của hệ thống truyền tải, lưu đồ giải thuật



MFMC cơ bản như trong nghiên cứu của Duong *et al.* (2013)⁵.

Trong đó:

- [A] là ma trận (n x n) tổng thông lượng (cụ thể là công suất định mức của đường dây truyền tải) có thể truyền giữa các nút đối với hệ thống n nút.
- n là số lượng nút trên hệ thống.
- u, v là ký hiệu của nút u và v.
- {s}, {t} là tổ hợp đỉnh nguồn và tải.
- S(i), T(i) là mặt cắt thứ i hướng từ nguồn, tải.
- MC(i) là tổ hợp phần tử tương ứng mincut bước cắt i.
- MF là maxflow.

$\sum s_j = \sum a_{sj}$, $\sum jt = \sum a_{jt}$ là tổng thông lượng mặt cắt nguồn, tải trong mặt cắt thứ i. Và j là nhánh thuộc tập hợp mặt cắt thứ i.

Giải thuật MFMC cải tiến

Như đã nêu, mặt cắt tối thiểu được chỉ ra trong giải thuật MFMC trước đây là mặt cắt nhỏ nhất xét trên tổng công suất định mức các nhánh, nguồn và tổng công suất phụ tải đi qua mặt cắt mà chưa xét đến phân bố công suất truyền trên các đường dây. Việc này dẫn đến quá trình thực thi các bài toán xác định mục tiêu có thể còn thiếu sót. Điển hình như khi chọn đường dây trong mặt cắt tối thiểu để giải quyết bài toán tắc nghẽn có thể bỏ qua các đường dây bị quá tải nhưng lại không được nằm trong mặt cắt tối thiểu.

Vì vậy, bài báo này đề xuất cải tiến giải thuật MFMC bằng cách bổ sung tính toán trào lưu công suất tối ưu trong bước đầu tiên của lưu đồ và bổ sung hệ số phụ tải trong điều kiện bước cắt.

Cụ thể điều kiện để chọn nút thứ i đưa vào danh sách bị cắt trong từng bước cắt C_{max} được thay thế bằng D_{max} :

$$D_{max} = C_{max} + K_{min}$$

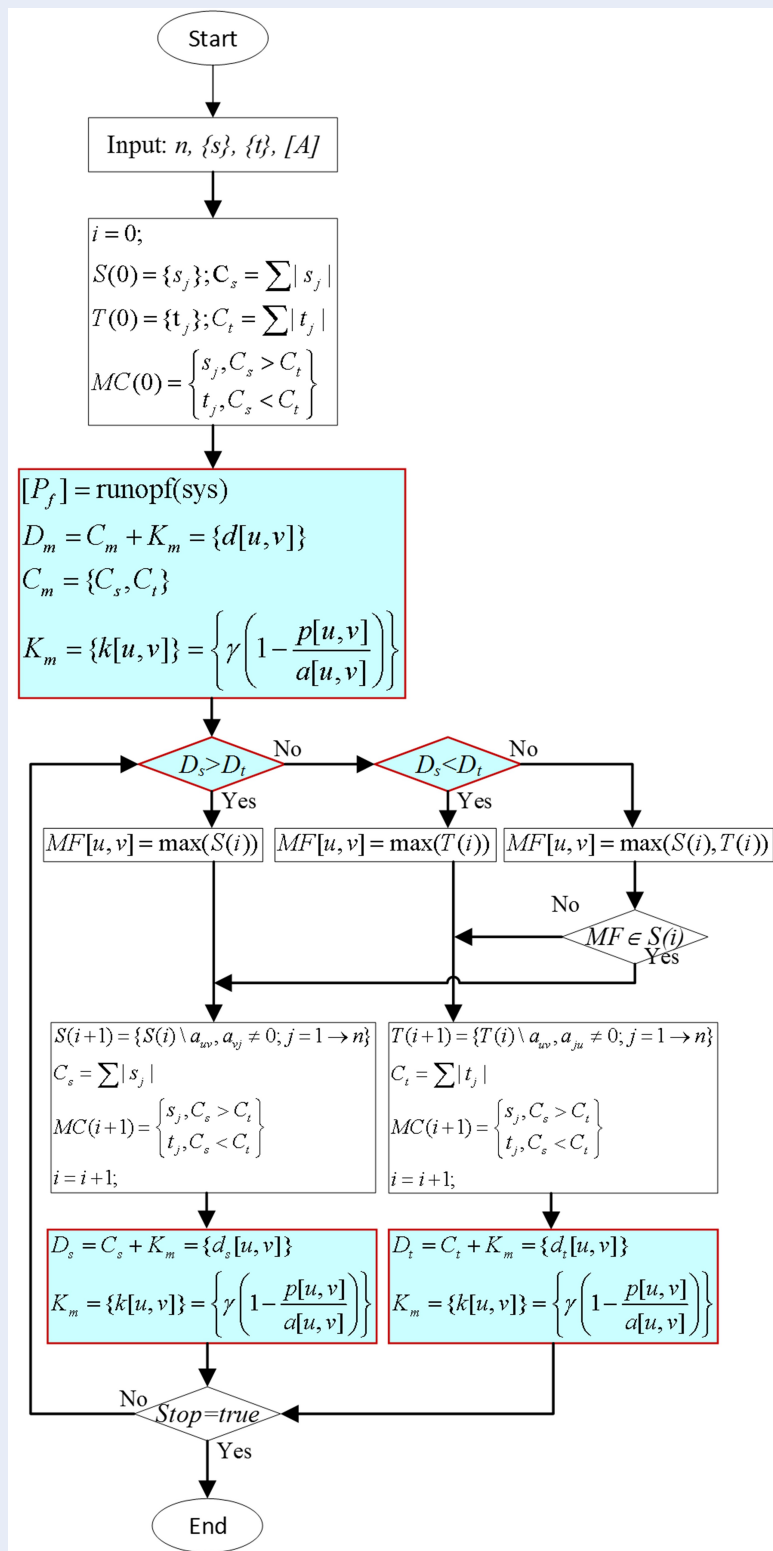
Với $K_{min} = \gamma \left(1 - \frac{P_{tal}}{P_{dm}}\right)$

γ là hệ số tỷ trọng, thể hiện mức độ tham gia của yếu tố công suất được phân bố trên các nhánh.

Khi đưa hệ số K_{min} vào trong giải thuật như Hình 2, tùy theo hệ số tỷ trọng γ được chọn lựa mà mức độ tham gia của các nhánh có có tỷ lệ phân bố công suất trên nhánh cao (tức công suất truyền trên nhánh lớn), đặc biệt là các tuyến đường dây đang bị quá tải, sẽ ưu tiên được bổ sung vào mặt cắt tối thiểu. Kết quả cuối cùng, mặt cắt tối thiểu sẽ tương ứng là nút thắt cổ chai bao gồm các nhánh trong đó có thể bao gồm nhánh có công suất truyền tải lớn trên nhánh.

Sử dụng giải thuật MFMC cải tiến xác định vị trí và công suất ES để cực tiểu chi phí đầu tư

Công nghệ trữ năng đã được nghiên cứu ứng dụng trong nhiều năm trước đây, tuy nhiên sử dụng trong thương mại vẫn là bài toán cần được cân nhắc kỹ khi



Hình 2: Lưu đồ giải thuật MFMC cải tiến

đầu tư do vốn đầu tư cho các công nghệ trữ năng hiện nay còn khá cao¹⁷. Xác định vị trí và công suất lắp đặt nguồn ES để cực tiểu chi phí đầu tư là bài toán tối ưu với hàm mục tiêu như sau:

Hàm mục tiêu

$$\text{minimize } C^T = \sum_i C_i^T + C_{REE} \quad (1)$$

Ở đây:

- C_i^T là chi phí phát điện của nguồn thứ i, được tính:

$$C_i^T = \sum_{i \in G} c_i(t) \cdot A_i(t) \quad (2)$$

- C_{REE} là vốn đầu tư của nguồn trữ năng, được tính:

$$C_{REE} = \sum_{i \in G_{re}} P_i^{re} \cdot c_{re} + C_0 \quad (3)$$

- Thỏa mãn Các điều kiện ràng buộc:

$$P_{Gi} - P_{Di} - \sum_{j \in bus} V_i V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \quad (4)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - \sum_{j \in bus} V_i V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \quad (5)$$

$$V_{i \in bus}^{min} \leq V_{i \in bus} \leq V_{i \in bus}^{max} \quad (6)$$

$$S_{i \in branch} \leq S_{i \in branch}^{max} \quad (7)$$

Trong đó:

$c_i(t)$ – Chi phí phát điện của nguồn điện i thời gian t.

$A_i(t)$ – Năng lượng phát của nguồn điện i thời gian t.

t – là khoảng thời gian trong một chu kỳ đánh giá.

P_i^{re} – Công suất đặt của ES thứ i.

c_{re} – Suất đầu tư của ES.

C_0 – Chi phí đầu tư ES không phụ thuộc.

$P_{Gi}, Q_{Gi}, P_{Di}, Q_{Di}$ – Công suất nguồn và tải nút i.

δ_{ij} – Độ lệch góc điện áp giữa nút i và j.

$V_{i \in bus}^{min}, V_{i \in bus}^{max}$ – Điện áp tối thiểu và cực đại nút i.

$S_{i \in branch}^{max}$ – Công suất cực đại cho phép của nhánh thứ i.

Áp dụng giải thuật MFMC cải tiến xác định vị trí và công suất của ES

Có nhiều phương pháp để giải bài toán tối ưu (1) như phương pháp toán học hoặc phương pháp meta-heuristic¹², mỗi phương pháp có ưu và nhược điểm nhưng việc tìm cực trị toàn cục nhanh nhất trong các phương pháp vẫn là vấn đề đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu, đặc biệt đối với các hệ thống điện lớn.

Áp dụng giải thuật MFMC cải tiến trong bài toán tối ưu sẽ giới hạn đáng kể không gian tìm kiếm giúp việc tìm ra cực trị toàn cục nhanh hơn, các bước xác định vị trí và công suất ES thực hiện như sau:

Bước 1: Chạy phân bố công suất trên các nhánh của hệ thống điện (có thể bằng phần mềm Matpower 6.0 như nêu trên).

Bước 2: Tìm mặt cắt tối thiểu bằng giải thuật MFMC cải tiến như đã trình bày trên lưu đồ Hình 3.

Bước 3: Xác định không gian tìm kiếm bằng việc giới hạn vị trí đặt nguồn ES tại các nút phụ tải thuộc các

nhánh trong mặt cắt tối thiểu đã xác định trong bước 2.

Bước 4: Giải bài toán tối ưu với hàm mục tiêu (1) trong không gian tìm kiếm đã giới hạn trong bước 3 và các ràng buộc đã nêu trong mục **Hàm mục tiêu**

Bước 5: Kết quả bài toán sẽ là vị trí và công suất ES tương ứng với vốn đầu tư thấp nhất.

THỬ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

So sánh MFMC truyền thống và cải tiến trên hệ thống 24 bus IEEE

Khảo sát hệ thống điện 24 bus IEEE RTS được cho trong Hình 3¹⁸, cho phụ tải hệ thống tăng dần đều ở tất cả các nút nhận thấy khi phụ tải tăng đến 20% thì hệ thống bắt đầu bị nghẽn mạch tại một nhánh 6-10 và khi công suất phụ tải đến 40% thì hệ thống tác nghẽn thêm nhánh thứ 2 là nhánh 11-13.

Giả sử phụ tải hệ thống là 1,35 lần so với chuẩn RTS¹⁹, dữ liệu phụ tải như trong Bảng 1. Khi đó, như đã nêu thì hệ thống đang quá tải nhánh 6-10. Sử dụng giải thuật MFMC truyền thống và cải tiến ($\gamma=175$), chúng ta sẽ nhận được kết quả mặt cắt tối thiểu đi qua các nhánh cho ở Bảng 2.

Phân bố công suất (bằng phần mềm Matpower 6.0) trên hệ thống (xem Bảng 3) nhận được kết quả các nhánh 8-9 và 8-10 trong mặt cắt tối thiểu theo giải thuật truyền thống đang non tải (55% và 42%), trong khi đó nhánh 6-10 đang quá tải 111% lại bị bỏ sót.

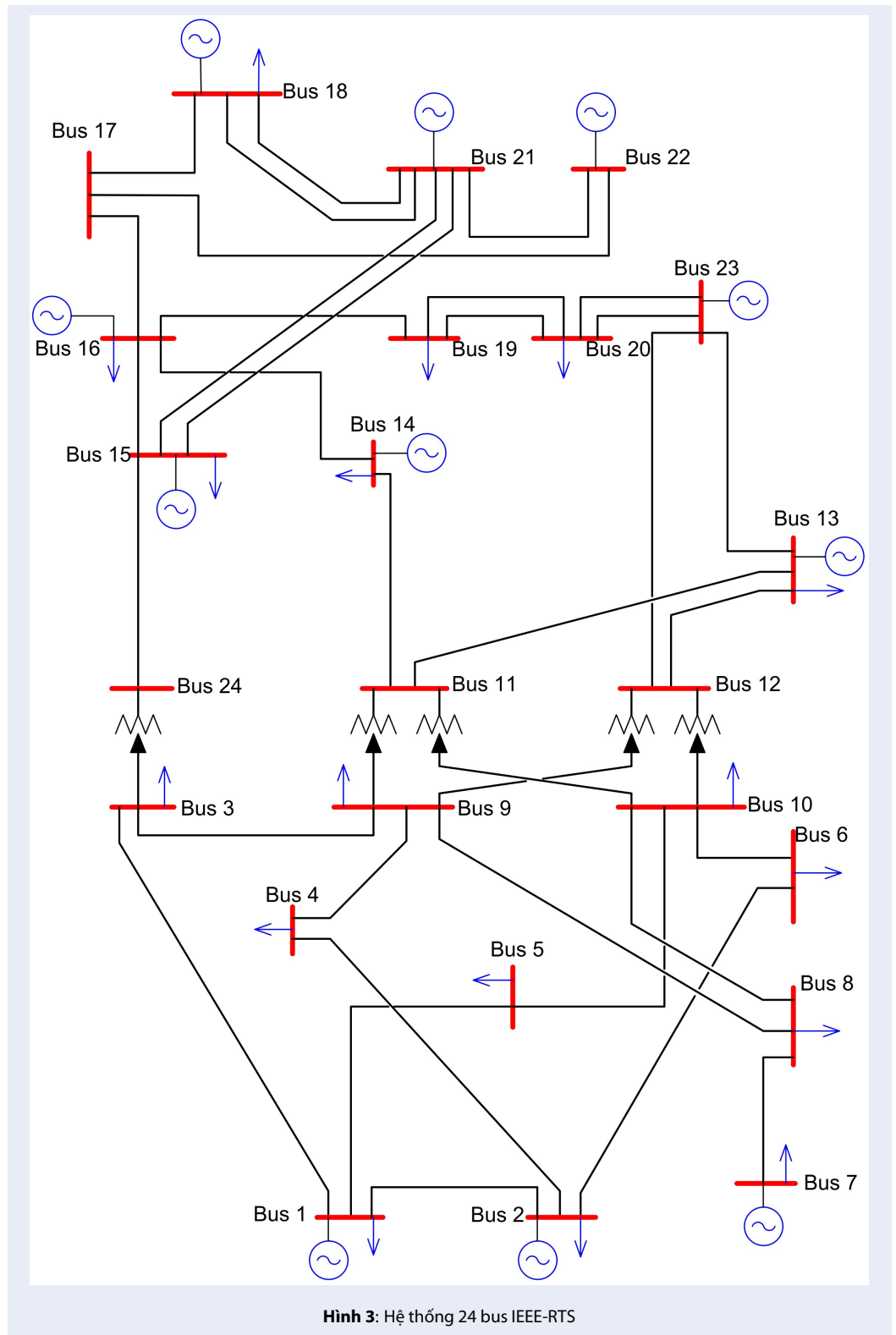
Tuy nhiên, theo MFMC cải tiến thì nhánh quá tải 6-10 lại được cập nhật trong mặt cắt tối thiểu, là nút thắt cổ chai của hệ thống cần được xem xét để cải thiện hệ thống tốt hơn¹⁵.

Xác định vị trí và công suất ES trên hệ thống 24 bus IEEE

Tiếp tục khảo sát hệ thống điện 24 bus IEEE như đã trình bày trong mục 1, theo đó hệ thống đã bị tác nghẽn. Bài toán đặt ra là xác định vị trí và công suất lắp đặt nguồn ES để giải quyết nghẽn mạch nhưng vốn đầu tư hiệu quả nhất.

Năm bước theo nội dung **Áp dụng giải thuật MFMC cải tiến xác định vị trí và công suất của ES** đã nêu trên được triển khai thực hiện, trong đó bước 1 và 2 đã được thể hiện trong mục **So sánh MFMC truyền thống và cải tiến trên hệ thống 24 bus IEEE** với kết quả mặt cắt tối thiểu được thể hiện trong Bảng 2 và phân bố công suất trên các nhánh được cho trong Bảng 3.

Bước 3 giới hạn không gian tìm kiếm được xác định là nguồn ES sẽ lắp đặt tại vị trí của 1 trong 2 nút phụ tải thuộc các nhánh của mặt cắt tối thiểu đã tìm ra từ giải thuật MFMC cải tiến là các nút 4 và 6.



Bảng 1: Công suất phụ tải tăng 35%

| Bus | P_d (MW) | Q_d (MVar) | Bus | P_d (MW) | Q_d (MVar) |
|-----|---------------|-----------------|-----|---------------|-----------------|
| 1 | 145,8 | 29,7 | 10 | 263,25 | 54 |
| 2 | 130,95 | 27 | 13 | 357,75 | 72,9 |
| 3 | 243 | 49,95 | 14 | 261,9 | 52,65 |
| 4 | 99,9 | 20,25 | 15 | 427,95 | 86,4 |
| 5 | 95,85 | 18,9 | 16 | 135 | 27 |
| 6 | 183,6 | 37,8 | 18 | 449,55 | 91,8 |
| 7 | 168,75 | 33,75 | 19 | 244,35 | 49,95 |
| 8 | 230,85 | 47,25 | 20 | 172,8 | 35,1 |
| 9 | 236,25 | 48,6 | | | |

Bảng 2: Mật cắt tối thiểu của giải thuật MFMC

| Giải thuật MFMC | Truyền thống | Cải tiến |
|--|--------------|---------------------------|
| Kết quả mật cắt tối thiểu đi qua các nhánh | 8-9 8-10 | 2-4 2-6 4-9 6-10 |

Bảng 3: Công suất truyền tải trên các nhánh min-cut

| Nhánh thuộc mật cắt tối thiểu | 2-4 | 2-6 | 4-9 | 6-10 | 8-9 | 8-10 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|------|
| Công suất truyền tải | 30% | 25% | 51% | 111% | 55% | 42% |

Bước 4: giải bài toán tối ưu (1) bằng phân bố công suất AC tương ứng với tải đỉnh và vị trí nguồn ES lần lượt đặt tại nút 4 và 6. Cho công suất nguồn ES biến thiên tăng dần ứng với mỗi bước tính toán 10 MW.

Bước 5: kết quả tính toán được ES có **công suất 40 MW đặt tại nút 6** của hệ thống có vốn đầu tư là thấp nhất.

Kiểm chứng bằng phân bố công suất AC

Xét bài toán tổng quát trên cùng hệ thống điện 24 bus IEEE như đã nêu trên, vì không gian tìm kiếm không giới hạn nên lần lượt đặt nguồn ES lên từng nút của hệ thống và cho công suất biến thiên từ 10 MW đến 100 MW và so sánh vốn đầu tư từ trường hợp để xác định vị trí và công suất ES thấp nhất, tương ứng với bài toán này sẽ có 240 trường hợp cần tính toán.

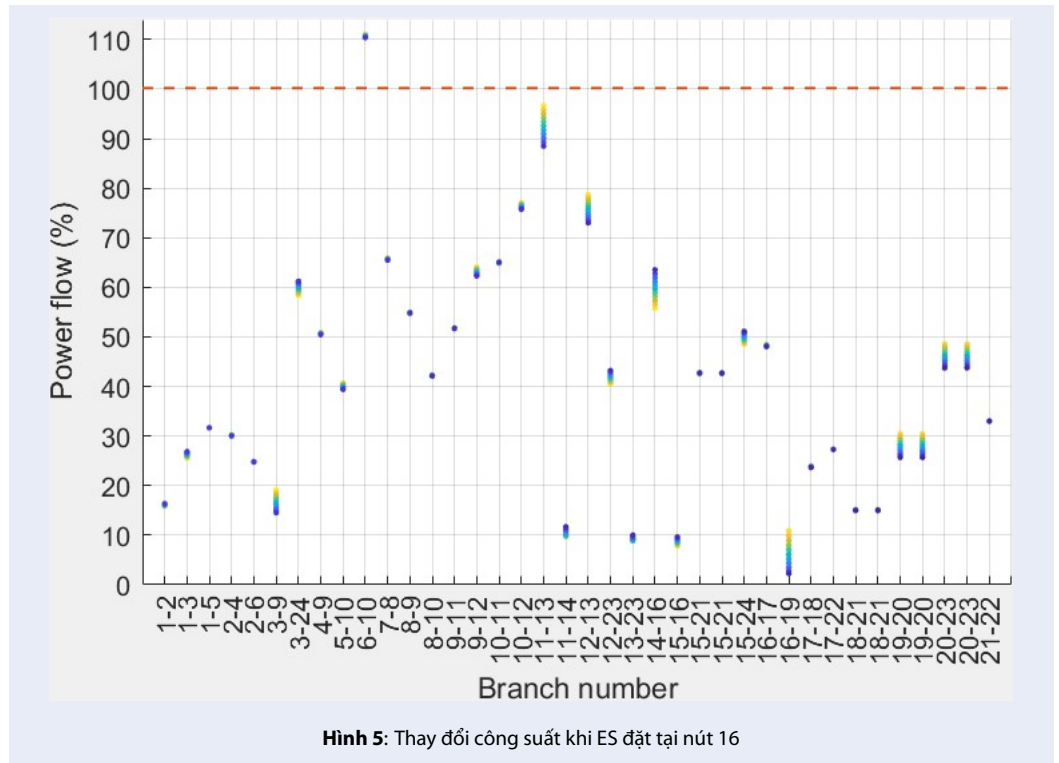
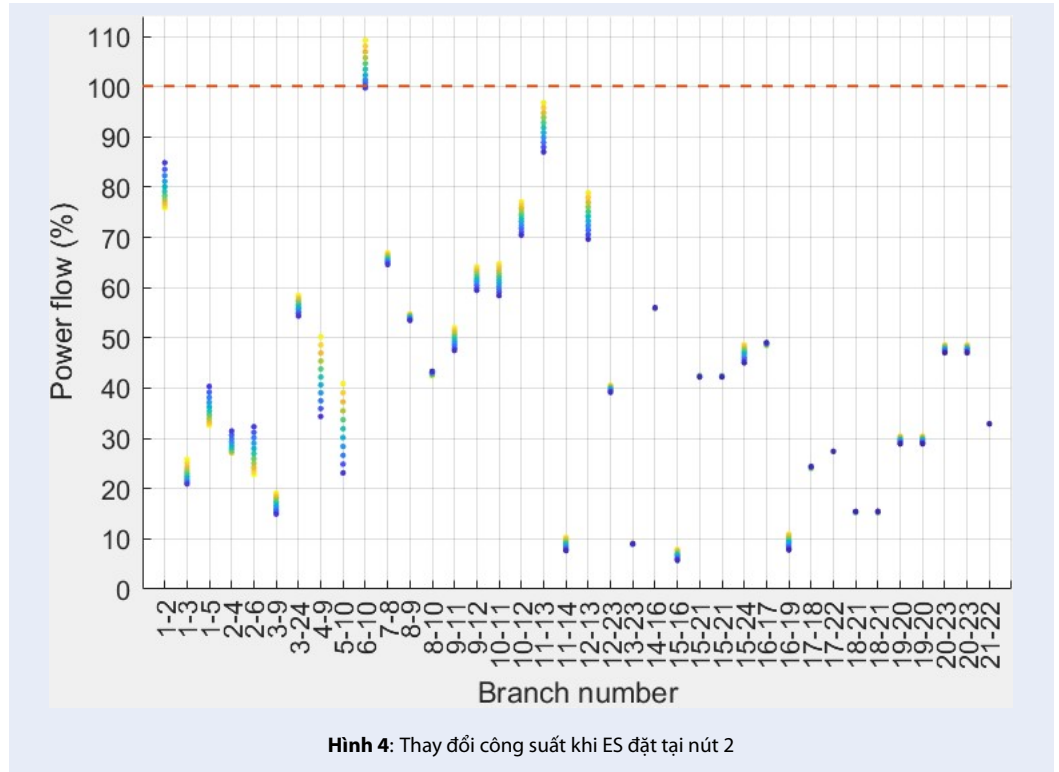
Sử dụng phần mềm Matpower 6.0 chạy trên nền Matlab 2018 và áp dụng ràng buộc (6) để phân bố công suất trên các nhánh cho 240 trường hợp, kết quả phân bố công suất được thể hiện theo 3 dạng cơ bản như các Hình 4 và 5 và Hình 6, theo đó:

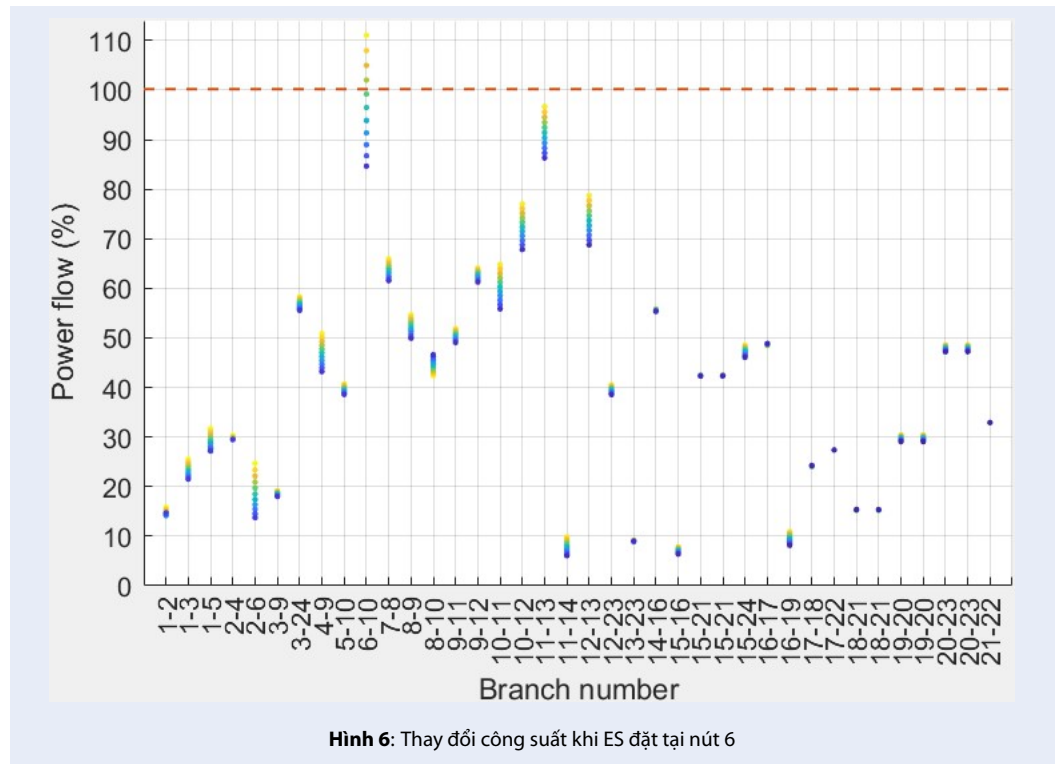
- Dạng 1 (ES đặt tại nút 1 hoặc 2 như Hình 4): tắc nghẽn của hệ thống thể hiện qua biểu thức ràng buộc (7) có xu hướng giảm dần đến khi công suất nguồn ES đạt từ 100 MW trở lên thì tắc nghẽn được giải quyết.

- Dạng 2 (ES đặt tại các nút 3-24 ngoại trừ nút 6 như Hình 5): phân bố công suất trên hệ thống gần như thay đổi không đáng kể nên không thể giải quyết tắc nghẽn và ràng buộc biểu thức (7) luôn vi phạm.

- Dạng 3 (ES đặt tại nút 6 như Hình 6): phân bố công suất trên nhánh quá tải giảm nhanh khi có nguồn ES đặt trong hệ thống. Kết quả là sau 4 lần thay đổi công suất tương ứng với công suất nguồn ES là 40 MW thì tắc nghẽn được giải quyết.

Kết quả phân tích được thể hiện trên Bảng 4, theo biểu thức (3) cho thấy trường hợp có vốn đầu tư thấp nhất là **nguồn ES đặt tại nút 6 có công suất lắp đặt 40 MW** phù hợp với kết quả giải bài toán có ứng dụng MFMC cải tiến như đã nêu trong nội dung 2 ở trên.





Hình 6: Thay đổi công suất khi ES đặt tại nút 6

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ ĐẦU TƯ VÀ THẢO LUẬN

Để đánh giá hiệu quả của việc đầu tư xây dựng nguồn trữ năng, trước hết cần xác định hiệu quả do ES mang lại. Lợi ích khi lắp đặt nguồn này đến cho hệ thống điện có nhiều góc độ: lợi ích do nâng cao độ tin cậy và độ ổn định của hệ thống điện, lợi ích do giảm áp lực cung cấp điện cho thị trường điện, lợi ích do nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống điện nhờ san bằng phụ tải điện. Tuy nhiên, lợi ích trước mắt cần xét đến là hiệu quả trong việc đầu tư tài chính để xây dựng ES trong thị trường điện.

Việc đánh giá hiệu quả tài chính bằng nhiều chỉ số cần phân tích, giá trị hiện tại ròng NPV, suất thu hồi nội tại IRR, thời gian hoàn vốn t_p, \dots ²⁰, xét đơn giản sử dụng chỉ số thời gian thu hồi vốn đầu tư được xem xét trong bài báo này và được tính từ công thức (10) sau đây.

$$\sum_{n=0}^t I_n = \sum_{n=0}^{t_p} NNT_n \quad (10)$$

Ở đây:

$$\sum_{n=0}^t I_n = C_3^1 \text{ là tổng vốn đầu tư, xem (5)}$$

Giả sử lợi nhuận ròng năm như nhau và bằng năm n:

$$NNT_n = \sum_i B_i - C_3^2 - C_3^3 \quad (11)$$

Khi đó, thời gian hoàn vốn sẽ là:

$$t_p = \frac{C_3^1}{NNT_n} = \frac{C_3^1}{\sum_i B_i - C_3^2 - C_3^3} \quad (12)$$

Trong đó:

B_i - Lợi ích thu được thứ i từ việc phát điện của nguồn.
 C_3^1, C_3^2, C_3^3 - Các chi phí, xem (5), (6), (7)

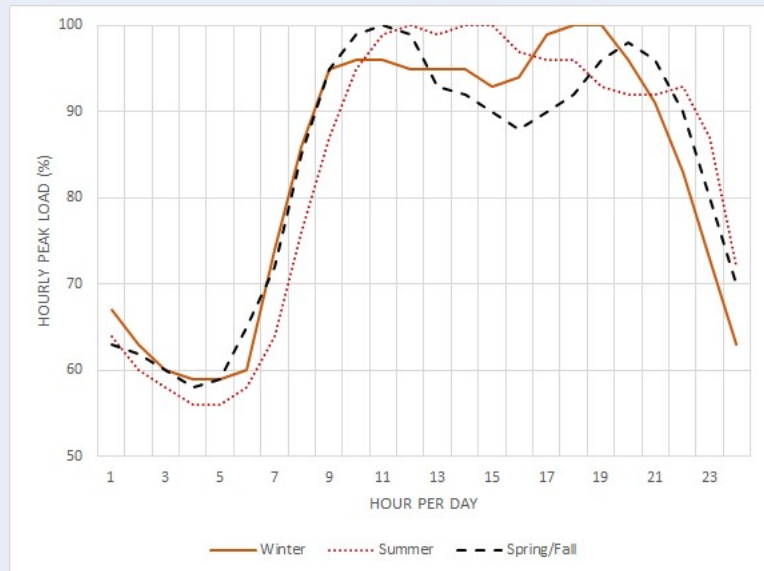
Trường hợp chưa lắp đặt ES, khi hệ thống tắc nghẽn phải cắt giảm công suất phụ tải phù hợp để giảm tải cho đường dây đang quá tải. Cụ thể để giảm quá tải cho nhánh 4-6, lượng công suất phải cắt giảm tối thiểu tại nút 6 khoảng 40 MW (tương ứng 20% phụ tải đỉnh).

Theo đồ thị phụ tải đỉnh ngày của hệ thống IEEE RTS¹⁹ như Hình 7, thời gian phụ tải phải cắt giảm vào mùa đông là 15 giờ/ngày (8-22 h), mùa hè 15 giờ/ngày (9-23 h) và mùa thu hoặc mùa xuân là 16 giờ/ngày (8-23h). Kết quả tổng thời gian công suất phụ tải bị cắt giảm trong năm là: $T_{out} = (15+15+16+16)$ giờ/ngày x 91,25/ngày/mùa = 5.657 giờ/năm. Và tương ứng mỗi năm một lượng điện năng bị sa thải là: $A_{out} = 40 \text{ MW} \times 5.657 \text{ giờ/năm} \times 70\% = 158$ triệu kWh/năm.

Giả sử có 50% số phụ tải quan trọng chấp nhận mua điện giá thị trường khi đỉnh tải tương ứng trên 79 triệu kWh/năm. Khi đó lắp đặt ES để cung cấp cho các phụ tải này. Nếu lấy giá điện theo thị trường điện giờ cao điểm giá thấp nhất là $c = 98,8 \text{ \$/MWh}$ ²¹ thì doanh thu từ nguồn ES là 7 triệu \\$/năm. Trong khi đó, chi phí quản lý và vận hành của ES bình quân gần 2 \\$/MWh¹⁸ tương ứng gần 158 ngàn \\$, kết quả lợi nhuận trên 6,8 triệu \\$/năm.

Bảng 4: Điều kiện nghẽn mạch theo kết quả phân bố công suất

| Công suất ES (MW) | Vị trí lắp đặt ES (nút) | | |
|-------------------|-------------------------|------------------|-----------|
| | 1 hoặc 2 | 3-24 (trừ nút 6) | 6 |
| 10 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | tắc nghẽn |
| 20 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | tắc nghẽn |
| 30 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | tắc nghẽn |
| 40 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | đạt |
| 50 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | đạt |
| 60 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | đạt |
| 70 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | đạt |
| 80 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | đạt |
| 90 | tắc nghẽn | tắc nghẽn | đạt |
| 100 | đạt | tắc nghẽn | đạt |



Hình 7: Biểu đồ đỉnh tải ngày các mùa

Ngoài ra, chi phí đầu tư cho ES khoảng 200 - 500 ngàn \$/MW²¹, ES 40MW sẽ đầu tư trung bình 8 - 20 triệu \$, tính ra thời gian hoàn vốn từ $t_p = 2 - 3$ năm là hoàn toàn có thể đầu tư mang lại lợi nhuận cho nhà đầu tư. Ngoài ra, trong tương lai khi công nghệ vật liệu sản xuất nguồn trữ năng ngày càng phát triển thì giá thành sản xuất sẽ ngày càng cạnh tranh và hiệu quả đầu tư được nâng lên²².

KẾT LUẬN

Quy hoạch mở rộng hệ thống điện luôn là bài toán được các nhà hoạch định chiến lược cũng như các

nhà khoa học quan tâm vì tính chất quan trọng và hiệu quả của sự việc, đặc biệt trong thời đại công nghệ đang phát triển mạnh mẽ làm thay đổi cả về chất lẫn thời gian không gian trong việc thực thi các chính sách. Nguồn năng lượng tái tạo và các loại nguồn phân tán khác kết hợp phát triển nhằm cải thiện trong quy hoạch TEP đã được các nhà khoa học quan tâm⁸. Bài toán ứng dụng ES trong hệ thống điện được đặt ra như là một giải pháp cải thiện quy hoạch hệ thống điện, kéo dài thời điểm phải đầu tư mở rộng hệ thống. Điều này không chỉ mang lại lợi ích về tài chính mà còn có tác dụng san bằng phụ tải giữa thời điểm tải

đỉnh và thời gian thấp điểm phụ tải giúp việc vận hành hệ thống điện hiệu quả hơn, giúp khai thác tối đa các loại nguồn năng lượng tái tạo khác như năng lượng gió và mặt trời, hiệu quả về mặt xã hội tốt hơn.

Trong bài báo này đã xem xét giải thuật MFMC truyền thống và cải tiến rõ nét nhằm khắc phục các khiếm khuyết cơ bản của nó trong ứng dụng bài toán giải quyết tắc nghẽn hệ thống điện khi quy hoạch. Theo đó áp dụng kèm với bài toán tối ưu đã xác định được vị trí và lựa chọn công suất nguồn ES cần lắp đặt trong hệ thống điện 24 bus IEEE RTS phù hợp với phương pháp AC thường sử dụng trong quy hoạch nguồn trước đây.

Kết quả tính toán lựa chọn vị trí và công suất được kiểm tra và tính toán lại nhiều bước bằng phần mềm Matpower 6.0 và kết luận việc sử dụng giải thuật MFMC cải tiến để chọn vị trí và công suất ES là hoàn toàn phù hợp.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

ES (energy storage): Nguồn trữ năng.

TEP (transmission expansion planning): Quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải.

GEP (generation expansion planning): Quy hoạch mở rộng nguồn điện.

MFMC (Max-Flow-Min-Cut): phương pháp mặt cắt tối thiểu.

TCSC (thyristor controlled series compensation): Thiết bị điều khiển điện kháng đường dây.

FACTS (flexible alternating current transmission system): Thiết bị điều khiển thông số vận hành hệ thống điện.

DC: Điện một chiều.

AC: Điện xoay chiều.

GA (genetic algorithm): Thuật toán gen.

PSO (particle swarm optimization): Thuật toán bầy đàn.

NPV (net present value): Lợi nhuận hiện tại thuần.

IRR (internal rate of return): Suất thu hồi nội tại.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

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

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Trương Việt Anh tham gia vào việc đưa ra ý tưởng viết bài.

Đinh Ngọc Sang triển khai ý tưởng, nghiên cứu xây dựng phương pháp, thuật toán để thực nghiệm và viết báo.

Dương Thanh Long đóng góp giải thích dữ liệu và kiểm tra lại bài viết.

Nguyễn Thanh Thuận tham gia thu thập dữ liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mahdavi M, Monsef H. Review of Static Transmission Expansion Planning. *Journal of Electrical and Control Engineering*. 2011;1(1):11.
2. Lumbreras S, Ramos A. The new challenges to transmission expansion planning. Survey of recent practice and literature review. *Electric Power Systems Research*. 2016;134:19–29. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.10.013>.
3. Lee C, Ng SK, Zhong J, Wu FF. Transmission Expansion Planning From Past to Future. *Proc Power Systems Conf Expo*. 2006;PSC06 06(3):257–265. Available from: <https://doi.org/10.1109/PSC06.2006.296317>.
4. Ilic M, Galiana F, Fink L. *Power Systems Restructuring: Engineering and Economics*. New York: Springer Science & Business Media, LLC. 2013;.
5. Duong LT, Yao GJ, Nguyen LT, Guo ZW. Enhancing Total Transfer Capability via Optimal Location of TCSC in Deregulated Electricity Market. *AETA 2013: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences*. 2013;p. 47–56. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41968-3_6.
6. Herbert GMJ, Iniyar S, SESvalan E, Rajapandiand S. A review of wind energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2007;11(6):1117–1145. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.08.004>.
7. Solangi KH, Islam MR, Saidur R, Rahim NA, Fayaz H. A review on global solar energy policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(4):2149–2163. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.007>.
8. Akinyele D, Rayudu R. Review of energy storage technologies for sustainable power networks. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2014;8:74–91. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.07.004>.
9. Makansi J, Abboud J. Energy Storage: the missing link in the electricity value chain-An ESC. *White Paper, Energy Storage Council*. 2002;p. 1–23.
10. Dunn B, Kamath H, Tarascon JM. Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices. *Science*. 2011;334:928–935. PMID: 22096188. Available from: <https://doi.org/10.1126/science.1212741>.
11. Hadjipaschalis L, Poullikkas A, Efthimiou V. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009;13(6-7):1513–1522. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.028>.
12. Hemmati R, Hooshmand RA, Khodabakhshian A. Comprehensive review of generation and transmission expansion planning. *The Institution of Engineering and Technology*. 2013;7(9):955–964. Available from: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2013.0031>.
13. Duong LT, Yao J, Truong VA. Optimal placement of TCSC based on min-cut algorithm for congestion management in deregulated electricity market. *Journal of Electrical Engineering and Technology (IJEET)*. 2012;3(1).
14. Tran T, Choi J, Park JK, Moon SI, El-Keib AA. A fuzzy branch and bound-based transmission system expansion planning considering ambiguities. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*. 2004;.
15. Choi JS, Tran TT, Kang SR, Jeon DH, Lee CH, Billinton R, et al. A study on the optimal reliability criteria decision for a transmission system expansion planning. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*. 2004;.
16. Stoer M, Wagner F. A Simple Min-Cut Algorithm. *Journal of the ACM*. 1997;44(4):585–591. Available from: <https://doi.org/10.1145/263867.263872>.
17. Teleke S. *Energy Storage Overview: Applications, Technologies and Economical Evaluation*. White Paper, Quanta Technology. 2011;p. 1–11.
18. "IEEE Reliability Test System," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. 1979;PAS-98(6):2047–2054. Available from: <https://doi.org/10.1109/TPAS.1979.319398>.

19. The IEEE Reliability Test System - 1996. IEEE Transactions on Power Systems. 1999;14(3):1010–1020. Available from: <https://doi.org/10.1109/59.780914>.
20. Rosenzweig VV, Volarević H. Creation of Optimal Performance of an Investment Project. International Conference on Operational Research. 2010;13:1–11.
21. Krishnan V, Das T. Optimal allocation of energy storage in a co-optimized electricity market: Benefits assessment and deriving indicators for economic storage ventures. Energy. 2015;81:175–188. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.016>.
22. Schmidt O, Hawkes A, Gambhir A, Staffell I. The future cost of electrical energy storage based on experience rates. Nature Energy Analysis. 2017;2. Available from: <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.110>.

Determine the location and capacity of energy storage in the power system using the improved Min-Cut algorithm

Ngoc Sang Dinh^{1,2,*}, Thanh Long Duong³, Viet Anh Truong², Thanh Thuan Nguyen³



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

ABSTRACT

This paper aims to exhibit of optimal location and capacity of energy storage (ES) in electricity development planning, including transmission expansion planning (TEP) and generation expansion planning (GEP). Renewable energy sources are being developed in the world in order to replace the increasingly exhausting and polluting fossil energy sources. However, the energy generation of these types cannot be intentionally controlled but depends on natural conditions. To support the defects that renewable energy causes, energy storage systems have been studied and applied. Developing energy storage to charge cheap energy and provide higher prices in the electricity market is one of the issues that have being attention recently. Although choosing the proper location to place is a great challenge. A number of algorithms have been researched for a long time to find suitable locations for GEP; heuristic algorithms have been used in recent years because of their flexibility and wide range. The heuristic approaches, although being varied over time to become more and more effective search engines, but the problem is withheld into local extremes during searching, the number of too many loops when applied to large network systems, ..., are still being researched and overcome by scientists for heuristic algorithms. On the other hand, the Max-Flow-Min-Cut (MFMC) algorithm has been applied to determine thyristor controlled series compensation (TCSC) to manage congestion that also has been of interest to many researchers but it has some limitations. The MFMC algorithm will be improved more effectively to eliminate congestion collaborate with a heuristic in the paper, and the simulation results tested to determine the position and power of ES on the 24 bus IEEE system showed the algorithm's feasibility.

Key words: Energy storage, congestion management, transmission expansion planning, min-cut algorithm

¹Urban Infrastructure Engineering Faculty, University of Architecture Hochiminh City, District 3, Hochiminh City, Vietnam

²Electrical-Electronic Engineering Department, University of Technology and Education Hochiminh City, Thu Duc District, Hochiminh City, Vietnam

³Electrical Technology Department, Industrial University of Hochiminh City, Govap District, Hochiminh City, Vietnam

Correspondence

Ngoc Sang Dinh, Urban Infrastructure Engineering Faculty, University of Architecture Hochiminh City, District 3, Hochiminh City, Vietnam

Electrical-Electronic Engineering Department, University of Technology and Education Hochiminh City, Thu Duc District, Hochiminh City, Vietnam

Email: sang.dinhngoc@uah.edu.vn

History

- Received: 11-9-2019
- Accepted: 16-12-2019
- Published: 31-3-2020

DOI : 10.32508/stdjet.v3i1.587



Cite this article : Sang Dinh N, Long Duong T, Anh Truong V, Thuan Nguyen T. **Determine the location and capacity of energy storage in the power system using the improved Min-Cut algorithm.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 3(1):339-351.