

QUY HOẠCH HỆ THỐNG ĐIỆN CÓ XÉT ĐẾN TỐI ƯU HÓA ĐỘ DỰ TRỮ

Power system expansion planning in consideration of optimal reserve

ThS. Trần Hữu Tính⁽¹⁾, PGS.TS. Võ Ngọc Điều⁽²⁾, PGS.TS. Quyền Huy Ánh⁽³⁾

^{(1),(3)}Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

⁽²⁾Trường Đại học Bách khoa TP.HCM

TÓM TẮT

Nhiệm vụ chính của quy hoạch mở rộng hệ thống truyền tải là xác định vị trí tối ưu, công suất và thứ tự ưu tiên sẽ đầu tư của từng đường dây, đảm bảo yêu cầu dự báo phụ tải dài hạn với tổng chi phí đầu tư thấp nhất. Nghiên cứu này sẽ áp dụng phương pháp cận biên và nhánh để giải bài toán quy hoạch lưới điện; Phương pháp không chỉ giúp kiểm tra được độ ổn định cũng như tính tối ưu độ dự trữ nút của hệ thống sau khi quy hoạch, mà còn xác định tập hợp tối ưu các tuyến dây cần được mở rộng, đề xuất thứ tự ưu tiên đầu tư từng tuyến nhằm tăng tính kinh tế. Phương pháp đề xuất được chứng minh trên hệ thống truyền tải cao áp thực tế với tổng số nút 24; Tỷ lệ độ dự trữ của hệ thống điện đến 20% ứng với mỗi mức tăng 5% thì chi phí đầu tư cũng tăng dần và hệ thống truyền tải đã đáp ứng nhu cầu phụ tải.

Từ khóa: đánh giá độ tin cậy, hệ thống điện, hệ thống truyền tải, thuật toán cận biên và nhánh, tỷ lệ độ dự trữ

ABSTRACT

The transmission system expansion planning problem aims to determine the optimal location, power, and the investment priority order of each line, ensuring long-term load prediction requirements with the objective of minimization of total investment cost. The proposed method is known as an effective tool in assessing reliability as well as in estimating optimal reserve of the planned transmission system. Moreover, the method helps to determine the optimal set of lines that need to be extended as well as to propose the investment priority order of each line in order to gain economic benefits. The effectiveness of the method is tested on a practical 24-bus system; The optimal reserve of the power system is to 20% for each 5% increase, the investment cost also increases and the transmission system meets the load demand.

Keywords: reliability evaluation, power system, transmission system, branch and bound method, optimal reserve

1. Giới thiệu

Nhiệm vụ cấp bách của hệ thống điện là đáp ứng yêu cầu phụ tải tăng với tốc độ nhanh, yêu cầu kỹ thuật cao và lợi ích kinh tế. Hệ thống điện cần được mở rộng và củng cố nhằm tăng khả năng đáp ứng yêu cầu phụ

tải với độ tin cậy, chất lượng cao với giá thành thấp nhất [1]. Điều này sẽ rất khó có thể đạt được một giải pháp quy hoạch tối ưu toàn hệ thống điện bao gồm nhà máy điện, máy biến áp, đường dây truyền tải, phân phối và các thành phần khác một cách đồng

thời. Bởi vì, hệ thống điện là một hệ thống lớn nên thời gian tính toán sẽ rất lớn. Chính vì thế các vấn đề quy hoạch hệ thống điện đã được chia ra làm nhiều lĩnh vực như quy hoạch hệ thống nguồn điện, hệ thống truyền tải và hệ thống phân phối [2].

Trong nhiều thập kỷ qua, quy hoạch và phát triển hệ thống nguồn điện đã được quan tâm và phát triển mạnh mẽ cả về phương pháp, giải thuật cũng như đầu tư. Trong khi đó quy hoạch và mở rộng hệ thống truyền tải chưa được quan tâm đúng mức. Quy hoạch và mở rộng hệ thống truyền tải là một nhiệm vụ rất quan trọng trong ngành điện, thường được thực hiện sau khi quy hoạch nguồn điện [3]. Các thiết kế tối ưu của quy hoạch mở rộng hệ thống truyền tải là một phần quan trọng của nhiệm vụ quy hoạch tổng thể của hệ thống điện trong thị trường điện cạnh tranh [1-5]. Nghiên cứu áp dụng phương pháp cận biên và nhánh để quy hoạch hệ thống truyền tải có xét đến điều kiện ràng buộc tối ưu hóa độ dự trữ cho hệ thống điện thực 24 nút. Điều này sẽ giải quyết vấn đề phát triển hệ thống truyền tải điện hiện nay và trong tương lai.

2. Nghiên cứu quy hoạch hệ thống truyền tải có xét tối ưu hóa độ dự trữ

2.1. Hàm mục tiêu

Thông thường quy hoạch hệ thống truyền tải là làm tối thiểu tổng chi phí đầu tư cùng với việc đầu tư mới đường dây hoặc máy biến áp được mô tả như:

$$\text{minimize } C^T = \sum_{(x,y) \in \rho} \left[\sum_{i=1}^{m(x,y)} C_{(x,y)}^{(i)} U_{(x,y)}^{(i)} \right] \quad (1)$$

Trong đó:

C_T là tổng chi phí xây dựng phần tử mới;

ρ là tổng số nhánh (đường dây, máy biến áp);

$m(x,y)$ là số phần tử đưa vào giữa x và y ;

$C_{(x,y)}^{(i)}$ là tổng chi phí lắp đặt phần tử mới từ 1 đến i giữa x và y [VNĐx10⁹];

$$C_{(x,y)}^{(i)} = \sum_{j=1}^i \Delta C_{(x,y)}^{(j)} \quad (2)$$

Với $\Delta C_{(x,y)}^{(j)}$ là chi phí lắp đặt phần tử thứ j nối từ x và y ;

$U_{(x,y)}^{(i)}$ là biến nhị phân thay đổi theo đường dây (1 nếu từ 1 đến thứ i được lắp đặt, 0 cho các trường hợp khác):

$$U_{(x,y)}^{(i)} = \begin{cases} 1, & \text{khi } P_{(x,y)} = P_{(x,y)}^{(0)} + P_{(x,y)}^{(i)} \\ 0, & \text{khi } P_{(x,y)} \neq P_{(x,y)}^{(0)} + P_{(x,y)}^{(i)} \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{(x,y)}^{(i)} = \sum_{j=1}^i \Delta P_{(x,y)}^{(j)} \quad (4)$$

Với $P_{(x,y)}^{(i)}$ là tổng công suất các nhánh mới giữa x và y ;

$\Delta P_{(x,y)}^{(j)}$ là Với công suất 1 phần tử mới giữa x và y ;

$P_{(x,y)}^{(0)}$ là công suất có sẵn nối giữa x và y .

2.2. Các điều kiện ràng buộc

Hệ thống điện không thiếu công suất cung cấp có nghĩa là tổng công suất của các nhánh thì lớn hơn hoặc bằng tổng công suất các tải [5]. Cũng tương tự như công suất nút thất cổ chai (hoặc là dòng cực đại của hệ thống). Vì thế điều kiện không thiếu công suất cung cấp được mô tả công thức (5) như sau:

$$P_c(S,T) \geq L_p \quad (s \in S, t \in T) \quad (5)$$

Trong đó: $P_c(S,T)$ là công suất mặt cắt tối thiểu; S và T là nút nguồn chứa s và nút tải chứa t tương ứng khi tất cả các nút bị chia ra bởi mặt cắt tối thiểu.

Điều kiện (5) có thể được mô tả bởi (6) với k là số mặt cắt ($k = 1, 2, \dots, n$), n là số lượng mặt cắt.

$$\sum_{(x,y) \in (S_k, T_k)} \left[P_{(x,y)}^{(0)} + \sum_{i=1}^{m(x,y)} P_{(x,y)}^{(i)} U_{(x,y)}^{(i)} \right] \geq L_p (1 + BRR/100) \quad (6)$$

Trong đó:

L_p là tổng tải yêu cầu;

$P_{(x,y)}^{(i)}$ là tổng công suất các nhánh mới giữa x và y ;

$P_{(x,y)}^{(0)}$ là công suất đường dây hoặc máy biến áp giữa x và y ;

k là số thứ tự mặt cắt ($k = 1, 2, \dots, n$);

$m(x,y)$ là tổng số nhánh mới giữa nút x và nút y ;

BRR (*Bus Reserve Rate*) là độ dự trữ tại nút phụ tải ($\frac{\sum AP-L}{L}$);

AP (*Arrival Power*) là công suất cực đại khi đến tải thanh cái.

2.3. Giới thiệu hệ thống điện truyền tải

Nghiên cứu này áp dụng cho lưới điện có mức điện áp từ 110kV đến 220kV, trên cơ sở kế hoạch xây dựng, vận hành hệ thống điện cùng với phát triển hệ thống nguồn và đã sử dụng kết quả dự báo nhu cầu phụ tải dài hạn.

Bảng 1. Dự báo nhu cầu phụ tải

Nút phụ tải	Công suất cực đại (MW)	Nút phụ tải	Công suất cực đại (MW)
1	119	14	85
2	600	15	65
3	200	16	48

4	200	17	33
5	183	18	31
6	48	19	31
9	275	20	24
10	215	21	36
11	64	22	25
12	126	23	25
13	80	24	49

2.4. Các thông số đầu vào lưới điện

Thông số đầu vào của hệ thống để tính toán quy hoạch cho lưới điện như trình bày tại Bảng 2. Trong đó : GN (*Generators*), TRF (*Transformers*), TRL (*Transmission Lines*) và LD (*Loads*) là đại diện cho các máy phát điện, máy biến áp, đường dây truyền tải và phụ tải tương ứng ; SB (*Start Buses*) và EB (*End Buses*) là các nút nguồn và thiết bị đầu cuối tương ứng ; T_{i-j}^0 và C_{i-j}^0 là chi phí đầu tư và công suất tương ứng của các ứng viên sẽ đầu tư ; T_{i-j}^k và C_{i-j}^k , $k = 1 - 4$ là số đường dây sẽ đầu tư song song với đường dây hiện hữu, với i và j là số nút đầu và nút cuối.

2.5. Kết quả quy hoạch

Công cụ giải bài toán quy hoạch này là phần mềm CMEXPP.FOR. Kết quả cho thấy, khi tăng độ dự trữ nút thanh cái từ 0 đến 20% thì hệ thống điện càng tin cậy, điều này sẽ tăng đầu tư nhiều đường dây, do đó chi phí đầu tư cũng tăng theo Bảng 3. Chính vì, nếu yêu cầu độ dự trữ nút thanh cái tăng thì chi phí đầu tư thực hiện quy hoạch mở rộng lưới điện sẽ tăng theo như trình bày tại Hình 1.

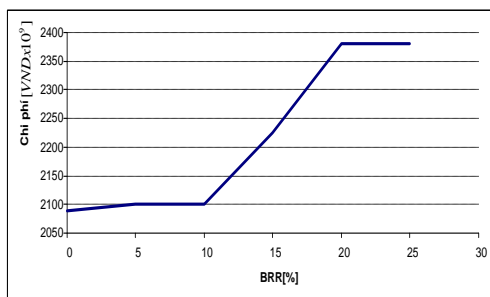
Bảng 2. Thông số đầu vào của quy hoạch lưới điện

T_{i-j}^k : (MW) and C^* : ($VND \times 10^9$)

L	SB	EB	ID	T_{i-j}^0	T_{i-j}^1	T_{i-j}^2	T_{i-j}^3	T_{i-j}^4	C_{i-j}^0	C_{i-j}^1	C_{i-j}^2	C_{i-j}^3	C_{i-j}^4
1	0	1	GEN	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	GEN	1200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	3	GEN	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
6	1	6	TRF	250	250	250	250	0	0	10	10	10	0
7	2	7	TRF	500	250	250	250	0	0	10	10	10	0
8	3	8	TRF	125	250	250	250	0	0	10	10	10	0
...
11	3	4	TRL	285	285	285	285	0	0	641	641	641	0
12	6	16	TRL	80	80	80	80	0	0	83	83	83	0
13	6	17	TRL	93	93	93	93	0	0	20	20	20	0
...
32	1	25	LOD	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	2	25	LOD	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	3	25	LOD	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
51	22	25	LOD	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	23	25	LOD	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	24	25	LOD	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0

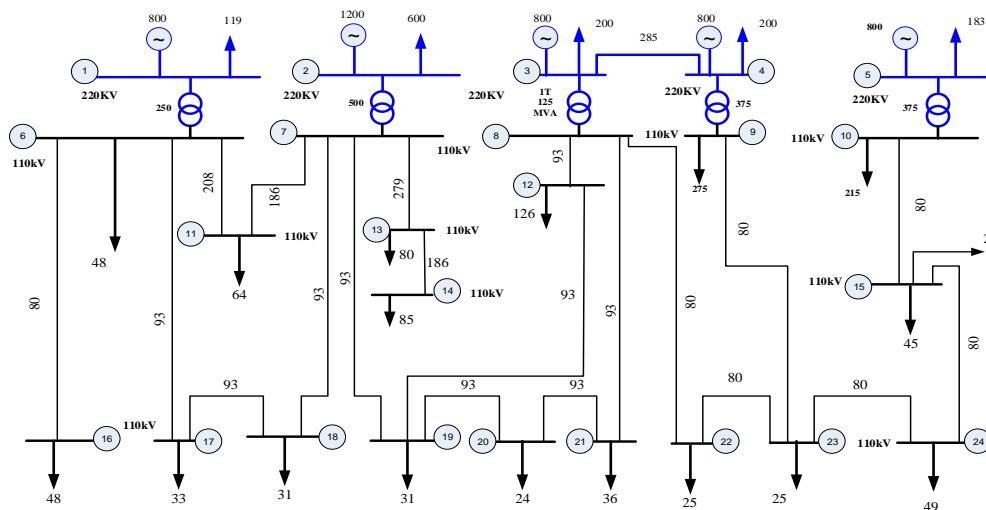
Bảng 3. Kết quả quy hoạch và mở rộng lưới điện theo độ dự trữ

TH	BRR [%]	ĐẦU TƯ THÊM	Chi phí [VNĐx10 ⁹]
1	0	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₂₀₋₂₁ ¹ , T ₁₉₋₂₀ ¹ , T ₈₋₂₁ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₀₋₁₅ ¹	2089
2	5	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₂₀₋₂₁ ¹ , T ₁₉₋₂₀ ¹ , T ₈₋₂₁ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₀₋₁₅ ¹	2099
3	10	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₂₀₋₂₁ ¹ , T ₁₉₋₂₀ ¹ , T ₈₋₂₁ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₀₋₁₅ ¹	2099
4	15	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₈₋₁₂ ² , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ² , T ₁₀₋₁₅ ¹	2225
5	20	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₇₋₁₉ ³ , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₈₋₁₂ ² , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ² , T ₁₀₋₁₅ ¹	2381
6	25	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₇₋₁₉ ³ , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₈₋₁₂ ² , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ² , T ₁₀₋₁₅ ¹	2381



Hình 1. Đường cong tổng chi phí đầu tư theo yêu cầu độ dự trữ BRR[%]

Sơ đồ đơn tuyến hệ thống truyền tải sẽ được mở rộng nhằm đáp ứng yêu cầu phụ tải tăng như trình bày tại Hình 2.

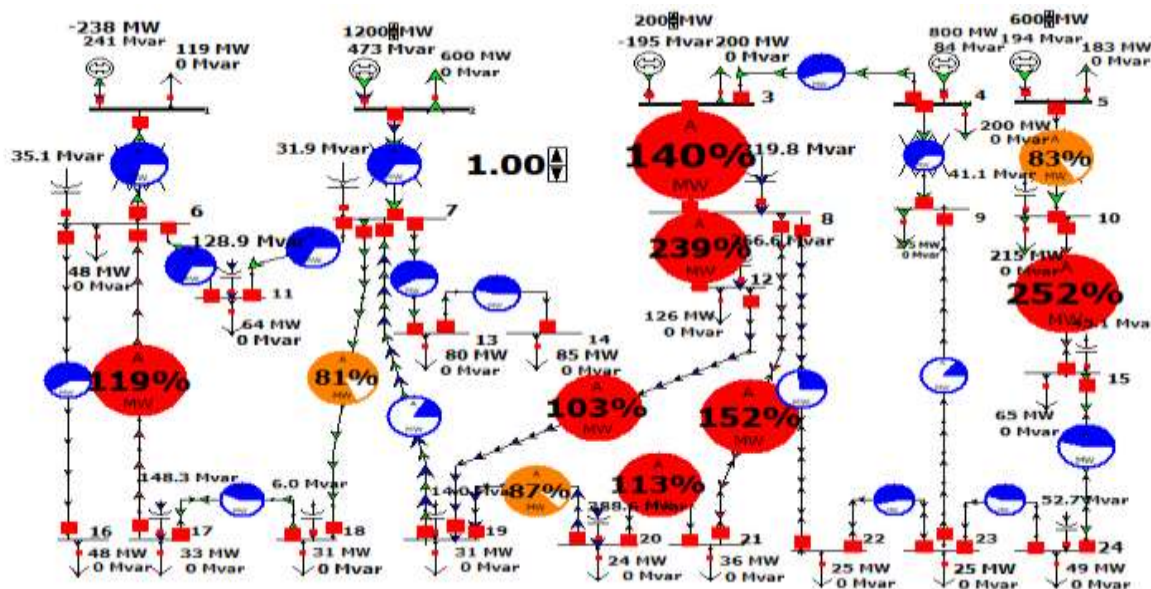


Hình 2. Sơ đồ đơn tuyến hệ thống truyền tải (BRR=5%)

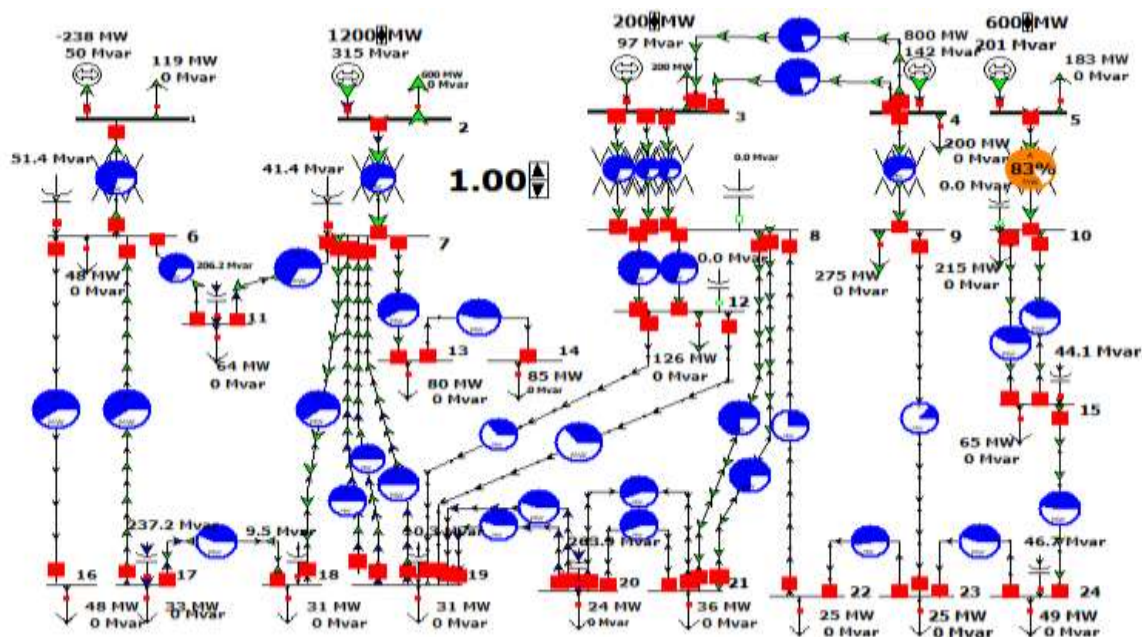
2.6. Kiểm tra phân bố công suất bằng phần mềm PowerWord

Kiểm tra độ ổn định và khả năng tải của đường dây và máy biến áp sau khi quy hoạch sử dụng phần mềm PowerWord. Hình 3 thể hiện hệ thống truyền tải trước quy hoạch, chỉ ra đường dây và trạm biến áp mang quá tải

trên 90% thì hệ thống truyền tải có 7 trường hợp bị quá tải. Sau khi quy hoạch lại theo kết quả trình bày tại Bảng 3 thì hệ thống truyền tải đã ổn định không có trường hợp nào bị quá tải vượt 90%. Điều này được thể hiện ở Hình 4, hệ thống truyền tải đã được đầu tư mở rộng theo yêu cầu của độ dự trữ BRR = 5%.



Hình 3. Hệ thống trước khi kiểm tra quy hoạch



Hình 4. Hệ thống sau khi kiểm tra quy hoạch với độ dự trữ BRR=5%

3. Kết luận

Việc áp dụng phương pháp cộng biên và nhánh đã giải bài toán quy hoạch tối ưu xác định được tập tối ưu các đường dây sẽ đầu tư sao cho chi phí thấp nhất, vị trí theo độ dự trữ. Nghiên cứu không chỉ áp dụng

thành công phương pháp tối ưu độ dự trữ trong quy hoạch hệ thống truyền tải mà còn sử dụng công cụ phần mềm PowerWorld để kiểm tra hệ thống sau khi quy hoạch. Giải thuật đã chứng minh tính khả thi trên quy hoạch dài hạn lưới điện cao áp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Costa Jr, Luiz Carlos da, et al. "Reliability-Constrained Power System Expansion Planning: A Stochastic Risk-Averse Optimization Approach." arXiv preprint arXiv:1910.12972 (2019).
- [2] Moreira, Alexandre, et al. "A five-level milp model for flexible transmission network planning under uncertainty: A min-max regret approach." IEEE Transactions on Power Systems 33.1 (2017): 486-501.
- [3] Thome, Fernanda, et al. "Stochastic Multistage Co-optimization of Generation and Transmission Expansion Planning." arXiv preprint arXiv:1910.01640, 2019.
- [4] Heuberger, Clara F., et al. "Power capacity expansion planning considering endogenous technology cost learning." Applied Energy 204 (2017): 831-845.
- [5] Gomes, Phillipe Vilaca, et al. "Impact of decision-making models in Transmission Expansion Planning considering large shares of renewable energy sources." Electric Power Systems Research 174 (2019): 105852.

Ngày nhận bài: 10/3/2020

Biên tập xong: 15/3/2021

Duyệt đăng: 20/3/2021