

TÍNH TOÁN CÁC CHỈ TIÊU ĐỘ TIN CẬY CỦA LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI MẠCH VÒNG KÍN – VẬN HÀNH HỖ BẰNG PHƯƠNG PHÁP TRẠNG THÁI

CALCULATING RELIABILITY INDICES OF OPEN - LOOP DISTRIBUTION NETWORKS BASED ON THE STATE METHOD

Nguyễn Hữu Hiếu, Trịnh Trung Hiếu, Trần Tấn Vinh

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; nhieuu@dut.udn.vn

Tóm tắt - Lưới điện phân phối cấu trúc mạch vòng kín – vận hành hở ngày càng được phát triển nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cho các phụ tải. Để tính toán độ tin cậy của lưới phân phối mạch vòng, bài báo đề xuất sử dụng phương pháp trạng thái kết hợp với phân tích ảnh hưởng hồng hóc của các phần tử đến phụ tải. Mỗi trạng thái của phần tử sẽ tương ứng với một trạng thái cấp điện của phụ tải (có điện hoặc mất điện), và việc phân loại các trạng thái này được thực hiện thông qua phân tích các đường nối từ nguồn đến phụ tải. Bằng cách hợp nhất các trạng thái sẽ tính được các thông số trạng thái cung cấp điện của các phụ tải. Từ đó tính được các chỉ tiêu độ tin cậy lưới phân phối theo tiêu chuẩn IEEE-1366. Trên cơ sở thuật toán đề xuất, bài báo trình bày kết quả tính toán minh họa cho một sơ đồ lưới phân phối mạch vòng 15 phụ tải, 2 nguồn cung cấp bằng chương trình tính toán Matlab.

Từ khóa - độ tin cậy; lưới điện phân phối mạch vòng; thao tác đổi nối; phương pháp trạng thái; phân tích ảnh hưởng hồng hóc.

1. Đặt vấn đề

Để nâng cao độ tin cậy, lưới điện phân phối có cấu trúc mạch vòng kín – vận hành hở ngày càng được phát triển. Ở chế độ làm việc bình thường, mạch vòng vận hành ở chế độ hở nên lưới phân phối mạch vòng vận hành như các xuất tuyến hình tia, mỗi xuất tuyến được cung cấp từ một nguồn riêng biệt. Độ tin cậy của LPP hình tia có thể được tính toán bằng phương pháp cấu trúc nối tiếp – song song hoặc phương pháp trạng thái khi xét đến các trạng thái đổi nối, bảo quản định kỳ [1, 2, 3]. Đối với lưới điện dạng mạch vòng, khi một phần tử bị sự cố, để hạn chế phạm vi mất điện có thể phải thực hiện thao tác đổi nối sau khi sự cố bị cắt ra do tác động của bảo vệ rơ le. Sau đổi nối một số phụ tải bị mất điện của xuất tuyến này có thể sẽ được cung cấp điện trở lại nhờ chuyển sang nhận điện từ xuất tuyến khác. Vì vậy, việc tính toán độ tin cậy của lưới phân phối mạch vòng sẽ phức tạp hơn lưới hình tia. Bài báo sẽ trình bày phương pháp tính toán các chỉ tiêu độ tin cậy cung cấp điện của lưới điện phân phối mạch vòng, khi sự cố các phần tử bằng phương pháp trạng thái kết hợp với việc phân tích ảnh hưởng hồng hóc các phần tử đến phụ tải thông qua trạng thái của các đường nối từ nguồn đến phụ tải.

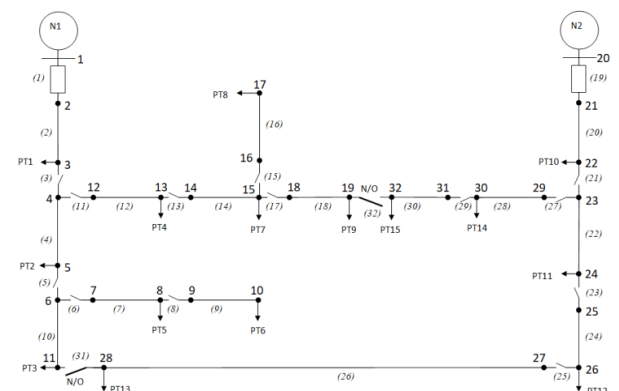
2. Lưới điện phân phối mạch vòng và thao tác đổi nối

Xét sơ đồ lưới điện phân phối gồm: 15 phụ tải, 2 nguồn cung cấp, 2 xuất tuyến XT1 và XT2 được liên kết với nhau theo dạng mạch vòng như Hình 1. Bình thường mạch vòng vận hành hở: Tất cả các máy cắt và dao cách ly phân đoạn của các xuất tuyến đóng; riêng hai dao cách ly liên lạc là (31) và (32) mở.

Abstract - The open-loop power distribution networks have been increasingly developing to improve the reliability of power supply to the load. This research proposes a new scheme to calculate the reliability of the loop distribution networks. The proposed scheme is developed by combining the use of the state method and the analysis of the components' failure effect on the loads. Each state of a component corresponds to a supply state of the loads (live or outage) and the classification of these states will be carried out by analyzing the path from the source to the load. By combining the states, the supply state parameters of the loads are calculated. From this, the distribution network's reliability indices are calculated according to the IEEE-1366 standard. With the proposed algorithm, the author has developed a Matlab-based program to calculate the reliability indices of a sample open-loop distribution network consisting of 15 loads, 2 sources. Calculation results are also presented in this article.

Key words - reliability; open-loop distribution networks; switching operation; state method; analyse effects of component failures.

Nếu các xuất tuyến không có liên kết vòng, khi sự cố phần tử đường dây (12), máy cắt (1) đầu nguồn N1 sẽ cắt ra; tất cả các phụ tải trên xuất tuyến XT1 (nhận điện từ N1) bị mất điện. Để hạn chế phạm vi mất điện, thực hiện thao tác cắt dao cách ly (11) và đóng lại MC (1), như vậy trong thời gian sửa chữa đường dây sự cố (12) thì các phụ tải PT4, PT7, PT8 và PT9 bị mất điện.

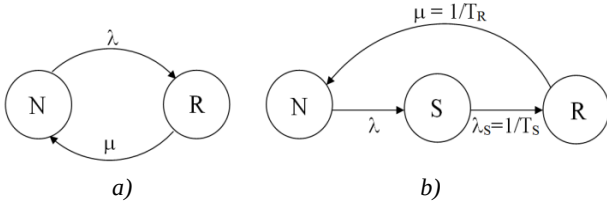


Hình 1. Sơ đồ lưới điện phân phối dạng mạch vòng – vận hành hở, có 15 phụ tải, 2 nguồn cung cấp [4]

Tuy nhiên, do lưới có khép mạch vòng nên có thể tiếp tục thao tác đổi nối như sau: Cắt dao cách ly (13), cắt MC (19), đóng dao liên lạc (32) và đóng lại MC (19). Lúc này các phụ tải PT7, PT8 và PT9 được cung cấp điện trở lại, chỉ còn PT4 mất điện. Như vậy, trong thời gian đổi nối, các phụ tải trên xuất tuyến XT1 mất điện, nhưng khi sửa chữa đường dây sự cố (12) chỉ có phụ tải PT 4 mất điện.

3. Tính toán độ tin cậy của phụ tải và lưới phân phối

3.1. Mô hình trạng thái của các phần tử



Hình 2. Mô hình hai (a) và ba trạng thái (b) của các phần tử

Mỗi phần tử của lưới phân phối có thể được biểu diễn bằng mô hình 2 trạng thái (trạng thái bình thường N và trạng thái hỏng R), hoặc bằng mô hình 3 trạng thái (trạng thái bình thường N, trạng thái hỏng S và trạng thái sửa chữa R) nếu khi sự cố phần tử này có thực hiện thao tác đổi nối để giảm phạm vi mất điện trong quá trình sửa chữa [3].

Đối với những phần tử có mô hình 2 trạng thái như **Hình 2.a**, xác suất các trạng thái [2, 3]:

$$P_R = \lambda T_R P_N = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} ; P_N = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (1)$$

Tần suất các trạng thái:

$$f_R = \frac{P_R}{T_R} = \frac{\lambda T_R P_N}{T_R} = P_N \lambda \quad (2)$$

Trong đó: λ và μ là cường độ sự cố và cường độ phục hồi của phần tử; T_N và T_R là thời gian làm việc an toàn và thời gian sửa chữa (phục hồi) trung bình của phần tử.

Đối với những phần tử có mô hình 3 trạng thái như **Hình 2.b**. Xác suất các trạng thái [2, 3]:

$$P_S = \lambda \frac{1}{\lambda_S} P_N = \lambda T_S P_N ; P_R = \lambda \frac{1}{\mu} P_N = \lambda T_R P_N \quad (3)$$

$$P_N = [1 + \lambda(T_R + T_S)]^{-1}$$

Tần suất các trạng thái:

$$f_S = \frac{P_S}{T_S} = P_N \lambda ; f_R = \frac{P_R}{T_R} = P_N \lambda \quad (4)$$

Với T_S là thời gian đổi nối trung bình của phần tử.

Mỗi trạng thái của phần tử tương ứng với một trạng thái của nút phụ tải: còn được cung cấp điện (gọi là trạng thái tốt TTT) hoặc bị mất điện (gọi là trạng thái hỏng TTH). Ảnh hưởng của các trạng thái của các phần tử đến trạng thái của nút phụ tải trong LPP mạch vòng được trình bày ở Mục 4.

3.2. Các chỉ tiêu độ tin cậy của lưới điện phân phối

Các chỉ tiêu độ tin cậy của lưới điện phân phối theo tiêu chuẩn IEEE-1366 được tính dựa vào các thông số trạng thái của các nút phụ tải theo các biểu thức sau [5]:

$$SAIFI = \frac{\sum_{pt} C_{pt} f_{mdpt}}{\sum_{pt} C_{pt}} \quad (1/năm) \quad (5)$$

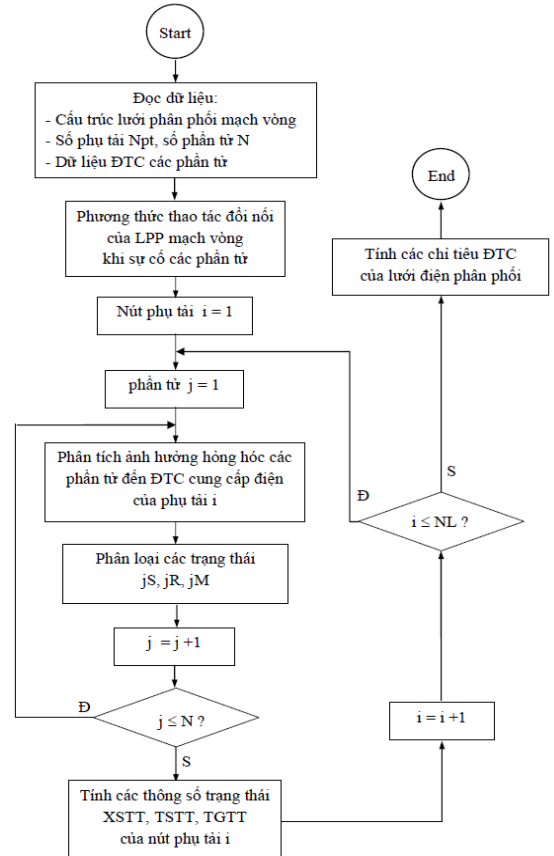
$$SAIDI = \frac{\sum_{pt} C_{pt} f_{mdpt} T_{mdpt}}{\sum_{pt} C_{pt}} \quad (h) \quad (6)$$

$$CAIDI = \frac{\sum_{pt} C_{pt} f_{mdpt} T_{mdpt}}{\sum_{pt} C_{pt} f_{mdpt}} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (h) \quad (7)$$

Trong đó: C_{pt} , f_{mdpt} , T_{mdpt} lần lượt là số lượng khách hàng, tần suất mất điện, thời gian trung bình mỗi lần mất điện của các nút phụ tải (pt).

3.3. Thuật toán tính toán độ tin cậy của lưới phân phối mạch vòng

Độ tin cậy của lưới điện phân phối mạch vòng được tính toán từ các chỉ tiêu độ tin cậy của các nút phụ tải. Thuật toán tính như **Hình 3**.



Hình 3. Thuật toán tính toán độ tin cậy LPP mạch vòng

Khi lưới phân phối có N phần tử, gồm N_1 phần tử 2 trạng thái và N_2 phần tử 3 trạng thái như **Hình 2** thì sơ đồ trạng thái của lưới phân phối sẽ có $[1 + N_1 + 2N_2]$ trạng thái.

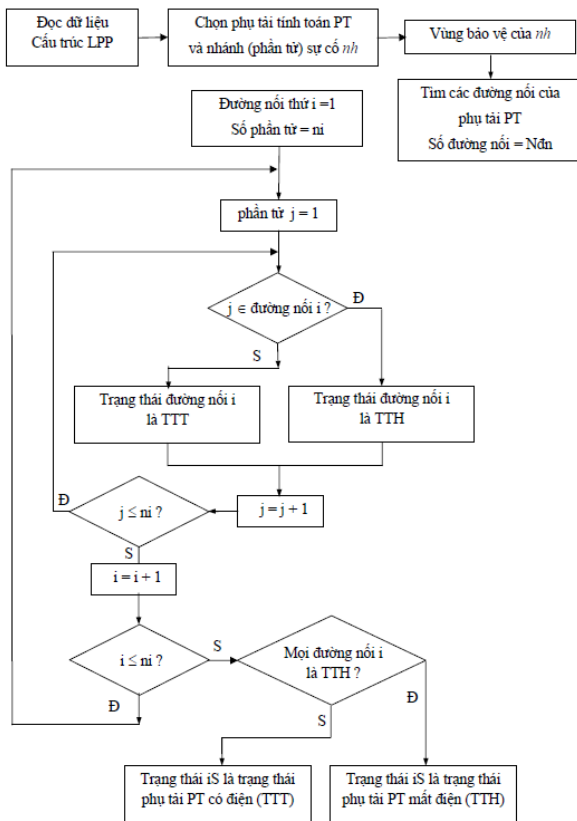
Nếu xét thêm mất điện do bảo quản định kỳ các phần tử thì sơ đồ sẽ có thêm N trạng thái kM (với $k = 1: N$). Xác suất trạng thái N của hệ thống sẽ bằng:

$$P_N = \frac{1}{1 + \sum_{i \in N_1} \lambda_i T_{Ri} + \sum_{j \in N_2} (\lambda_j T_{Sj} + \lambda_j T_{Rj}) + \sum_{k \in N} \lambda_{Mk} T_{Mk}} \quad (8)$$

Thông số các trạng thái iR, jR, jS, kM được tính theo các biểu thức (1) → (4). Hợp nhất các trạng thái mất điện (TTH) cho phép tính được xác suất P_{mdpt} , tần suất f_{mdpt} và thời gian trạng thái mất điện T_{mdpt} của từng nút phụ tải. Sử dụng các biểu thức (5) - (7) sẽ tính được các chỉ tiêu SAIFI, SAIDI, CAIDI của lưới phân phối mạch vòng.

4. Thuật toán phân tích ảnh hưởng trạng thái các phần tử đến các phụ tải

Mỗi phần tử khi thay đổi trạng thái sẽ tương ứng với một trạng thái phụ tải: có điện hoặc mất điện. Để phục vụ công tác vận hành, cũng như phục vụ cho bài toán tính toán độ tin cậy cung cấp điện của lưới điện phân phối cần phải đánh giá ảnh hưởng đó. Đối với những lưới điện đơn giản, có thể phân tích trực quan trên sơ đồ. Tuy nhiên, trong các đồ phức tạp, kích thước lớn thì phương pháp để phân tích ảnh hưởng trạng thái của các phần tử đến trạng thái cấp điện của các phụ tải là dựa vào trạng thái của các đường nối từ nguồn đến phụ tải. Trong lưới phân phối mạch vòng thì mỗi một phụ tải có thể có nhiều đường nối từ các nguồn khác nhau. Phụ tải sẽ còn được cung cấp điện khi còn ít nhất một đường nối kín mạch, và ngược lại phụ tải bị mất điện khi mọi đường nối đều bị đứt ra.



Hình 4. Thuật toán phân tích ảnh hưởng trạng thái S của phần tử đến trạng thái cấp điện của phụ tải

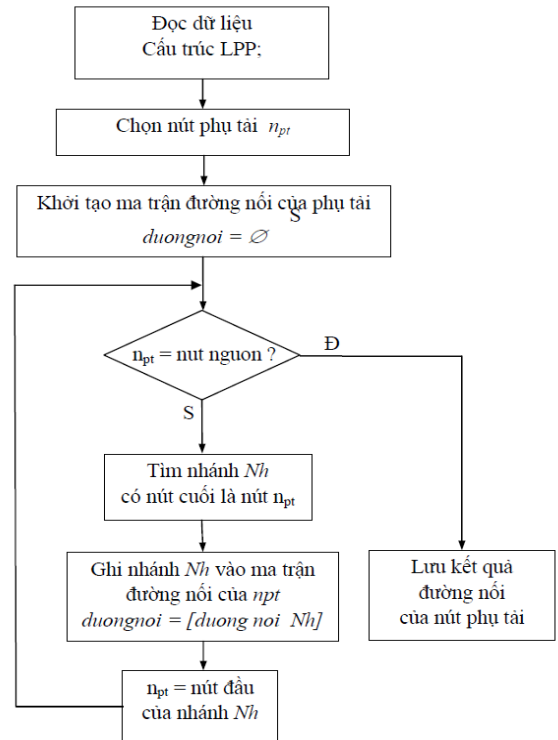
Thuật toán phân tích ảnh hưởng của trạng thái S của các phần tử đến tình trạng cung cấp điện cho phụ tải trong lưới điện phân phối có cấu trúc mạch vòng kín – vận hành hở như Hình 4.

Thuật toán cũng được dùng để phân tích các trạng thái R, M của các phần tử, chỉ khác là dùng vùng sửa chữa hoặc vùng bảo quản thay cho vùng bảo vệ.

4.1. Đường nối từ nguồn đến phụ tải

Trong thực tế lưới phân phối mạch vòng được vận hành ở chế độ hở, các xuất tuyến có dạng hình tia. Phương thức thao tác các thiết bị liên lạc và phân đoạn (như dao cách ly, recloser, LBS,...) khi có sự cố của nguồn hoặc các phần tử

của LPP được tính toán trên cơ sở đảm bảo được yêu cầu giám phạm vi mất điện đến mức nhỏ nhất, và đảm bảo các ràng buộc về an toàn lưới điện. Mỗi phương thức thao tác sơ đồ vận hành các thiết bị liên lạc và phân đoạn sẽ tương ứng với một sơ đồ vận hành hình tia. Vì vậy các đường nối trong mỗi sơ đồ được tính như lưới hình tia theo thuật toán ở Hình 5.



Hình 5. Thuật toán tìm đường nối từ nguồn đến các nút phụ tải của lưới điện phân phối

Ví dụ sơ đồ Hình 1, phụ tải PT4 có 4 đường nối là: $D_1 = \{1, 2, 3, 11, 12\}$; $D_2 = \{1, 2, 3, 4, 5, 10, 31, 20, 25, 24, 23, 22, 27, 28, 29, 30, 32, 18, 17, 14, 13\}$; $D_3 = \{19, 20, 21, 27, 28, 29, 30, 32, 18, 17, 14, 13\}$; $D_4 = \{19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 31, 10, 5, 4, 11, 12\}$.

4.2. Vùng bảo vệ

Vùng bảo vệ (VBV) của một phần tử là tập hợp các nhánh (phần tử) của LPP bị cắt ra khỏi lưới điện do tác động của BVRL khi phần tử đó bị sự cố. Ở chế độ bình thường LPP mạch vòng vận hành hở nên VBV được xác định giống như lưới điện hình tia [3].

Trong sơ đồ Hình 1, bình thường các dao liên lạc (31) và (32) thường mở nên vùng bảo vệ của các phần tử trên xuất tuyến XT1 (nhận điện từ nguồn N1) là toàn bộ XT1 và vùng bảo vệ của các phần tử trên xuất tuyến XT2 (nhận điện từ nguồn N2) là toàn bộ XT2.

Ví dụ, vùng bảo vệ của phần tử (12) và (22) là :

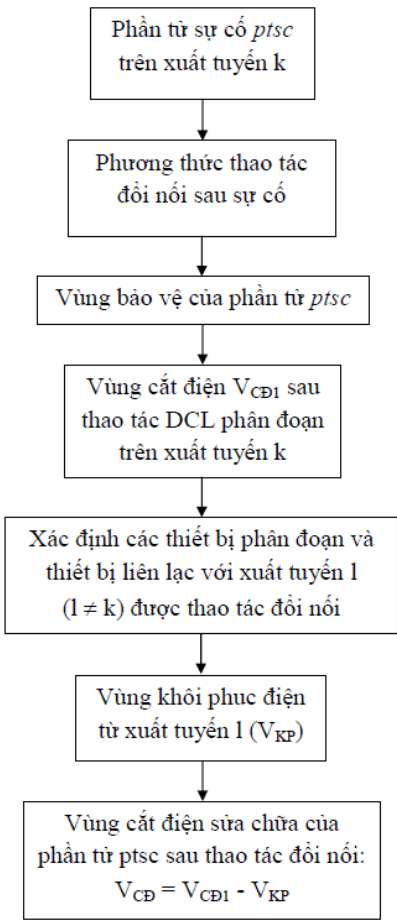
$VBV(12) = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18\}$;

$VBV(22) = \{19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30\}$.

4.3. Vùng sửa chữa

Vùng cắt điện sửa chữa (V_{CB}) của một phần tử là tập

hợp các phần tử bị cắt ra khỏi LPP trong quá trình sửa chữa phần tử sự cố. Đối với lưới điện hình tia một nguồn cung cấp, thì vùng sửa chữa được xác định là tập hợp các nhánh nằm sau thiết bị phân đoạn được cắt ra sau khi máy cắt đầu tuyến bị cắt ra do BVRL. Trong lưới mạch vòng, theo phương thức thao tác đổi nối sẽ có một phần xuất tuyến được chuyển tải sang nguồn khác. Vì vậy vùng sửa chữa sẽ được thu hẹp hơn so với hình tia và xác định phức tạp hơn.



Hình 6. Thuật toán tìm vùng sửa chữa trong lưới phân phối mạch vòng – vận hành hồ

Ví dụ, xét sự cố phần tử (12) trên XT1, vùng mất điện sau khi mở dao cách ly (11) là $V_{CD1} = \{11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18\}$, được xác định giống như lưới hình tia. Sau khi thao tác đổi nối thì dao cách ly phân đoạn thứ hai là DCL (13) cắt, MC2 và DCL liên lạc (32) đóng thì vùng được khôi phục cấp điện trở lại là $V_{KP} = \{14, 15, 16, 17, 18\}$. Do đó, vùng cắt điện để sửa chữa phần tử (12) sẽ là $V_{CD2} = V_{CD1} - V_{KP} = \{11, 12, 13\}$.

Tổng quát, thuật toán tìm vùng sửa chữa sau thao tác đổi nối của LPP khi một phần tử sự cố được trình bày trong Hình 6.

5. Tính toán áp dụng

Dựa vào thuật toán đã trình bày, tác giả đã xây dựng chương trình Matlab để tính toán độ tin cậy của lưới điện phân phối mạch vòng kín – vận hành hồ và sử dụng sơ đồ Hình 1 để tính toán minh họa với kết quả như sau.

5.1. Dữ liệu

5.1.1. Các nhánh đường dây của lưới phân phối

Bảng 1. Số liệu các nhánh đường dây

Nhánh số	Nút đầu	Nút cuối	Chiều dài (km)
2	2	3	2.00
4	4	5	1.00
7	7	8	3.00
9	9	10	3.00
10	6	11	2.00
12	12	13	3.00
14	15	16	3.00
16	16	17	2.00
18	18	19	1.00
20	21	22	5.00
22	23	24	2.00
24	25	26	4.00
26	27	28	3.00
28	30	31	2.00
30	31	32	3.00

5.1.2. Phương thức thao tác đổi nối

Phương thức thao tác các thiết bị đóng cắt và liên lạc trong lưới phân phối mạch vòng kín vận hành hồ được tính toán trên nguyên tắc giảm thiểu phạm vi mất điện và đảm bảo an toàn vận hành nguồn và lưới điện [4]. Giả thiết khả năng tải của lưới điện và công suất các nguồn đều đảm bảo cung cấp cho toàn bộ các phụ tải, phương thức thao tác đổi nối khi có sự cố các phần tử như Bảng 2.

Bảng 2. Phương thức thao tác đổi nối khi sự cố các phần tử

Nhánh sự cố	DCL cắt thứ nhất	DCL cắt Thêm	DCL liên lạc đóng
1, 2	-	3 11	31 32
3	-	5 11	31 32
4	3	5 11	31 32
5	3	11	32
6	5	-	-
7, 8	6	-	-
9	8	-	-
10	5	-	-
11	3	5 13	31 32
12	11	13	32
13	11	17	32
14	13	17	32
15	13	17	32
16	15	-	-
17	13	-	-
18	17	-	-
19	-	21 27	31 32
20	-	21 27	31 32
21	-	23 27	31 32
22	21	23 27	31 32

23	21	25 27	31 32
24	23	25	31
25	23	-	-
26	25	-	-
27	21	23 29	31 32
28	27	29	32
29	27	-	-
30	29	-	-
31	5	25	-
32	17	29	-

5.1.3. Số liệu độ tin cậy của các phần tử

Cường độ sự cố: đường dây $\lambda_0 = 0,2$ (1/năm.km), thiết bị đóng cắt $\lambda_0 = 0,04$ (1/năm). Thời gian sửa chữa: đường dây $T_R = 2$ h, thiết bị đóng cắt $T_R = 2$ h. Cường độ bảo quản định kỳ (BQĐK): của đường dây $\lambda_{0M} = 0,3$ (1/năm.km), của thiết bị đóng cắt: $\lambda_{0M} = 0,5$ (1/năm). Thời gian BQĐK trung bình của đường dây: $T_M = 4$ h; của thiết bị đóng cắt $T_M = 4$ h. Thời gian đổi nối: $T_S = 0,5$ h.

Số lượng khách hàng của các phụ tải: 50.

5.2. Kết quả

Bảng 4. Các chỉ tiêu độ tin cậy của các nút phụ tải

Phụ tải số	Xác suất mất điện (10^{-3})	Tần suất mất điện (1/năm)	Thời gian mất điện (phút/năm)
1	0,000362	4,43	190,34
2	0,000326	4,43	171,19
3	0,000371	4,43	195,13
4	0,000408	4,43	214,28
5	0,000517	4,43	271,74
6	0,000654	4,43	343,57
7	0,000417	4,43	219,07
8	0,000508	4,43	266,95
9	0,000326	4,43	171,19
10	0,000476	4,03	250,20
11	0,000348	4,03	183,16
12	0,00043	4,03	226,25
13	0,000376	4,03	197,52
14	0,000339	4,03	178,37
15	0,000376	4,03	197,52

Kết quả các chỉ tiêu độ tin cậy của LPP mạch vòng:

	SAIFI(1/năm)	SAIDI(phút)	CAIDI(phút)
Sự cố	4,27	218,4	51,2
Sự cố và BQĐK	14,47	1.056,0	73,0

Nếu là LPP hình tia không có liên kết vòng:

	SAIFI(1/năm)	SAIDI(phút)	CAIDI(phút)
Sự cố	4,27	328,1	76,8
Sự cố và BQĐK	14,47	1.781,7	123,0

Nhận thấy khi lưới phân phối có liên kết mạch vòng thì độ tin cậy của lưới điện cao hơn so với lưới hình tia.

6. Kết luận

Bằng phương pháp không gian trạng thái kết hợp với phân tích ảnh hưởng các trạng thái phần tử đến trạng thái đường nối từ nguồn đến phụ tải, có thể tính toán được các chỉ tiêu độ tin cậy của lưới điện phân phối mạch vòng kín – vận hành hở khi xét đến các trường hợp mất điện do sự cố hay cắt điện kế hoạch để bảo quản định kỳ các phần tử trên lưới. Thuật toán và chương trình tính toán Matlab đã xây dựng có thể được sử dụng để tính toán độ tin cậy cho các lưới điện phân phối mạch vòng trong thực tế, phục vụ cho công tác vận hành cũng như những bài toán tối ưu hóa nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng trong đề tài mã số B2016-DNA-47-TT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Bách, *Lưới điện và Hệ thống điện*, tập II, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2000.

[2] J. Endrenyi, *Reliability Modelling in Electric Power Systems*, John Wiley & Sons, 1978.

[3] 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 ĐHQĐN*, Số 05(90), 2015.

[4] Ali A. Chowdhury, Don O.Koval, “Power Distribution System Reliability, Practical Methods and Applications”, *Wiley & Sons*, 2009.

[5] IEEE Std 1366-1998, *IEEE Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1999.