

# PHÂN TÍCH ĐỘ TIN CẬY LƯỚI ĐIỆN TRUNG ÁP MẠCH VÒNG DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP CÂY SỰ CỐ TRẠNG THÁI ĐỘNG VÀ MẠNG BAYES

## ANALYSIS OF RING DISTRIBUTION GRID RELIABILITY BASED ON DYNAMIC FAULT TREE AND BAYESIAN NETWORK

Lê Xuân Sanh

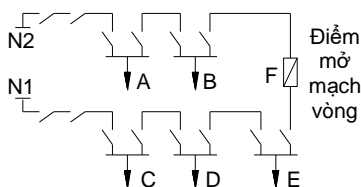
Trường Đại học Điện lực; sanhlx@epu.edu.vn

**Tóm tắt** - Phương pháp sơ đồ cây sự cố (Fault Tree Analysis - FTA) là một kỹ thuật suy diễn được sử dụng rộng rãi và phổ biến trong phân tích độ tin cậy của hệ thống, FTA phù hợp để phân tích các hệ thống phức tạp như hệ thống phân phối điện. Mạng Bayes (Bayesian network) là một mô hình xác suất dạng đồ thị, mô tả đồ thị của mạng Bayes dẫn tới các mô hình để giải thích, và các thuật toán toán học và suy luận hiệu quả. Khi kết hợp hai phương pháp để phân tích độ tin cậy của lưới điện phân phối dạng mạch vòng, có nguồn dự phòng, các phần tử dự phòng sẽ cho kết quả tin cậy. Bài báo giới thiệu việc ứng dụng hai phương pháp FTA và Bayes để phân tích độ tin cậy của lưới điện phân phối mạch vòng, sử dụng sơ đồ IEEE RBTS Bus2 để tính toán và so sánh.

**Từ khóa** - cây sự cố trạng thái động; đánh giá độ tin cậy; độ tin cậy; lưới điện phân phối; mạng Bayes

### 1. Đặt vấn đề

Hiện nay, nhằm nâng cao độ tin cậy cấp điện cho khách hàng, tại những nơi mật độ phụ tải tập trung cao, hệ thống phân phối điện trung áp thường áp dụng phương thức kết cấu dạng mạch vòng (vận hành hở), nhất là đối với đường dây sử dụng cáp ngầm thì điều đó là bắt buộc của lộ đường dây (Hình 1). Điểm mở (vận hành hở) trên đường dây được xác định bởi phương thức vận hành, như Hình 1 khi có sự cố tại trạm biến áp hay đoạn đường dây nào đó thì sẽ cách li đoạn sự cố và hai phía đường dây sẽ được cấp bởi hai nguồn từ hai đầu đường dây lại. Do đó, cho dù nguồn điện dự phòng là đóng tự động hay bằng tay thì thời gian mất điện bình quân của phụ tải sẽ phụ thuộc vào thời gian thao tác cầu dao (máy cắt).



Hình 1. Kết lưới dạng mạch vòng

Dạng phương thức kết lưới như Hình 1 đang được sử dụng nhiều tại các thành phố của Việt Nam. Tuy nhiên, việc đánh giá độ tin cậy cung cấp điện theo phương thức vận hành này chưa được chú ý [1]. Bài báo đề xuất một phương pháp để đánh giá độ tin cậy khi lưới có kết cấu dạng mạch vòng (có nguồn dự phòng) hay có các phần tử dự phòng khác, sử dụng cây sự cố trạng thái động kết hợp mạng Bayes để tính toán.

### 2. Phương pháp cây sự cố trạng thái động

Hệ thống gồm những linh kiện ở trạng thái động, nên không thể trực tiếp áp dụng cây sự cố trạng thái tĩnh truyền

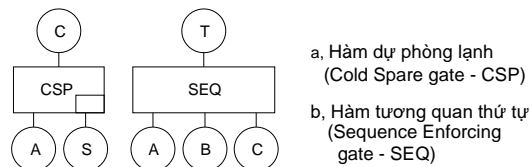
**Abstract** - The fault tree analysis (FTA) approach is a constructive technology, used broadly and generally for analyzing the reliability of power system. FTA is applicable for evaluating the intricate operation such as power distribution system. Bayesian network is a graphical probability model. Graph depictions of Bayesian network lead to models for explanation, make mathematical algorithms easier as well as have efficient inferences. When combining two approaches to determine the reliability of circular-shaped distribution grid having back-up system, reserved components will produce reliable results. This work presents the application of FTA and Bayesian to examine the reliability of ring distribution grid, using IEEE RBTS Bus2 diagram for calculation and comparison.

**Key words** - dynamic fault tree; reliability evaluation; reliability; distribution system; Bayesian network

thống để tiến hành phân tích nó. Nếu trong cây sự cố bao hàm ít nhất một hàm logic trạng thái động, thì gọi đó là cây sự cố trạng thái động. Cây sự cố trạng thái tĩnh, đó là sự mở rộng của cây sự cố trạng thái tĩnh, nó có các đặc trưng như tính tương quan thứ tự, có thể sửa chữa, có nguồn dự phòng, v.v... Nếu hai sự kiện kết hợp với nhau hệ thống sẽ mất tín hiệu, không liên quan đến thứ tự trước sau, tức là cây sự cố trạng thái tĩnh. Còn nếu hai sự kiện phát sinh có liên quan đến thứ tự trước sau, tức là phải có một sự kiện đặc thù phát sinh thì sự kiện thứ hai mới phát sinh, khi đó hệ thống mới mất tín hiệu, hệ thống có tính liên quan đến thứ tự này phải sử dụng cây sự cố trạng thái động [2].

#### 2.1. Hàm logic trạng thái động

Hàm logic của cây sự cố trạng thái động chủ yếu là hàm ưu tiên, hàm tương quan thứ tự, hàm tương quan chức năng, hàm dự phòng nguội và hàm dự phòng nóng, ký hiệu một vài hàm như Hình 2.



Hình 2. Ký hiệu hàm logic của cây sự cố trạng thái động

Hàm tương quan thứ tự trong hàm logic trạng thái động có yêu cầu đối với thứ tự phát sinh sự kiện, sự kiện phát sinh bên cạnh trái ngoài cùng phải phát sinh trước khi phát sinh sự kiện ở bên cạnh phải sát nó, nếu không theo đúng thứ tự và quy tắc như thế thì sự kiện sẽ không phát sinh. Trong các hàm tương quan thứ tự, chỉ có sự kiện nhập vào đầu tiên có thể bao hàm sự kiện cơ bản hoặc sự kiện đầu ra của hàm logic khác, nhưng sự kiện đầu vào khác chỉ có thể

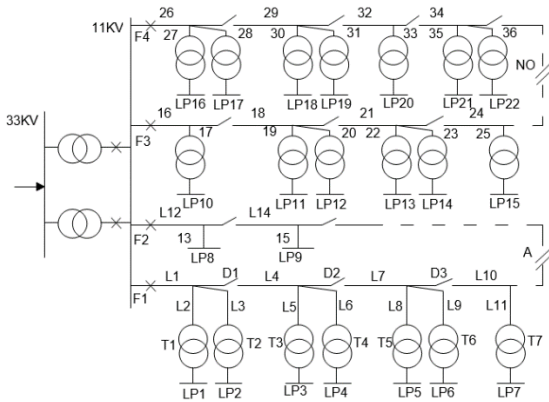
là sự kiện cơ bản [2, 3].

Sự kiện đầu vào của hàm tương quan chức năng là do sự kiện kích ứng và nhiều hơn một sự kiện tương quan tổ hợp thành. Sự kiện kích ứng tức là trong hệ thống nếu những linh kiện này phát sinh sự cố thì sẽ làm cho các linh kiện khác có liên quan đến nó cũng phát sinh sự cố hoặc không thể hoạt động được. Tương tự như hàm tương quan thứ tự, sự kiện kích ứng trong các sự kiện đầu vào có thể là sự kiện cơ bản hoặc sự kiện đầu ra của hàm nào đó, sự kiện đầu vào khác có liên quan chỉ có thể là sự kiện cơ bản. Hàm có liên quan đến chức năng chỉ biểu thị mối quan hệ giữa các linh kiện với nhau, và không có đầu ra thực tế.

**2.2. Thiết lập cây sự cố trạng thái động của hệ thống cung cấp điện**

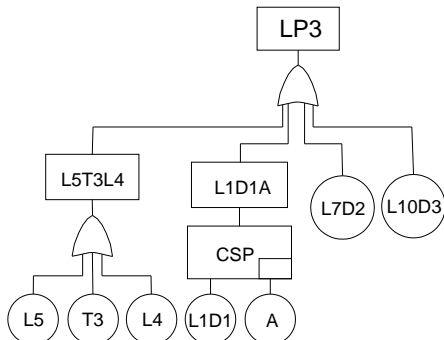
Các bước thiết lập cây sự cố trạng thái động và trạng thái tĩnh tương tự nhau [2], chỉ khi dùng các hàm logic để liên kết tất cả các sự kiện phải xem xét đến ứng dụng hàm logic trạng thái động.

Bài viết lấy đường dây F1 trong sơ đồ IEEE RBTS Bus2 (Hình 3) làm ví dụ tính toán.



Hình 3. Sơ đồ hệ thống phân phối điện IEEE RBTS 2 thành các busbar

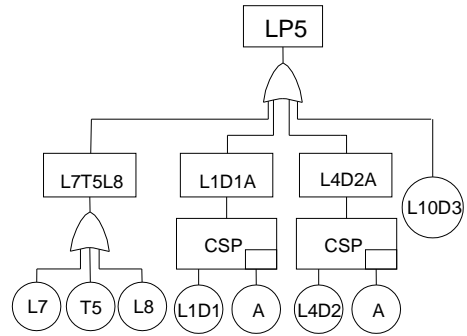
Đối với đường dây F1, nguồn điện dự phòng thông qua máy cắt liên lạc A để liên kết. Khi nguồn điện chính không phát sinh sự cố tức là nguồn điện dự phòng không đưa vào sử dụng, ngắt máy cắt liên lạc (hệ thống vận hành theo kiểu mạch vòng mở). Tính toán trong trường hợp thông thường, giả sử tất cả nguồn điện đều đáng tin cậy, (tuy nhiên trên thực tế, tính tin cậy của nguồn điện ban đầu cao hơn rất nhiều so với nguồn điện dự phòng). Lấy điểm phụ tải LP3 làm ví dụ, trong trường hợp L1 phát sinh sự cố, D1 ngắt, nguồn điện dự phòng A mới được đưa vào sử dụng, lúc này trong cây sự cố phải cho thêm một hàm dự phòng, được thể hiện như Hình 4.



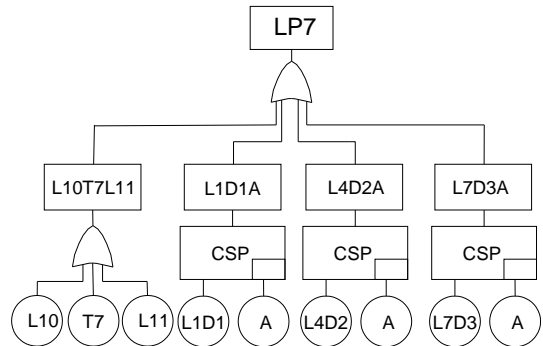
Hình 4. Cây sự cố điểm phụ tải LP3

Tất cả nguyên nhân có khả năng gây nên phát sinh sự cố điểm phụ tải LP3 (trực tiếp liên kết với phụ tải LP3) là do sự cố đường dây L4; dây nhánh L5; máy biến áp T3. Đường dây L7 và L10 gây ngắt dao cách li. L1D1A biểu thị mất tín hiệu nguồn điện. Trong đó, L1 biểu thị do sự cố đường dây L1 gây ngắt dao cách li D1, sau đó nguồn điện dự phòng được đưa vào sử dụng, phụ tải LP3 vẫn ở trạng thái làm việc, sau khi nguồn điện dự phòng A phát sinh sự cố, phụ tải LP3 sẽ mất điện (sự cố).

Điểm phụ tải LP1 và LP2 (Hình 3) khi gặp sự cố, nếu là do sự cố L1 gây ngắt dao cách li, khi đó nguồn điện dự phòng sẽ không thể đưa vào sử dụng, nên cây sự cố của nó là cây sự cố trạng thái tĩnh. Điểm phụ tải LP5 và LP6, bắt luận là do L1 gây ngắt dao cách li D1 hay do L4 gây ngắt dao cách li D2, thì đều đưa nguồn điện dự phòng vào sử dụng [4]. Cây sự cố của điểm phụ tải LP5 được thể hiện như Hình 5.



Hình 5. Cây sự cố điểm phụ tải LP5



Hình 6. Cây sự cố điểm phụ tải LP7

Trong cây sự cố trạng thái động điểm phụ tải LP5, tất cả các sự kiện có khả năng dẫn đến sự cố phụ tải LP5 lần lượt là: đường dây L7, máy biến áp T5, dây nhánh L8; dây L10; sự cố đường dây L1 gây ngắt dao cách li, khi đó nguồn điện dự phòng được đưa vào sử dụng, sau đó nguồn điện dự phòng cũng bị sự cố; sự cố đường dây L4 gây ngắt dao cách li, nguồn điện dự phòng sau khi đưa vào sử dụng cũng phát sinh sự cố. Cây sự cố trạng thái động điểm phụ tải LP6 tương tự như Hình 5, chỉ có sự kiện cơ bản là khác nhau. Cây sự cố trạng thái động điểm phụ tải LP7 trong trường hợp xem xét đến nguồn điện dự phòng được thể hiện như Hình 6.

Từ Hình 6 có thể thấy, trừ đường dây L10 nối trực tiếp với điểm phụ tải LP7, máy biến áp T7 và dây nhánh L11 gây nên sự cố điểm phụ tải LP7, sự cố L1, L4 và L10 dẫn đến ngắt dao cách li sẽ không gây ra sự cố điểm phụ tải LP7, lúc này nguồn điện dự phòng sẽ được đưa vào sử dụng, sau đó do sự cố nguồn điện dự phòng gây ra sự cố điểm phụ tải LP7.

Do điểm phụ tải LP1 và điểm phụ tải LP2 là cây sự cố trạng thái tĩnh, cây sự cố trạng thái động của điểm phụ tải LP3 và LP4 tương tự nhau, cây sự cố trạng thái động của điểm phụ tải LP6 và LP5 tương tự nhau, cần cứ theo phương pháp và các bước như trên ta có thể tìm ra cây sự cố trạng thái động của tất cả các điểm phụ tải. Từ cây sự cố trạng thái động của các điểm phụ tải có thể tìm ra cây sự cố trạng thái động của cả hệ thống. Tiến hành phân tích đối với cây sự cố trạng thái động của cả hệ thống, là có thể tìm ra chỉ số tin cậy cho các điểm phụ tải và của cả hệ thống.

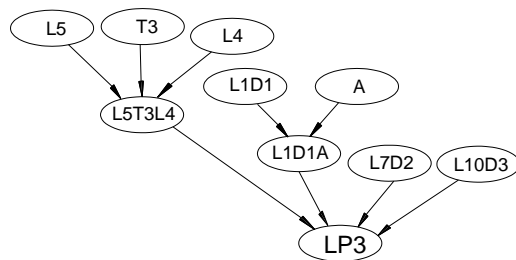
Sau khi xây dựng cây sự cố trạng thái động, nếu sử dụng phương pháp mô hình Markov để phân tích thì quy mô không gian trạng thái sẽ gia tăng theo sự gia tăng của quy mô hệ thống, sẽ dẫn đến việc thiết lập và giải quyết mô hình vô cùng phức tạp, thậm chí xuất hiện trường hợp không thể tính toán và sử dụng, cộng thêm nguyên nhân tính toán thời gian và nội dung làm cho quá trình sử dụng Markov hiện tại chỉ có thể xử lý một số trường hợp kết cấu đơn giản, thiết bị ít [3]. Do vậy, bài báo này sử dụng mạng Bayes để tiến hành mô phỏng, và thông qua đó để tìm ra chỉ số tin cậy. Mạng Bayes cũng thuộc danh mục mô hình bản vẽ, lợi dụng sự phân bố đồ họa và điều kiện xác suất, biểu thị một cách rõ ràng xác suất phát sinh sự cố của các loại linh kiện trong hệ thống, từ đó tìm ra chỉ số tin cậy của hệ thống. Mạng Bayes có đặc điểm lí luận hai chiều, cho nên không chỉ có thể tìm ra chỉ số tin cậy của hệ thống, mà còn tìm ra mắt xích yếu của hệ thống, từ đó nâng cao tính tin cậy của hệ thống và đưa ra những góp ý có tính xây dựng [5].

**2.3. Mô hình mạng Bayes của lưới phân phối**

Sơ đồ cây sự cố phụ tải LP3 như Hình 4 được chuyển hóa dưới dạng mạng Bayes như Hình 7.

Trong Hình 7, tầng thứ nhất là các đường dây và máy biến áp, không có các điểm phụ (kết nối liên hệ), xác suất điều kiện là các xác suất tiên nghiệm. L1D1A và L5T3L4 là các nút trung gian giới thiệu để làm giảm sự phân bố xác

số có điều kiện. L1D1A có nghĩa là đường dây L1 sự cố, dao cách li D1 mở, nguồn điện dự phòng A được đưa vào sử dụng. Nút L1D1A chỉ ảnh hưởng đến điểm tải phía sau nó. Mô hình mạng Bayes của cây sự cố ở các điểm tải khác cũng tiến hành tương tự.



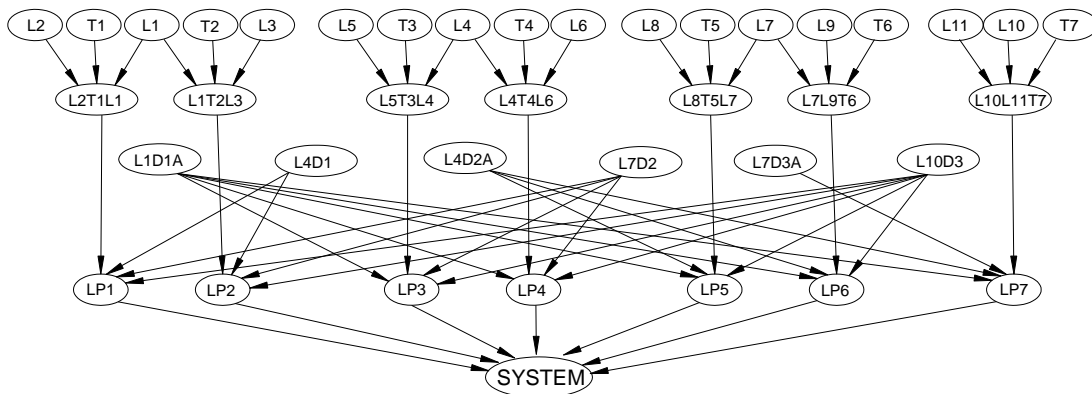
**Hình 7.** Mô tả mạng Bayes của điểm phụ tải LP3

Tiến hành phân tích độ tin cậy đường dây F1, trên hệ thống nêu rõ có dao cách li hay không, có nguồn dự phòng không, có máy cắt bảo vệ nhánh và nguồn dự phòng các nhánh hay không, sẽ có 6 loại kết nối điểm như Bảng 1.

**Bảng 1.** Các loại hình kết nối (C - có, K - không)

Phương thức kết nối	1	2	3	4	5	6
Dao cách li	C	K	K	C	C	K
Bảo vệ đầu nhánh	C	K	C	K	C	C
Nguồn dự phòng	C	K	K	C	C	C
Máy biến áp dự phòng	K	K	K	K	C	K

Bằng phương pháp tương tự, tiến hành phân tích cây sự cố ở các điểm phụ tải khác, sau đó tập hợp lại thành cây sự cố. Có 6 trường hợp kết nối khác nhau của các điểm, mỗi loại đều có kết cấu mạng Bayes khác nhau. Nhưng đã phân tích và đạt được khi đầu vào và đầu ra số liệu là như nhau, thì mạng Bayes là thống nhất, chỉ khác nhau khi đối chiếu xác suất điều kiện của các bộ phận là khác nhau [6], sơ đồ mạng Bayes đường dây F1 như Hình 8.



**Hình 8.** Mô tả mạng Bayes cho đường dây F1, sơ đồ hệ thống RBTS Bus2 (phương thức kết nối 1)

Trong Hình 8, mạng Bayes được thể hiện: tầng một là các điểm thể hiện đường dây từ L1 đến L11, phân tử máy biến áp từ T1 đến T7. Xác suất hoạt động bình thường của các đường dây (phần tử) trong điều kiện bảo trì theo kế hoạch là:

$$P(L_i = 1) = 1 - (L_i(\lambda_i \gamma_i + \lambda'_i \gamma'_i) / 8760) \quad (1)$$

Trong đó:  $L_i$  là độ dài đường dây

$\lambda_i$  và  $\lambda'_i$  là xác suất sự cố bình quân trong năm và kế

hoạch sửa chữa trong năm của đường dây.

$\gamma_i$  và  $\gamma'_i$  là thời gian phục hồi bình quân và thời gian sửa chữa kế hoạch của đường dây.

Bài báo dựa trên đường dây kết nối theo phương thức 1, máy biến áp không có dự phòng, chỉ có thể sửa chữa. Nếu theo phương thức kết nối 5, máy biến áp có dự phòng, xác suất làm việc bình thường là:

$$P(T_i = 1) = 1 - ((\lambda_i \gamma_p + \lambda'_i \gamma'_p) / 8760) \quad (2)$$

Trong đó:  $\lambda_i$  và  $\lambda'_i$  là xác suất sự cố bình quân năm của máy biến áp và kế hoạch sửa chữa bình quân năm.

$\gamma_p$  là thời gian phải thay máy biến áp.

Lớp thứ hai là một nút trung gian được giới thiệu để tạo thuận lợi cho tính toán xác suất có điều kiện, giữa các điểm hàm logic quan hệ là hàm “và”.

Lớp thứ 3 xem xét đầy đủ ảnh hưởng của dao cách li và nguồn điện dự phòng. Điểm L1D1A thể hiện khi đường dây L1 phát sinh sự cố thì các phụ tải sau đường dây L1 gặp sự cố. Trong thời gian đó, xét đến sử dụng nguồn dự phòng, chỉ cần mở dao cách li D1, các điểm phụ tải được cấp điện, L1D1A chỉ ảnh hưởng đến các nút phía sau nó, xác suất có điều kiện được thể hiện:

$$P(L1D1A=1) = 1 - (L_1\lambda_1\gamma_A / 8760) \quad (3)$$

Trong đó:  $\gamma_A$  giá trị lấy trong  $\max\{t_D, t_A\}$ ,  $t_D$  là thời gian thao tác đóng cắt của dao cách li,  $t_A$  là thời gian chuyển đổi nguồn dự phòng.

Sau khi đường dây L4 sự cố, chỉ cần mở dao cách li D1, chỉ những phụ tải trước nó mới được hồi phục cấp điện, xác suất phân bố có điều kiện được thể hiện:

$$P(L4D1=1) = 1 - (L_4\lambda_4\gamma_1 / 8760) \quad (4)$$

Trong đó: L4 là độ dài của đường dây,  $\lambda_4$  là xác suất sự cố bình quân năm,  $\gamma_1$  là thời gian thao tác của dao cách li D1. Lớp thứ tư là các điểm phụ tải, lớp thứ năm là hệ thống các điểm kết nối [7, 8].

Sau khi xây dựng mạng Bayes sẽ xác định được phân bố xác suất có điều kiện và chỉ số độ tin cậy của hệ thống bằng phép suy luận mạng Bayes. Đối với tính không xác định của hệ thống phân phối điện, giả sử xác suất sự cố của đường dây 11 kV thay đổi trong phạm vi là 5%, xác suất sự cố vĩnh cửu của máy biến áp trong phạm vi 3%. Không xét đến sự dịch chuyển phụ tải, sử dụng một số công thức tính toán trong [1], ta có chỉ tiêu độ tin cậy của đường dây F1 như Bảng 2.

**Bảng 2.** Chỉ tiêu khoảng về độ tin cậy

Giới hạn trên và dưới	MIN	MAX
SAIFI (lần/số hộ. a)	0,2359	0,2601
SAIDI (h/số hộ. a)	3,497	3,739
CAIDI (h/số hộ mất điện. a)	14,377	14,826
ASAI	0,999573	0,999601

Theo Bảng 1, đường dây F1 có 6 phương thức kết nối khác nhau, dựa vào các phương thức kết nối khác nhau, tiến hành tính toán khả năng cấp điện trung bình, kết quả như Bảng 3.

**Bảng 3.** Kết quả đối chiếu độ tin cậy của hệ thống

Phương thức kết nối	ASAI (Xác suất khả năng cung cấp điện bình quân)	
	Kết quả tài liệu [9]	Kết quả của bài viết
1	0,999587	0,998539
2	0,997305	0,986257
3	0,999524	0,999523
4	0,999189	0,998235
5	0,999912	0,998862
6	0,998888	0,997305

Cùng các điều kiện như nhau, thì kết quả từ tài liệu [9] và kết quả tính toán từ bài báo gần như nhau, thể hiện phương pháp tính theo bài báo có tính tin cậy cao. Đồng thời, thông qua so sánh cùng kết cấu mạng, do các phương thức kết nối khác nhau, nên chỉ tiêu độ tin cậy cũng khác nhau. Theo phương thức kết nối 2 thì độ tin cậy khá thấp, nên có thể một số biện pháp như thêm dao cách li, thêm máy cắt bảo vệ phân nhánh, thêm nguồn dự phòng để tăng độ tin cậy cấp điện cho hệ thống.

Trong Bảng 3 ta thấy, nếu không xét đến nguồn dự phòng trong các tình huống sự cố, thì khả năng cung cấp điện cho kết quả như tài liệu [9]. Tuy nhiên, nguồn điện dự phòng không phải khi nào cũng tin cậy, nếu xét đến xác suất sự cố của nguồn điện dự phòng thì kết quả khả năng cung cấp điện của bài báo so với tài liệu [9] là thấp, phù hợp với thực tế.

Đối với đường dây F1, phương thức kết nối 2, giả thiết hệ thống có khả năng cấp điện bình quân (Asai) là 1, trong trường hợp vận hành bình thường, thì các phần tử có xác suất làm việc là Bảng 4.

**Bảng 4.** Xác suất làm việc của các phần tử trong trường hợp hệ thống làm việc bình thường

Tham số	Phần tử trong hệ thống					
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Xác suất điều kiện	0,999 992	0,999 983	0,999 980	0,999 984	0,999 980	0,999 978
Tham số	Phần tử trong hệ thống					
	L7	L8	L9	L10	L11	T1
Xác suất điều kiện	0,999 978	0,999 970	0,999 973	0,999 982	0,999 971	0,999 988
Tham số	Phần tử trong hệ thống					
	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Xác suất điều kiện	0,999 988	0,999 988	0,999 983	0,999 983	0,999 983	0,999 983

Từ Bảng 4 có thể thấy, khả năng cấp điện bình quân của hệ thống là 1, thì xác suất điều kiện của các phần tử gồm đường dây L1, máy biến áp T1, T2, T3 có giá trị lớn nhất. Cũng có thể nói, các phần tử trong tình trạng vận hành bình thường, xác suất hệ thống vận hành bình thường là cao nhất, và đó là những phần tử ảnh hưởng nhất đến độ tin cậy của hệ thống. Vì nó ảnh hưởng đến độ tin cậy là lớn nhất, do đó, để nâng cao độ tin cậy cấp điện của hệ thống, trước tiên cần nâng cao độ tin cậy của các phần tử quan trọng. Tức là, thực hiện ngược mạng Bayes, tìm ra các điểm yếu trong hệ thống, có lợi để đề cao độ tin cậy cấp điện cho hệ thống.

### 3. Kết luận

Đối với lưới trung áp mạch vòng, có phần tử dự phòng thì phân tích độ tin cậy phức tạp hơn nhiều so với lưới hình tia. Tác giả lấy bối cảnh lưới trung áp Việt Nam tại các thành phố đang vận hành theo phương thức mạch vòng – vận hành hồ để nghiên cứu độ tin cậy. Sử dụng kết hợp phương pháp cây sự cố trạng thái động và mạng Bayes, bài báo mô tả quá trình phân tích xây dựng các tình huống sự cố, thấy rõ phương pháp trực quan, dễ dàng tiếp cận. Tuy nhiên, để có kết quả đối chứng với phương pháp, tác giả đã sử dụng đường dây F1 sơ đồ IEEE RBTS Bus2 để tính toán. Trước tiên xác định đỉnh sự kiện, xây dựng cây sự cố, sau đó mô hình hóa theo mạng Bayes, cuối cùng là phân tích

độ tin cậy. Kết quả của bài báo cho thấy phương pháp thực hiện đáng tin cậy.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Xuân Sanh, “Phân tích độ tin cậy lưới điện trung áp sử dụng phương pháp cây sự cố”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Năng lượng*, Số 15, 2018, trang 1-9.
- [2] M. Cepin, B. Mavko, “A Dynamic Fault Tree”, *Reliab. Eng. Syst. Safe.*, Vol. 75, 2002, pp. 83-91.
- [3] O. Yevkin, “An Efficient Approximate Markov Chain Method in Dynamic Fault Tree Analysis”, *Qual. Reliab. Eng. Int.*, Vol. 32, 2016, pp. 1509-1520.
- [4] Zefang Zhou, Zheng Liu, Bo Zeng, Yu Pang, Liping He, “Application of the Interval Arithmetic in Reliability Analysis of Distribution System”, *Proceedings of the 2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance and Safety Engineering (ICQR2MSE)*, Chengdu, 2012, pp. 221-223.
- [5] G. P. Cooper., “The Computation Complexity of Probabilistic Inference Using Bayesian Networks”, *Artificial Intelligence*, 42(2), 1990, pp. 393-405.
- [6] Zhiqiang LI, Junyuan GU, Tingxue xu, Linyu FU, Jin AN, Qi DONG, *Reliability Analysis of Complex System Based on Dynamic Fault Tree and Dynamic Bayesian Network*, The Second International Conference on Reliability Systems Engineering (ICRSE 2017).
- [7] Renyan Jiang, *Introduction to Quality and Reliability Engineering*, Beijing Science Press, 1, 2015.
- [8] Michael Pecht, C. K. Kailash, *Reliability Engineering*, Electronic Industry Press, 2011.
- [9] R. N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, et al., “A Reliability Test System for Education Purposes: Basic Distribution System Data and Results”, *IEEE Transactions on Power System*, 6(2), 1991, pp. 813-820.

(BBT nhận bài: 26/4/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 10/7/2018)