

ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY HỆ THỐNG ĐIỆN PHỨC TẠP BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG VÀ CÁC BIỆN PHÁP RÚT NGẮN THỜI GIAN TÍNH TOÁN

TRẦN KỲ PHÚC, VŨ TOÀN THẮNG

Bộ Công thương

LÃ MINH KHÁNH, LÊ THỊ THANH HÀ

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Đánh giá độ tin cậy hệ thống điện phức tạp (mức HL-II) bao gồm phần nguồn điện và lưới điện truyền tải đóng vai trò quan trọng trong quy hoạch, thiết kế cũng như vận hành hệ thống điện. Bài báo giới thiệu các phương pháp đánh giá độ tin cậy hệ thống điện nói chung, ưu nhược điểm và phạm vi áp dụng của chúng. Với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghệ thông tin, phương pháp mô phỏng Monte Carlo ngày càng được sử dụng rộng rãi trong đánh giá độ tin cậy hệ thống điện, nhưng nhược điểm chính của phương pháp này vẫn là khối lượng tính toán lớn, dẫn đến thời gian tính toán dài. Bài báo giới thiệu các nghiên cứu nhằm rút ngắn thời gian đánh giá độ tin cậy hệ thống điện mức HL-II bằng phương pháp mô phỏng.

Từ khoá: đánh giá độ tin cậy, mô phỏng Monte Carlo, thuật toán di truyền, xử lý song song và phân tán.

RELIABILITY EVALUATION OF COMPLICATED POWER SYSTEM BY SIMULATION METHOD AND SOLUTIONS TO SHORTENING EXECUTION TIME

Summary

Reliability evaluation of a complicated power system (HL-II) plays an important role in planning, designing and operating of the power system. The paper presents methods to evaluate the power system reliability, advantages and disadvantages, and applications. Thanks to fast development of information technology industry, the Monte Carlo simulation method becomes widely used in the reliability evaluation of complicated power system, but its main drawback is the huge volume of calculation leading to long execution time. Researches for shortening execution time of simulation method are presented in this paper.

Keywords: reliability evaluation, Monte Carlo simulation, GA, parallel and distributed processing.

Đặt vấn đề

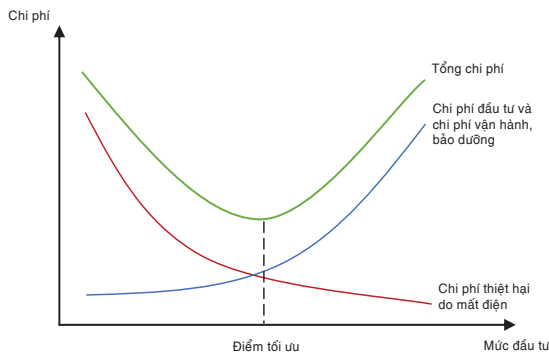
Sự cần thiết đánh giá độ tin cậy hệ thống điện

Việc vận hành hệ thống điện Việt Nam những năm gần đây gặp nhiều khó khăn do áp lực cung cấp điện ngày càng lớn. Tốc độ tăng trưởng nhu cầu phụ tải điện trung bình của Việt Nam trong giai đoạn 2001-2013 là 13,2%/năm, phụ tải hệ thống điện tăng từ 25,9 tỷ kWh năm 2001 lên 115,1 tỷ kWh năm 2013 [1]. Trong điều kiện đó, việc đánh giá độ tin cậy hệ thống điện có ý nghĩa vô cùng quan trọng. Tuy nhiên, cho đến nay ở Việt Nam hầu như chưa có quy định về việc đánh giá độ tin cậy (ngoài tiêu chí đánh giá N-1, N-2) cũng như chưa có công cụ đánh giá độ tin cậy phù hợp được sử dụng để đánh giá độ tin cậy hệ thống điện.

Đối với bài toán vận hành, đánh giá độ tin cậy hệ thống điện hiện tại nhằm phát hiện ra các điểm yếu trong hệ thống, xác định các phần tử cần được tăng cường để đáp ứng nhu cầu phụ tải trong tương lai và lập kế hoạch mở rộng hệ thống điện. Các nghiên cứu, đánh giá độ tin cậy hệ thống điện để đưa ra các biện pháp khắc phục, phòng ngừa, góp phần giảm các tổn thất về mặt kinh tế và xã hội do các sự cố mất điện gây ra.

Đối với bài toán thiết kế và quy hoạch, việc đánh giá

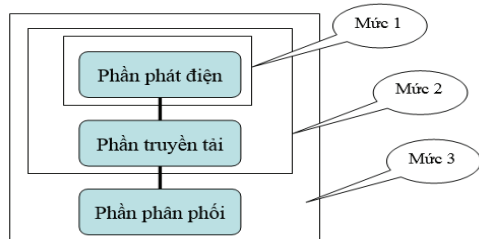
độ tin cậy hệ thống điện cũng hết sức quan trọng trong việc quyết định đầu tư xây dựng hệ thống điện tương lai. Việc quy hoạch một hệ thống điện với độ tin cậy tương ứng với mức đầu tư hợp lý góp phần cung cấp điện cho phụ tải với chất lượng đảm bảo và chi phí phù hợp. Việc đầu tư quá mức sẽ dẫn đến chi phí đầu tư, bảo dưỡng, vận hành lớn và ngược lại mức đầu tư không đủ sẽ dẫn đến chất lượng điện năng cung cấp không đảm bảo, cũng như các chi phí thiệt hại do mất điện tăng. Quan hệ giữa mức đầu tư và các loại chi phí được thể hiện trên hình 1.



Hình 1: quan hệ giữa mức đầu tư và các loại chi phí

Phân loại các bài toán độ tin cậy

Theo [2], xét về mặt cấu trúc hệ thống điện được đánh giá, bài toán đánh giá độ tin cậy hệ thống điện được chia thành các nhóm như dưới đây và được minh họa trong hình 2.



Hình 2: các mức đánh giá độ tin cậy phân loại theo cấu trúc hệ thống điện

- Mức 1 (HL-I): Đánh giá độ tin cậy hệ thống nguồn điện.
- Mức 2 (HL-II): Đánh giá độ tin cậy hệ thống điện phức tạp (bao gồm nguồn điện và lưới điện truyền tải).
- Mức 3 (HL-III): Đánh giá độ tin cậy hệ thống điện bao gồm nguồn điện, lưới điện truyền tải và lưới điện phân phối.

Mức đánh giá độ tin cậy hệ thống điện xét đến phần nguồn điện, lưới hệ thống và các phụ tải hệ thống (tương

ứng với mức HL-II) thu hút nhiều sự quan tâm do tầm quan trọng trong việc quyết định mức độ đầu tư mở rộng nguồn và lưới điện trong tương lai được nghiên cứu và được giới thiệu trong bài báo này.

Các phương pháp đánh giá độ tin cậy

Để đánh giá độ tin cậy hệ thống điện nói chung, có hai cách tiếp cận: (i) Cách tiếp cận tiền định đánh giá khả năng cung cấp điện cho phụ tải với giả thiết có các sự cố xác định trước theo kinh nghiệm chuyên gia; (ii) Cách tiếp cận xác suất, còn được coi là tổng quát hoá của cách tiếp cận tiền định, xét đến tất cả các khả năng có thể xảy ra.

Cách tiếp cận tiền định có điểm yếu là các giả thiết sự cố xác định trước phụ thuộc vào kinh nghiệm của người đánh giá, có thể không bao quát hết các trường hợp có thể xảy ra và có thể bỏ qua một số trường hợp sự cố lớn có thể gây sa thải phụ tải lớn.

Đối với cách tiếp cận xác suất, các phương pháp phổ biến hiện nay dùng đánh giá độ tin cậy hệ thống điện đều có điểm mạnh và điểm yếu riêng [3, 4, 5]:

Phương pháp đồ thị - giải tích phù hợp với các hệ thống điện có cấu trúc đơn giản và đặc biệt hiệu quả đối với các hệ thống không phức hồi, song gặp nhiều khó khăn trong tính toán đẳng trị các phần tử của hệ thống có cấu trúc phức tạp cũng như không xét được quá hai trạng thái của một phần tử.

Phương pháp không gian trạng thái có ưu thế là xét được nhiều trạng thái của phần tử, tính được xác suất và tần suất trạng thái. Song phương pháp này đòi hỏi khối lượng tính toán lớn và thường chỉ dùng cho các hệ thống điện nhỏ và vừa.

Phương pháp cây hồng học phù hợp cho các phân tích cần cho thấy những hồng học và các điểm yếu nhất của hệ thống điện. Tuy nhiên, việc thành lập cây hồng học cũng đòi hỏi nhiều thời gian phân tích, đặc biệt đối với chức năng, cấu tạo các phần tử hệ thống và ảnh hưởng của chúng đến xác suất hồng học.

Phương pháp mô phỏng Monte Carlo có nhiều ưu điểm như dễ sử dụng, có thể áp dụng cho các hệ thống rất phức tạp mà việc sử dụng các phương pháp khác không hiệu quả. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo là phương pháp duy nhất có thể đánh giá được trong trường hợp các thông số độ tin cậy là bất định, tức là biến thiên trong một miền nào đó với hàm phân bố cho trước; tính được phân bố xác suất của các chỉ số độ tin cậy, trong khi các phương pháp giải tích chỉ tính được giá trị trung bình của chúng; tính được ảnh hưởng của các hoạt động vận hành đến độ tin cậy của hệ thống; tính được ảnh hưởng của điều kiện thủy văn (chế độ nước của các hồ chứa) đến độ tin cậy. Nhược điểm của phương pháp này là khối lượng tính toán lớn (nhưng được khắc phục ngày càng tốt nhờ khả năng xử lý với tốc độ cao

của các máy tính cỡ lớn hiện nay và các kỹ thuật tiên tiến trong lập trình).

Nội dung nghiên cứu

Đánh giá độ tin cậy hệ thống điện phức tạp bằng phương pháp mô phỏng

Với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghệ thông tin, phương pháp mô phỏng Monte Carlo ngày càng được sử dụng rộng rãi trong đánh giá độ tin cậy hệ thống điện [2, 6]. Đối với bài toán đánh giá độ tin cậy ở mức HL-II, hệ thống điện được xét đến bao gồm phần nguồn điện và lưới điện truyền tải chính trong hệ thống. Các phần tử được xét đến bao gồm: tổ máy phát điện, đường dây truyền tải và máy biến áp. Trạng thái “làm việc” hay “hỏng hóc” của các phần tử được đặc trưng bởi các thông số T_{LV} : thời gian làm việc trung bình (MTTF) và τ : thời gian sửa chữa trung bình (MTTR). Trạng thái của hệ thống điện là tổ hợp tất cả các trạng thái của các phần tử bao gồm: tổ máy phát điện, đường dây và máy biến áp. Trạng thái của hệ thống điện được coi là “hỏng hóc” nếu vi phạm các điều kiện sau: công suất nguồn thiếu, không đủ khả năng cung cấp điện cho tất cả các phụ tải; đường dây nào đó bị quá tải; điện áp ở một trạm trung gian nào đó vượt quá giới hạn cho phép; một trạm trung gian nào đó bị mất điện.

Các bước đánh giá độ tin cậy hệ thống điện phức tạp bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo như sau:

- Bước 1: chuẩn bị số liệu, bao gồm dữ liệu về hệ thống điện, trạng thái của các phần tử (tổ máy phát điện, đường dây, trạm biến áp), phụ tải công suất tác dụng toàn hệ thống.

- Bước 2: rút thăm trạng thái của các phần tử trong hệ thống điện với mỗi chu kỳ tính toán (1 giờ).

- Bước 3: đánh giá trạng thái của hệ thống điện trong chu kỳ, đó là “làm việc bình thường” hay “hỏng hóc” và xác định lượng phụ tải cần sa thải trong trường hợp cần thiết.

- Bước 4: tính toán bộ chỉ số độ tin cậy hệ thống điện từ số liệu sản lượng điện năng không cung cấp được cho phụ tải được xác định trong bước 3.

Các biện pháp rút ngắn thời gian tính toán

Sự cần thiết và các biện pháp rút ngắn thời gian tính toán: tuy phương pháp mô phỏng Monte Carlo ngày càng được sử dụng rộng rãi do có nhiều ưu điểm so với các phương pháp giải tích, nhưng nhược điểm chính của phương pháp này vẫn là khối lượng tính toán lớn dẫn đến thời gian tính toán dài. Với những hệ thống điện cỡ lớn (ví dụ hệ thống điện Việt Nam hiện nay), thời gian tính toán có thể kéo dài từ vài ngày đến vài tuần tùy theo phương pháp mô phỏng (không theo trình tự thời gian hay theo trình tự thời gian) và mức độ chi tiết của mô phỏng. Để rút ngắn thời gian tính

toán, ngoài việc nâng cấp cấu hình phần cứng, sử dụng các máy chủ cỡ lớn có tốc độ tính toán nhanh, có thể áp dụng các kỹ thuật tiên tiến sau:

- Xử lý song song và phân tán, chia bài toán thành nhiều phần công việc nhỏ hơn độc lập nhau, mỗi phần công việc sẽ được xử lý bởi các luồng (thread) tính toán độc lập hoặc các máy tính độc lập, kết quả sau đó sẽ được gửi về máy chủ để tổng hợp.

- Sử dụng các kỹ thuật tiên tiến trong lập trình, cụ thể là phương pháp đánh giá độ tin cậy bằng phương pháp mô phỏng áp dụng thuật toán di truyền.

Áp dụng xử lý song song và phân tán: xử lý song song và phân tán được định nghĩa bằng việc sử dụng nhiều máy tính đa nhân để cùng thực hiện một công việc tính toán. Hệ thống tính toán phân tán bao gồm các máy tính khác nhau như trên được liên kết bởi hệ thống truyền thông và cùng thực hiện công việc tính toán chung. Hiện nay, cách tiếp cận này trở nên khả thi nhờ vào sự sẵn sàng của các máy tính cá nhân có cấu hình mạnh và được kết nối nhanh, mạnh vào hệ thống chung. Do đó, một nhóm các máy tính đa nhân đã được lựa chọn để thực hiện tính toán (8 máy tính cá nhân, có bộ xử lý core i5, được trình bày trong phần kết quả đánh giá và nhận xét).

Quá trình đánh giá độ tin cậy hệ thống điện bằng phương pháp mô phỏng có thể chia thành các bài toán nhỏ, trong đó mỗi bài toán đánh giá trạng thái hệ thống điện theo năm hoặc theo giờ. Việc đánh giá trạng thái hệ thống điện theo năm hoặc theo giờ là hoàn toàn độc lập so với việc đánh giá trong năm khác hoặc giờ khác. Do đó, việc chia nhỏ bài toán có thể thực hiện theo hai cách: chia theo cơ sở năm hoặc chia theo cơ sở giờ. Tuy nhiên, việc chia nhỏ bài toán theo cơ sở giờ có thể làm tăng khoảng thời gian dành cho việc truyền thông tin giữa máy chủ và máy trạm cũng như gặp khó khăn trong việc sắp xếp các kết quả mô phỏng. Do đó, cách chia nhỏ bài toán thành các bài toán nhỏ hơn được thực hiện theo cơ sở giờ.

Quá trình thực hiện được mô tả như sau:

- Quá trình đăng ký: “Nút chủ” (Master node) và các “Nút tính toán” (Computing node) giao công việc và đăng ký công việc với “Nút đăng ký” (Register node).

- Chuẩn bị mô phỏng: “Nút chủ” thiết lập các thông số mô phỏng thông qua giao diện hoặc thông qua cơ sở dữ liệu; gửi các thông tin mô phỏng đến các “Nút tính toán”. Các “Nút tính toán” sử dụng thông tin từ “Nút chủ” để thiết lập môi trường tính toán.

- Quá trình mô phỏng: các “Nút tính toán” gửi yêu cầu đến “Nút chủ” để đăng ký công việc; “Nút chủ” gửi thông tin về công việc yêu cầu (năm mô phỏng) cho “Nút tính toán”; “Nút tính toán” thực hiện mô phỏng và gửi kết quả về cho

- Tiếp theo, hệ thống được đánh giá bởi 8 máy tính cá nhân cùng cấu hình, mỗi máy tính sử dụng 4 luồng tính toán.

Các chỉ số đánh giá bao gồm: thời gian tính toán trung bình cho một năm mô phỏng, hệ số tăng tốc và hiệu suất. Trong đó hệ số tăng tốc và hiệu suất được định nghĩa như sau:

$$\text{Hệ số tăng tốc} = T_p/T_1 \quad (1)$$

$$\text{Hiệu suất} = (\text{Hệ số tăng tốc}/p) \quad (2)$$

Trong đó, T_1 và T_p là thời gian tính toán trung bình cho 1 luồng hay p luồng tính toán (trong trường hợp sử dụng một máy tính để đánh giá); hoặc là thời gian tính toán cho 1 máy tính hay p máy tính (trong trường hợp sử dụng p máy tính để đánh giá). Kết quả đánh giá trong trường hợp sử dụng một máy tính cá nhân với số luồng tính toán khác nhau được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1: thời gian tính toán, hệ số tăng tốc và hiệu suất

Chỉ số	Số luồng (thread)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Thời gian mô phỏng (s)	193	99	66	48	50	52	57	55
Độ tăng tốc (lần)	1,00	1,95	2,92	4,04	3,86	3,68	3,41	3,51
Hiệu suất (%)	100	97	97	101	77	61	49	44

Từ bảng 1 có thể rút ra các nhận xét sau:

- Khi số luồng tính toán tăng từ 1 đến 4, hệ số tăng tốc tăng từ 1 lên 4,04 lần, thời gian tính toán trung bình cho một năm mô phỏng giảm từ 193 s xuống 48 s.

- Khi số luồng tính toán tăng từ 4 lên 8, hệ số tăng tốc không tiếp tục tăng mà giảm xuống mức 3,51.

Thực hiện tương tự với trường hợp đánh giá độ tin cậy hệ thống điện IEEE-RTS bằng nhóm 8 máy tính mô tả trên đây thì khi số máy tính tăng từ 1 lên 8, hệ số tăng tốc tăng từ 1 lên 7,92 và thời gian tính toán trung bình cho một năm mô phỏng giảm từ 49,6 s xuống 6,2 s.

Áp dụng thuật toán di truyền

Đánh giá thử nghiệm thuật toán với hệ thống điện tiêu chuẩn IEEE-RTS nêu trên. Quá trình đánh giá bao gồm 2 bước:

Bước 1: đánh giá độ tin cậy hệ thống điện IEEE-RTS bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo theo trình tự thời gian (phương pháp 1).

Bước 2: đánh giá độ tin cậy hệ thống điện IEEE-RTS bằng phương pháp mô phỏng áp dụng thuật toán di truyền (phương pháp 2).

Qua đánh giá có thể rút ra một số nhận xét sau:

- So sánh thời gian đánh giá độ tin cậy hệ thống điện

IEEE-RTS giữa hai phương pháp đánh giá với cùng mức độ sai số, thời gian thực hiện của phương pháp 2 bằng 37% so với phương pháp 1.

- Phương pháp 2 có một số ưu điểm so với phương pháp 1: giảm số trạng thái hệ thống điện cần đánh giá, qua đó rút ngắn thời gian tính toán; không gặp vấn đề về hội tụ khi hệ thống điện bao gồm các phần tử có độ tin cậy cao như đối với phương pháp 1; có thể phân tích sâu hơn về các trạng thái “hồng học” của hệ thống điện từ dữ liệu được lưu trong mảng trạng thái các hệ thống điện “hồng học”, qua đó tìm kiếm các phần tử “yếu” trong hệ thống điện để có biện pháp cải tạo, tăng cường phù hợp.

Kết luận

Việc áp dụng các kỹ thuật tiên tiến như xử lý song song, phân tán cũng như áp dụng thuật toán di truyền giúp giảm đáng kể thời gian đánh giá độ tin cậy hệ thống điện phức tạp. Để tăng cường hiệu quả của việc sử dụng các phương pháp trên, cần lưu ý một số điểm sau:

- Với trường hợp áp dụng xử lý song song và phân tán, đối với một hệ thống điện cụ thể cần tính toán trước số luồng tính toán hợp lý để sử dụng tối ưu hệ thống máy tính hiện có, giúp tăng tốc tối đa quá trình tính toán tương ứng với việc rút ngắn tối đa thời gian tính toán.

- Với trường hợp áp dụng thuật toán di truyền, việc lựa chọn toán tử thuật toán di truyền phù hợp rất quan trọng đối với khả năng hội tụ, giúp giảm thời gian hội tụ của bài toán. Đối với bài toán đánh giá độ tin cậy hệ thống điện phức tạp, quá trình đánh giá trạng thái các hệ thống điện được lấy mẫu chiếm thời gian lớn nhất. Với sự định hướng tìm kiếm của thuật toán di truyền, quá trình đánh giá độ tin cậy có thể chọn lọc và giảm bớt số lượng các trạng thái hệ thống điện cần lấy mẫu và đánh giá, qua đó làm giảm khối lượng tính toán và rút ngắn thời gian tính toán.

Tài liệu tham khảo

[1] Báo cáo tổng kết EVN.
 [2] Billinton R. and Allan R., 1994, Reliability evaluation of power systems, New York: Plenum Press.
 [3] Trần Bách, 2008, Lưới điện và hệ thống điện, tập 2, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
 [4] Endrenyi J., 1979, Reliability modeling in electric power systems, New York: Wiley and Sons.
 [5] Trần Kỳ Phúc, Vũ Toàn Thắng, 2011, Nghiên cứu xây dựng hệ thống đánh giá giám sát an ninh hệ thống điện Việt Nam, Viện Năng lượng.
 [6] Gregory Levitin, 2008, Computational Intelligence in Reliability Engineering, Springer.
 [7] IEEE Committee Report, “IEEE Reliability Test System”. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Nov/Dec, PAS-98(6), pp. 2047-2054, 1979.