

TÍNH TOÁN LẮP ĐẶT TỐI ƯU DAO CÁCH LY PHÂN ĐOẠN TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI BẰNG PHƯƠNG PHÁP QUY HOẠCH ĐỘNG

OPTIMIZATION OF THE INSTALLING SECTIONALIZING SWITCHES IN DISTRIBUTION NETWORKS BASED ON DYNAMIC PROGRAMMING

Trần Tấn Vinh

Trường Cao đẳng Công nghệ Thông tin, Đại học Đà Nẵng; trantanvinh@hotmail.com

Tóm tắt - Một trong những giải pháp nâng cao độ tin cậy cung cấp điện của lưới điện phân phối là lắp đặt dao cách ly phân đoạn trên các nhánh của lưới điện. Nhờ giảm phạm vi và thời gian mất điện khi có lập sự cố nên sẽ giảm được thiệt hại hằng năm do mất điện. Tuy nhiên cần phải đầu tư kinh phí để lắp đặt và vận hành bảo dưỡng. Vì vậy, cần phải tính toán tìm phương án tối ưu lắp đặt các thiết bị phân đoạn. Trong bài báo này, trình bày việc giải bài toán tối ưu hóa việc lắp đặt dao cách ly phân đoạn trên lưới điện phân phối hình tia bằng phương pháp quy hoạch động. Bài toán tối ưu được chia thành nhiều bước tính, các điều khiển tối ưu ở từng bước tìm được dựa vào phương trình truy toán quy hoạch động Bellman. Trên cơ sở thuật toán và chương trình được xây dựng, bài báo trình bày ví dụ áp dụng để minh họa cho phương pháp.

Từ khóa - lưới phân phối; dao cách ly phân đoạn; độ tin cậy; tối ưu hóa; hàm mục tiêu; phương pháp quy hoạch động.

1. Đặt vấn đề

Cùng với sự tăng trưởng của nhu cầu phụ tải sử dụng điện, lưới điện phân phối (LPP) ngày càng phát triển rộng lớn và phức tạp. Một trong những giải pháp để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cho phụ tải là lắp đặt các thiết bị phân đoạn trên lưới phân phối nhằm hạn chế việc mất điện của các phụ tải trong quá trình cô lập sự cố để sửa chữa. Việc lắp đặt các dao cách ly phân đoạn (CLPD) sẽ giảm được thiệt hại do mất điện, nhưng ngược lại cần phải bỏ ra chi phí đầu tư và bảo quản vận hành. Vì vậy, vấn đề đặt ra là cần phải lựa chọn phương án lắp đặt các dao cách ly phân đoạn trên LPP như thế nào cho tối ưu, trên cơ sở hài hòa giữa chi phí và khoản tiền tiết kiệm được. Nếu số nhánh của LPP lớn, sẽ có số lượng lớn các tổ hợp các nhánh cần được xem xét lắp đặt CLPD, dẫn đến khối lượng tính toán lớn, thời gian tính toán lâu. Vì vậy, trong bài báo sẽ đề xuất áp dụng phương pháp quy hoạch động để tìm lời giải tối ưu bằng cách chia bài toán thành nhiều bài toán con đơn giản hơn, nghĩa là biến quá trình tối ưu toàn cục thành quá trình tối ưu nhiều bước.

2. Bài toán tối ưu hóa lắp đặt CLPD trên LPP

Xét lưới điện phân phối dạng hình tia, đầu xuất tuyến thường có đặt các máy cắt điện. Nếu đặt các CLPD sẽ giảm được thiệt hại mất điện trung bình hằng năm vì có thể thao tác CLPD để hạn chế phạm vi mất điện khi sửa chữa sự cố các phần tử trên lưới [1, 3, 5].

Tuy nhiên, khi đó cần phải đầu tư vốn để lắp đặt cũng như vận hành bảo quản. Việc lắp đặt thêm một CLPD chỉ có lợi khi số tiền tiết kiệm được trung bình hằng năm do nâng cao độ tin cậy phải lớn hơn chi phí trung bình hằng năm cho đầu tư và vận hành bảo quản. Để so sánh các phương án tìm phương án tối ưu, hàm mục tiêu là chi phí tính toán hằng năm [2, 6]:

Abstract - Installing sectionalizing switches is one of the methods used to improve the reliability of distribution networks. In such networks, the annual cost of interruptions is reduced by shortening the outage duration. However, these switches need to be invested in to operate and be maintained. Optimizing installing sectionalizing switches is, thus, necessary. This paper presents an optimal measure to install sectionalizing switches on distribution networks based on dynamic programming. The optimal problem is solved by breaking it down into a collection of simpler subproblems of which the optimal solution can be found based on Bellman equations of dynamic programming. The paper presents an example of this method relying on algorithms and Matlab programming.

Key words - distribution networks; sectionalizing switches; reliability; optimization; objective-function; dynamic programming.

$$f = (a_{vh} + a_{tc})K + H_{md} \quad (1)$$

Trong đó: a_{vh} là hệ số vận hành bảo quản thiết bị, thường lấy bằng 8-10%; $a_{tc} = 1/T_{tc}$ với T_{tc} là thời gian thu hồi vốn đầu tư chênh lệch, thường lấy bằng 8-10 năm; K là vốn đầu tư thêm CLPD; H_{md} là thiệt hại mất điện hằng năm do sự cố các phần tử trên lưới điện [1, 2]:

$$H_{md} = c_{md} \times A_{md} \quad (2)$$

A_{md} là lượng điện năng bị mất (không cung cấp được) hằng năm do sự cố (kWh); và c_{md} là đơn giá điện năng do mất điện (đ/kWh).

Vì vậy, bài toán tối ưu lắp đặt các CLPD trên LPP là xác định số lượng và vị trí lắp đặt các CLPD trên các nhánh của LPP sao cho cực tiểu hàm mục tiêu chi phí tính toán trung bình hằng năm.

3. Thuật toán tối ưu hóa việc lắp đặt CLPD trên LPP bằng phương pháp quy hoạch động

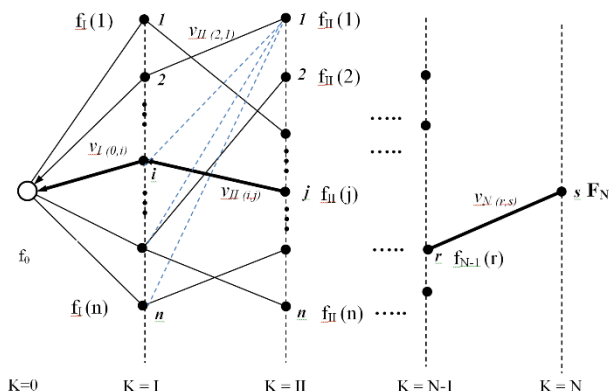
Giả sử có N thiết bị phân đoạn được tính toán để lắp đặt vào N nhánh của LPP, thì sẽ có $(2^N - 1)$ tổ hợp các nhánh có thể lắp đặt. Khi lưới điện có số nhánh lớn, các tổ hợp nhánh cần xem xét sẽ nhiều, dẫn đến thời gian tính toán lâu. Để giải bài toán tối ưu trên, trong bài báo này đề xuất phương pháp quy hoạch động (QHĐ), sẽ được trình bày chi tiết ở các phần sau.

3.1. Phương pháp quy hoạch động

Phương pháp quy hoạch động dựa trên nguyên lý tối ưu Bellman “Dạng đệ quy tối ưu có tính chất là dù điều khiển ban đầu có dạng thế nào, thì điều khiển tiếp theo cũng phải là tối ưu trong trạng thái thu được của điều khiển ban đầu”, nghĩa là “Một chiến lược tối ưu chỉ gồm các sách lược tối ưu”. Đây là một trong những phương

pháp tối ưu hóa hiện đại và mạnh mẽ, được ứng dụng để giải những bài toán tối ưu nhiều bước hoặc nhiều giai đoạn [2, 4].

Giả sử có N dao cách ly phân đoạn cần phải được bố trí lắp đặt trên n nhánh của lưới điện phân phối hình tia. Việc giải bài toán tối ưu theo phương pháp Quy hoạch động được trình bày tổng quát như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ tính toán theo phương pháp QHD

Chia bài toán gồm N bước tính, mỗi bước tính thứ K tương ứng với K dao cách ly phân đoạn ($K = I, II, \dots, N$). Ở mỗi bước tính K có một tập hợp các nhánh được lựa chọn, ký hiệu là $X_K = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n\}$ trong đó x_j là các nhánh ($j=1 : n$).

Gọi $v_K(x_i, K-1; x_j, K)$ là hiệu quả kinh tế (tiết kiệm chi phí) khi liên kết một nhánh x_i (ở bước $K-1$) với nhánh x_j (ở bước K); nghĩa là đặt thêm so với bước tính trước một CLPD ở nhánh x_j . Ví dụ như trên Hình 1 thì $v_{II(2,1)}$ là khoản tiết kiệm chi phí khi đặt thêm một CLPD ở nhánh 1 khi ở bước trước đã có một CLPD đặt ở nhánh 2.

Cuối mỗi bước tính K , mỗi nhánh x_j trong tập X_K sẽ được gán các giá trị $f_K(x_j)$ là chi phí tính toán hằng năm cực tiểu ứng với phương án lắp đặt tối ưu các CLPD khi có K dao cách ly và trong đó có một dao được đặt ở nhánh x_j . Giá trị tối ưu này được tính theo phương trình quy hoạch động Bellman:

$$f_K(x_j) = \min_{X_{K-1}} \{ f_{K-1}(X_{K-1}) + v_K(X_{K-1}, x_j) \} \quad (3)$$

Ở mỗi bước tính K , giá trị cực tiểu của hàm mục tiêu (ký hiệu là f_K) là chi phí tối ưu khi phân bố K dao cách ly phân đoạn trên n nhánh của xuất tuyến lưới phân phối:

$$f_K = \min_{X_K} \{ f_K(x_j) \} \quad (4)$$

3.2. Thuật toán Quy hoạch động giải bài toán tối ưu lắp đặt dao cách ly phân đoạn trên LPP

Dữ liệu ban đầu của bài toán bao gồm: Cấu trúc lưới, vị trí đặt MCD, các thông số độ tin cậy của LPP như cường độ sự cố, thời gian thao tác đổi nối, thời gian sửa chữa trung bình của các phần tử; các số liệu liên quan đến tính kinh tế như chi phí lắp đặt, vận hành CLPD, giá thiệt hại mất điện, thời gian thu hồi vốn đầu tư,...

Việc giải bài toán theo phương pháp Quy hoạch động được thực hiện gồm hai quá trình [2]:

Quá trình ngược: nhằm chuẩn bị thông tin về tối ưu cho bài toán khi xét từ bước đầu tiên (chỉ có 1 dao cách ly phân đoạn) cho đến bước cuối cùng (khi có n CLPD). Phương trình quy hoạch động Bellman có dạng tổng quát như biểu thức (3).

Bước tính đầu tiên ($K=0$): Khởi động bài toán với trường hợp chưa lắp đặt dao cách ly phân đoạn, lúc này giá trị hàm mục tiêu là:

$$f_0 = (a_{vh} + a_{tc})K + H_{md0} = H_{md0} \quad (5)$$

Trong đó H_{md0} là thiệt hại mất điện khi chưa đặt CLPD nào trên LPP.

Bước tính I: Xét trường hợp chỉ có một CLPD, cần tính toán sẽ lắp vào nhánh nào cho tối ưu. Lần lượt tính cho các trường hợp chuyển từ trạng thái ban đầu đến các nhánh x_j ($j=1 : n$) trong tập X_I các nhánh. Cuối bước tính này ta có các kết quả giá trị min của hàm mục tiêu $f_I(x_j)$ gán cho từng nút j ; và chi phí cực tiểu khi lắp đặt một CLPD trên LPP sẽ là:

$$f_I = \min_{x_j \in X_I} \{ f_I(x_j) \} \quad (6)$$

Bước tính II: Xét trường hợp có 2 CLPD được xem xét đặt ở các nhánh nào trên LPP để tối ưu hàm mục tiêu.

Giả thiết CLPD lắp đặt thêm vào nhánh số 2 (ký hiệu nhánh $x_{2,II}$). Liên kết nhánh này với các nhánh trong tập X_I ở bước I, ngoại trừ nhánh số 2. Mỗi một liên kết tương ứng với một tổ hợp 2 nhánh lắp đặt CLPD. Tính toán các giá trị của hàm mục tiêu cho các phương án này và so sánh chúng để tìm giá trị cực tiểu $f_{II}(2)$. Tương tự, tính cho tất cả các nhánh x_j của tập X_{II} . Như vậy, cuối bước tính này có được các giá trị cực tiểu $f_{II}(x_j)$. So sánh các giá trị này tìm được cực tiểu, là chi phí tối ưu khi đặt 2 CLPD vào n nhánh của LPP:

$$f_{II} = \min_{x_j \in X_{II}} \{ f_{II}(x_j) \} \quad (7)$$

Cuối bước này, chỉ lưu lại các kết quả f_{II} và $f_{II}(x_j)$, cũng như các phương án kết nối các nhánh để phục vụ cho việc đi tìm lời giải tối ưu trong quá trình thuận.

Tương tự tính toán cho đến bước cuối cùng. Như vậy qua N bước tính, ta đã có đầy đủ thông tin về lời giải tối ưu có điều kiện khi đi từ bước đầu tiên (có 1 CLPD) cho đến bước cuối cùng (có N CLPD).

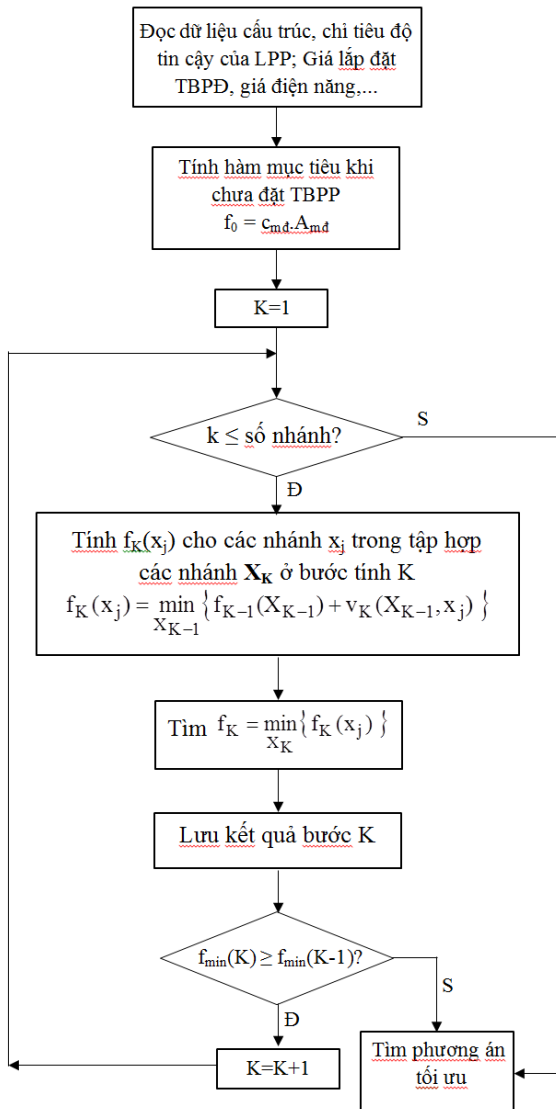
Quá trình thuận: Là quá trình đi tìm lời giải của bài toán tối ưu toàn cục. Dựa vào chi phí tính toán hằng năm cực tiểu (cực tiểu hàm mục tiêu) ở bước tính cuối cùng, ở đây là f_N , ta tìm phương án tối ưu bố trí CLPD như sau:

Giả sử f_N được gán cho nhánh x_s ở cuối bước tính N ; ta tìm lại nhánh ở bước trước ($N-1$) mà nhánh x_s này liên kết, giả sử là nhánh $x_{r(N-1)}$. Như vậy ngoài nhánh x_s CLPD sẽ được đặt thêm ở nhánh x_r . Cứ thế, tiếp tục truy hồi về lại bước đầu tiên, sẽ tìm được tập hợp tối ưu các nhánh được lắp đặt CLPD (xem Hình 1).

Trong trường hợp chi phí cực tiểu ở bước sau (bước L) lớn hơn chi phí cực tiểu ở bước trước ($L-1$) thì quá trình tính toán sẽ dừng lại ở bước ($L-1$), nghĩa là số lượng tối ưu của CLPD chỉ là ($L-1$).

Sơ đồ thuật toán quy hoạch động được trình bày như

hình sau:



Hình 2. Sơ đồ thuật toán quy hoạch động

3.3. Thiệt hại mất điện và hiệu quả kinh tế

a. Thiệt hại mất điện

Thiệt hại mất điện H_{md} trong hàm mục tiêu (1) của bài toán tối ưu được tính trên cơ sở tính toán độ tin cậy của lưới điện phân phối. Khi xét đến thao tác các dao cách ly phân đoạn sau khi máy cắt đầu xuất tuyến đã cắt do sự cố trên các phần tử của lưới điện, có thể sử dụng phương pháp trạng thái để tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy của lưới điện. Trong bài báo này sử dụng chương trình Matlab được trình bày trong [5]. Thiệt hại mất điện được tính theo biểu thức (2).

b. Hiệu quả kinh tế

Hiệu quả kinh tế tăng thêm là khoản tiết kiệm chi phí khi liên kết nhánh x_i (ở bước K-1) với nhánh x_j (ở bước K), được ký hiệu là $v_K(x_{i,K-1}; x_{j,K})$ tính như sau:

Ở cuối bước tính K-1, giả sử nhánh x_i được gán giá trị tối ưu $f_{K-1}(x_i)$, tương ứng với phương án lắp đặt các DCL được xác định bằng đường đi tối ưu từ nhánh x_i này về các bước trước. Với phương án lắp đặt này, tính được lượng

điện năng bị ngừng cung cấp điện trung bình hằng năm là $A_{md}(K-1)$.

Nếu lắp thêm dao cách ly thứ K vào nhánh x_j thì lượng điện năng bị ngừng cung cấp là $A_{md}(K)$.

Thiệt hại mất điện sẽ giảm đi một lượng:

$$\Delta H_{md} = [A_{md}(K) - A_{md}(K-1)] \times c_{md} \quad (8)$$

Vì đặt thêm một CLPĐ (có giá lắp đặt là K_0) nên chi phí tính toán lắp đặt và vận hành tăng thêm một lượng:

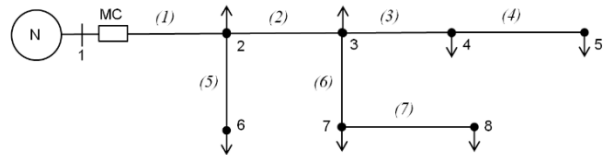
$$\Delta C = (a_{vh} + a_{tc}) K_0 \quad (9)$$

Vì vậy hiệu quả kinh tế sẽ được tính:

$$v_K(x_{i,K-1}; x_{j,K}) = \Delta C + \Delta H_{md} \quad (10)$$

4. Tính toán áp dụng

Dựa vào sơ đồ thuật toán, tác giả đã xây dựng chương trình tính toán trên nền Matlab; được ứng dụng để tính toán tối ưu hóa lắp đặt CLPĐ trên LPP dạng hình tia bất kỳ. Để minh họa cho thuật toán, xét LPP hình tia đơn giản như Hình 3 và số liệu cho ở Bảng 1 và Bảng 2.



Hình 3. Sơ đồ lưới điện phân phối dạng hình tia

Bảng 1. Số liệu nhánh LPP

Nhánh	1	2	3	4	5	6	7
Nút đầu	0	1	2	3	2	3	7
Nút cuối	1	2	3	4	6	7	8
Chiều dài (km)	2,5	2,8	3,0	2,1	1,5	1,4	1,2

Bảng 2. Số liệu phụ tải tại các nút

Nút	1	2	3	4	5	6	7	8
P (kW)	0	1.260	900	800	700	500	500	400

Cường độ sự cố của các nhánh đường dây: $\lambda = 0,2$ [1/km.năm]; Thời gian thao tác đổi nối các CLPĐ: $T_s = 0,5$ h; Thời gian sửa chữa sự cố trung bình: $T_{sc} = 2$ h; Giá thiết bị phân đoạn: $K_0 = 15.10^6$ đ; Thời gian thu hồi vốn: $T_{tc} = 8$ năm; Hệ số vận hành bảo quản: $a_{vh} = 0,1$; Giá thiệt hại mất điện: $c_{md} = 1.800$ đ/kWh.

4.1. Kết quả tính toán

Bước K=0 (khởi động bài toán):

Khi chưa có CLPĐ, thiệt hại mất điện là $f_0 = H_{md0} = 66,033.10^6$ đ

Bước K=1:

Xét trường hợp chỉ có một CLPĐ được xem xét đặt ở các nhánh từ 2 đến 7. Giả sử PBPĐ đặt tại nhánh 2 số tiền tiết kiệm được về thiệt hại mất điện là 13.305.600đ; trong khi chi phí tính toán về vốn lắp đặt và vận hành tăng thêm 3.375.000đ; Hiệu quả kinh tế $v = -9.930.600$ đ. Hàm mục tiêu $f_1(2) = f_0 + v = 56,10.10^6$ đ. Kết quả tính ở bước tính

$K = I$ được trình bày trong Bảng 3:

Bảng 3. Kết quả tính toán bước tính $K = I$

Nhánh x_j	Lợi nhuận v_j (10^6 đồng)	Hàm mục tiêu $f_I(x_j)$ (10^6 đồng)	Phương án đặt CLPĐ ở cuối bước I
2	-9,931	56,102	2
3	-9,697	56,336	3
4	-3,217	62,816	4
5	-1,550	64,483	5
6	4,413	61,620	6
7	-0,651	65,382	7
Phương án tối ưu		$f_I = 56,102$	2

Bước $K=II$:

Xét trường hợp có 2 CLPĐ, cần phải đặt CLPĐ thứ hai này ở đâu khi đã có 1 CLPĐ đã lắp đặt trên lưới? Giả sử CLPĐ này được xem xét đặt ở nhánh 2 chẳng hạn. Liên kết nhánh 2 với các nhánh ở bước I (trừ nhánh 2), tính toán hiệu quả kinh tế của các phương án liên kết và tìm giá trị hàm mục tiêu nhỏ nhất cho nhánh 2, $f_{II}(2) = 52,868.10^6$ đ. Tương tự tính cho tất cả các nhánh, có được kết quả bước tính II như Bảng 4:

Bảng 4. Kết quả tính toán bước II

Liên kết		Lợi nhuận $v(x_j, X_I)$ (10^6 đồng)	Hàm mục tiêu $f_{II}(x_j)$ (10^6 đồng)	Phương án đặt CLPĐ ở cuối bước II
Từ nhánh x_j	Đến nhánh bước I			
2	3	-3,468	52,868	2, 3
3	6	-9,697	51,923	3, 6
4	2	-0,556	55,546	4, 2
5	2	-1,549	54,553	5, 2
6	3	-4,413	51,923	6, 3
7	3	-0,652	55,684	7, 3
Phương án tối ưu			$f_{II} = 51,923$	3, 6

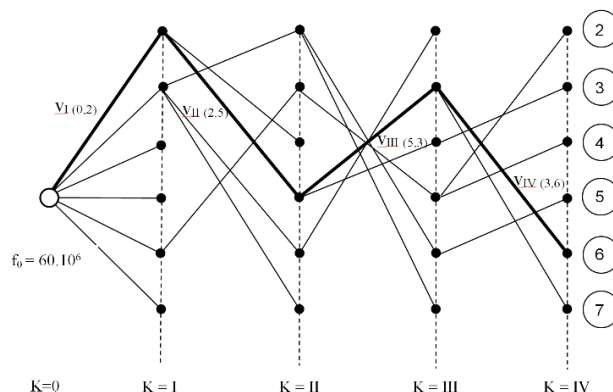
Tương tự, tính cho bước tiếp theo. Đến cuối bước tính IV kết quả như Bảng 5:

Bảng 5. Kết quả tính toán bước $K = IV$

Liên kết		Lợi nhuận $v(x_j, X_{III})$ (10^6 đồng)	Hàm mục tiêu $f_{IV}(x_j)$ (10^6 đồng)	Phương án đặt CLPĐ ở cuối bước IV
Nhánh x_j	Nhánh bước tính III			
2	5	-0,373	50,200	2, 3, 5, 6
3	4	-0,513	53,483	2, 3, 4, 5
4	5	+2,166	52,539	3, 4, 5, 6
5	6	-1,550	50,200	2, 3, 5, 6
6	3	-1,118	50,200	2, 3, 5, 6
7	3	+0,869	52,187	2, 3, 5, 7
Phương án tối ưu			$f_{IV} = 50,200$	2, 3, 5, 6

Tính toán dừng lại ở bước IV vì giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu ở bước V là $52,366.10^6$ đ lớn hơn f_{IV} ; nghĩa là việc đặt thêm PBPĐ thứ năm vào LPP không còn có lợi nữa, tiền tiết kiệm do tăng thêm độ tin cậy không bù lại được chi phí lắp đặt vận hành CLPĐ.

Vậy phương án tối ưu là sử dụng 4 CLPĐ lắp vào đầu các nhánh đường dây {2, 3, 5, 6}. Đường đi tối ưu của các bước tính như Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ các bước tính tối ưu hóa

4.2. Nhận xét

Giá trị tối ưu của hàm mục tiêu là $50,20.10^6$ đ, giảm được $12,83.10^6$ đ so với trường hợp không đặt CLPĐ.

Ở bước tính III, khi liên kết nhánh 7 với nhánh 2 ở bước tính trước, giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu lớn hơn hàm mục tiêu tối ưu ở bước trước ($f_{III}(7) > f_{II}(2)$). Vì vậy, quyết định đi từ nhánh 7 đến nhánh 2 không phải là một quyết định tối ưu, nên không thể nằm trong dãy quyết định tối ưu. Vì vậy, có thể không cần xem xét nhánh 7 cho những bước tiếp theo, tập hợp các nhánh lựa chọn X_K để xem xét sẽ giảm bớt kích thước và như vậy sẽ giảm được khối lượng tính toán.

Nếu có số lượng CLPĐ là K nhỏ hơn số lượng tối ưu N , ta có thể dễ dàng tìm được phương án tối ưu dựa vào kết quả bước tính bước K . Ví dụ, nếu chỉ có 2 CLPĐ, thì phương án tối ưu là đặt vào hai nhánh 3 và 6.

5. Kết luận

Phương pháp quy hoạch động phù hợp để giải bài toán tối ưu hóa số lượng và vị trí lắp đặt trên lưới điện phân phối. Phương trình Bellman là cơ sở để tìm các điều khiển tối ưu trong các bước tính toán.

Ứng dụng phương pháp quy hoạch động cho phép tính toán nhanh chóng phương án tối ưu bố trí các dao cách ly trên lưới điện phân phối để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cho các phụ tải. Phương pháp này càng tỏ ra hiệu quả khi ứng dụng trong hệ thống điện phân phối hiện nay có số nhánh lớn. Phạm vi nghiên cứu trong bài báo chỉ mới dừng lại ở lưới phân phối dạng hình tia. Tuy nhiên, có thể phát triển để ứng dụng tính toán trong lưới điện mạch vòng – vận hành hồ.

Qua thuật toán và chương trình Matlab đã xây dựng, có thể ứng dụng để tính toán thiết kế quy hoạch lưới điện phân phối trong thực tế, tìm ra phương án lắp đặt các thiết bị phân đoạn đạt được mục tiêu tối ưu về mặt kinh tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Bách, *Lưới điện và Hệ thống điện*, tập II, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2000.
- [2] Đặng Ngọc Dinh và các cộng sự, *Hệ thống điện*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1980.
- [3] J. Endrenyi, *Reliability Modelling in Electric Power Systems*, John Wiley & Sons, 1978.
- [4] Allen J. Wood, *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons, 1996.
- [5] Trần Tấn Vinh, “Tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy hệ thống điện phân phối dựa trên trạng thái các phần tử”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ ĐHDN*, Số 05(90), 2015.
- [6] Hồ Quang Vĩnh, “Tối ưu hóa số lượng và vị trí đặt thiết bị phân đoạn trên lưới điện phân phối bằng phương pháp quy hoạch động”, *Luận văn thạc sĩ kỹ thuật*, ĐHDN, 2009.

(BBT nhận bài: 29/03/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 20/04/2017)