

MÔ PHÒNG SỐ KỸ THUẬT ĐIỆN PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU VÀ ĐÀO TẠO

Trịnh Trọng Chương

Đại học Công Nghiệp Hà Nội.

ABSTRACT

In the training and research in electrical Engineering, Software System for Simulation of Electric Power in Real time is very important. Power engineering education is again a topic of great interest ever since the process of deregulating the power industry has been initiated. Selecting the simulation technology as a base for developing the computer exercises, the project has concentrated on the development and utilization of a variety of simulation environments. The use the free software in the teaching process for future engineer training about de virtual laboratory is very recommendable. This paper gives a sample of an overview on the electrical power software tools

1. GIỚI THIỆU

Mô phỏng số là sự phát triển và hoàn thiện của phương pháp mô hình hóa trong đó các biến trạng thái và hành vi của hệ được phản ánh một cách đầy đủ thông qua hệ phương trình trạng thái. Ở đây, toán học là công cụ chủ đạo. Vấn đề mấu chốt là biết cách mô tả chính xác các hành vi của hệ thống thực. Mô phỏng số không chỉ tham gia ở giai đoạn phân tích, tổng hợp thông số mà còn có mặt trong suốt chu trình của sản phẩm hoặc hệ thống. Số lượng biến trạng thái và các hành vi của chúng nói chung không hạn chế; các siêu máy tính có khả năng gần như vô hạn [1, 2]. Ví dụ: để nghiên cứu quá trình quá độ và ổn định của hệ thống điện Việt Nam đến 2010 nếu chỉ sử dụng mô hình mạch thông thường ta chỉ có thể giải quyết bài toán với một số giả thiết đơn giản hóa. Tuy nhiên, với kỹ thuật mô phỏng số ta có thể xem xét đầy đủ mọi thông số của hệ thống thực. Với phần mềm mô phỏng và tính toán PSS/E cho phép dễ dàng tính toán của hệ thống điện Việt Nam với 1442 nút và 117 máy phát điện có tổng công suất 14.420 MW + j6480 MVAR trong chế độ vận hành bình thường cũng như các chế độ sự cố khác nhau.

Ngoài thế mạnh của mô phỏng số là linh hoạt và vạn năng, mô phỏng số còn cho phép dự báo những tình huống xấu nhất có thể xảy ra đối với một hệ thống. Do đó, mô phỏng số có thể được coi như là một dạng nghiên cứu thứ 3 bổ sung cho nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm. Việc thâm nhập của mô phỏng số vào tất cả các hoạt động của một dự án kỹ thuật bất kỳ nào đó, xuyên suốt toàn bộ quá trình thực hiện một dự án, từ đề xuất ý tưởng thiết kế cho đến thực hiện và vận hành hệ thống thực, mô phỏng cho phép kiểm tra, đánh giá nhiều phương án khác nhau, từ đó lựa chọn được phương án thích hợp nhất. Trải qua một quá trình phát triển lâu dài, lĩnh vực mô phỏng đã có những bước tiến đáng kể. Các phần mềm mô phỏng ngày càng trở nên linh hoạt, mạnh mẽ, thân thiện và gần gũi với người sử dụng, là một công cụ cần thiết và hữu ích đối với các nhà khoa học. Các bài toán của hệ thống lớn như hệ thống điện, hệ thống điều khiển quá trình... đòi hỏi mô hình số ngày càng phức tạp. Các kỹ sư công nghệ và tin học cần tiếp cận với lĩnh vực đang nghiên cứu sôi động này.

2. PHÂN LOẠI CÁC PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG

Ngày nay, tất cả các hệ thống mô phỏng đều được thực hiện trên máy tính thông qua các phần mềm mô phỏng. Vì lý do thông dụng, bài báo này chỉ xem xét các phương pháp mô phỏng cũng như các phần mềm mô phỏng cho máy tính cá nhân. Có hai phương pháp mô phỏng chính được sử dụng hiện nay là *mô phỏng tuần tự* hay *mô phỏng nhân-quả* (sequential, causal simulation), và *mô phỏng vật lý* hay *mô phỏng phi nhân-quả* (physical, non-causal simulation). Hai phương pháp này thể hiện hai hướng tiếp cận khác nhau đối với mô hình hóa hệ thống và cũng thể hiện xu hướng phát triển hiện đại của lĩnh vực mô hình hóa và mô phỏng [4, 7].

2.1. Phương pháp mô phỏng nhân quả.

Phương pháp mô phỏng nhân quả dựa trên cách tiếp cận nhân-quả trong mô hình hóa hệ thống. Theo đó, một hệ thống được phân tích thành một hay nhiều hệ thống con với các đầu vào, đầu ra và trạng thái. Đầu ra (“kết quả”) của một hệ thống con phụ thuộc vào trạng thái và đầu vào (“nguyên nhân”) của nó. Mỗi hệ thống con thường được mô tả bởi một hệ phương trình vi phân thường (ODE – Ordinary Differential Equation). Để tạo thành một hệ thống lớn, các hệ thống con được nối với nhau cũng theo nguyên tắc nhân quả: mỗi đầu vào của một hệ thống con nhận kết quả từ duy nhất một đầu ra của một hệ thống con khác mà nó phụ thuộc. Như vậy, cả hệ thống là một tập hợp các hệ ODE, được sắp xếp theo một thứ tự xác định (thể hiện quan hệ nhân-quả trong hệ thống). Về cơ bản, việc mô phỏng hệ thống là giải lần lượt các hệ ODE này theo thứ tự, trong đó hệ sau có thể sử dụng kết quả của hệ trước.

Mặc dù phương pháp mô phỏng nhân-quả rất hữu ích và đáp ứng được nhiều nhu cầu mô phỏng hệ thống trong thực tế, chúng

vẫn có một số nhược điểm. Đáng kể nhất là việc mô phỏng theo quan hệ nhân-quả đòi hỏi phải áp đặt cách nhìn nhân-quả vào hệ thống vật lý. Cách nhìn này không cho thấy bản chất thực của hệ thống, bởi ngay cả sự phân biệt thế nào là đầu vào và thế nào là đầu ra của một hệ thống cũng phụ thuộc nhiều vào quan điểm nhìn nhận. Hơn nữa, khi ta nhìn nhận theo quan hệ vào-ra thì có nghĩa là đầu vào không bị ảnh hưởng bởi đầu ra, nhưng trong các hệ vật lý rất khó có một quan hệ lý tưởng như vậy.

2.2. Phương pháp mô phỏng phi nhân quả.

Phương pháp mô phỏng phi nhân-quả dựa trên việc mô hình hóa hệ vật lý theo các hệ con và xác định hành vi của hệ thống tại những điểm nối giữa chúng. Thông thường, mỗi hệ con sẽ đại diện cho một thiết bị hay một thành phần cơ bản của hệ thống, ví dụ như điện trở, tụ điện, động cơ, van, đường ống... Mỗi hệ con được mô tả bởi các phương trình cân bằng khối lượng, năng lượng, mô-men và vật chất. Tại điểm nối giữa hai hệ con cũng tồn tại một quan hệ xác định, ví dụ như điện thế hay áp suất không đổi, hay tổng các dòng triết tiêu. Mô hình của cả hệ thống là sự kết hợp mô hình của từng hệ con và quan hệ tại các điểm nối; nói cách khác, là sự ràng buộc lẫn nhau giữa các đại lượng theo những quy luật vật lý xác định. Như vậy, một cách tổng quát thì hệ thống sẽ được mô tả bởi các phương trình đại số vi phân (DAE – Differential Algebraic Equation) thay vì ODE. Điểm khác biệt rất cơ bản so với mô phỏng nhân quả là ở đây các hệ thống con được kết nối với nhau một cách tự nhiên giống như *quan hệ giữa các đối tượng* trong thực tế, chứ không chỉ đơn thuần chỉ là quan hệ tín hiệu vào/ra.

3. MÔ PHỎNG TRÊN MÁY TÍNH

3.1. Các tiêu chí đánh giá.

Khác với mô phỏng thuần túy toán học, việc mô phỏng các quá trình công nghệ

phục vụ cho đào tạo và nghiên cứu thường phức tạp hơn và có những yêu cầu riêng. Mô phỏng các đối tượng công nghệ phải có tính tương tác và trực quan cao, dễ sử dụng, dễ hình dung, và thể hiện được rõ ràng quy trình công nghệ đó. Trong bài báo này, tác giả sử dụng các tiêu chí chính sau đây để đánh giá một phương pháp thực hiện mô phỏng trên máy tính:

– *Tính chính xác*: đối tượng cần được mô phỏng với độ chính xác mong muốn. Để đạt được điều này, cần sử dụng các thuật toán đặc biệt trong tính toán, giải phương trình vi phân,... (tự động thay đổi bước tính, xác định điều kiện đầu...)

– *Khả năng mô phỏng*: mô phỏng được nhiều loại hệ thống khác nhau, do đó có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau với những đặc thù riêng.

– *Tính linh hoạt*: dễ dàng thay đổi, thêm bớt các thành phần mà không làm ảnh hưởng đến các thành phần khác.

– *Khả năng sử dụng lại*: do các đối tượng trong hệ thống điện rất phong phú và phức tạp nên khả năng sử dụng lại các mô hình đã xây dựng sẵn rất cần thiết.

– *Tính đơn giản, trực quan*: việc xây dựng mô hình có thể được thực hiện hoàn toàn trên giao diện đồ họa, sử dụng chủ yếu các thao tác kéo-thả và đặt tham số. Đối với mô phỏng các quá trình công nghệ, khả năng biểu diễn hoạt động của hệ thống dưới dạng hình ảnh đồ họa chuyển động là cần thiết.

– *Tính thời gian thực*: khả năng thực hiện mô phỏng theo thời gian thực, có thể đòi hỏi phần cứng đặc biệt hay có thể thực hiện ngay trên máy tính thông thường.

– *Khả năng tích hợp*: khả năng giao tiếp, kết hợp với các công cụ khác (công cụ thiết kế hệ thống, công cụ lập trình cho bộ điều khiển thực,...).

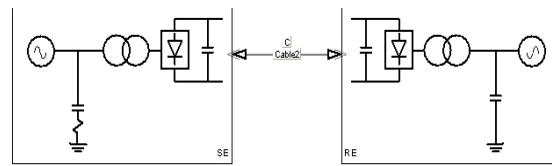
3.2. Sử dụng công cụ mô phỏng chuyên dụng

Khác với mô phỏng thuần túy toán học, việc mô phỏng các quá trình công nghệ phục vụ cho đào tạo và nghiên cứu thường phức tạp hơn và có những yêu cầu riêng. Mô phỏng các đối tượng công nghệ phải có tính tương tác và trực quan cao, dễ sử dụng, dễ hình dung, và thể hiện được rõ ràng quy trình công nghệ đó. Trong quá trình phát triển của lĩnh vực mô hình hóa và mô phỏng, nhiều ngôn ngữ đã được sáng tạo ra dành riêng cho mục đích này, bao gồm những loại đa năng (sử dụng cho nhiều lĩnh vực, nhiều loại hệ thống khác nhau) và những loại chuyên dụng cho một lĩnh vực nhất định. Mục này chỉ xem xét những ngôn ngữ đa năng và dựa trên quan điểm phi nhân quả. Để thuận tiện, chương trình PSCAD và EMTP được lấy làm ví dụ phân tích.

Chương trình PSCAD [6] được phát triển bởi các nhà khoa học của MANITOBA (*Manitoba HVDC Research Centre Inc. Canada*) trong nỗ lực tạo ra một ngôn ngữ mô hình hóa và mô phỏng thống nhất - hiện đại, hướng đối tượng và phi nhân-quả trong lĩnh vực Kỹ thuật điện. Là một ngôn ngữ hướng đối tượng, PSCAD quy định mỗi loại hệ thống con, ví dụ như máy phát đồng bộ hoặc không đồng bộ, tụ điện, cuộn cảm, đường dây trên không, cáp ngầm... và các thành phần khác như máy cắt, thiết bị điều chỉnh... đều được định nghĩa là một lớp (class). Hành vi có thể được mô tả bằng các phương trình (đại số, vi phân,...) hoặc các thuật toán [2, 8]. PSCAD hỗ trợ mô tả các hành vi dựa trên sự kiện, do đó cho phép dễ dàng mô tả các hệ thống sự kiện rời rạc và các hệ thống lai. Một lớp có thể thừa kế từ một lớp khác, qua đó cũng thừa kế tất cả các đặc điểm của lớp đó, kể cả các hành vi. Để minh họa, công cụ PSCAD được sử dụng để mô hình hóa một hệ thống truyền tải điện một chiều kết nối giữa hai hệ thống

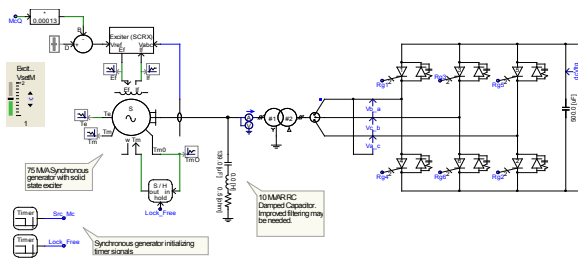
điện xoay chiều thông qua các bộ biến đổi và một hệ thống cấp ngầm như hình 1 và 2. Cấp điện áp truyền tải là 110 kV, công suất truyền tải 75 MW. Việc điều chỉnh công suất phản kháng cũng thông qua 2 bộ biến đổi này nhằm duy trì một hệ số công suất không đổi trong quá trình vận hành bình thường và khi sự cố. Đối với mô hình này, việc sử dụng các ngôn ngữ lập trình thông thường là cực kỳ khó khăn và gặp nhiều hạn chế do thiếu các tính năng và đòi hỏi sửa đổi mã nguồn khi

thay đổi phương thức vận hành của hệ thống điện.

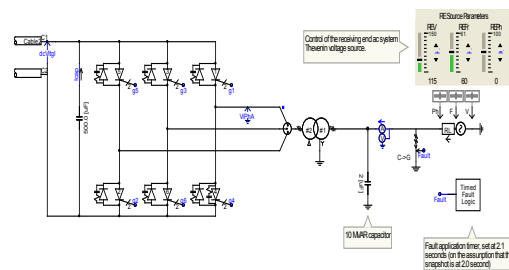


Hình 1: Hệ thống điện một chiều trong mô phỏng PSCAD

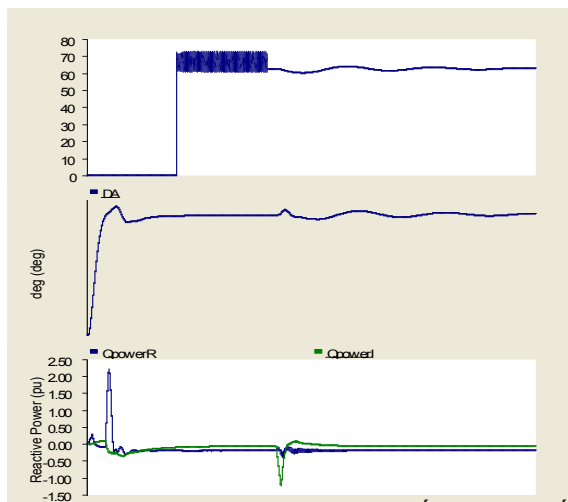
Hình 1: Hệ thống điện một chiều trong mô phỏng PSCAD



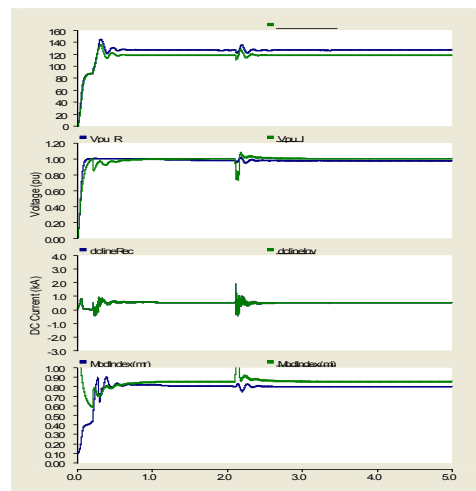
Hình 2: Hệ thống phía chỉnh lưu



Hình 3: Hệ thống phía nghịch lưu



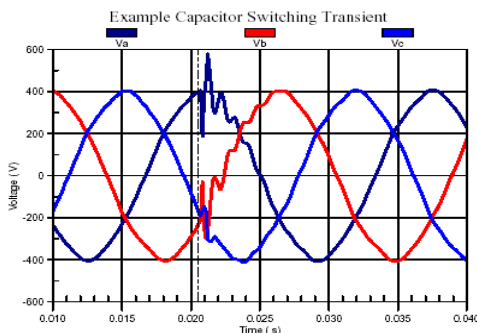
Hình 4: Dao động góc mở, góc tắt, công suất tác dụng và phản kháng của bộ điều chỉnh;



Hình 5: Dao động điện áp và dòng điện một chiều trên bộ biến đổi

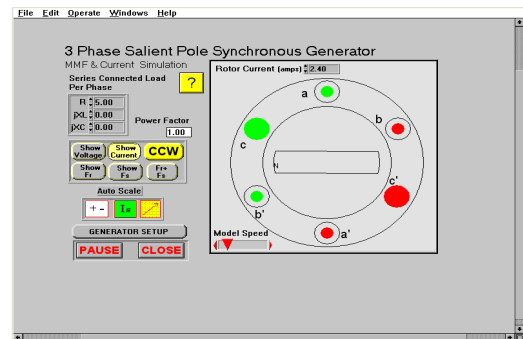
Tuy nhiên, đối với PSCAD thì công việc này trở nên đơn giản hơn rất nhiều, diễn biến hoạt động của cả hệ thống biểu diễn theo thời gian thực và cho phép người sử dụng can thiệp trực tiếp vào các quá trình điều khiển nhằm dự đoán trước được tất cả các tình huống mà hệ thống có thể gặp phải. Kết quả mô phỏng góc mở và góc tắt của Thyristor của bộ chỉnh lưu, nghịch lưu và diễn biến công suất tác dụng, phản kháng của hệ thống cho trong hình 4, 5 khi hệ thống bị sự cố ngắn mạch một pha chạm đất trong hệ thống xoay chiều tại thời điểm $t = 2,0$ sec, tình trạng sự cố duy trì trong 0,2 sec sau đó hồi phục trở lại. Có thể thấy là kết quả mô phỏng của mô hình rất trực quan, dễ hiểu. Không những thế, do không phải xác định quan hệ vào-ra nên mô hình này có thể được sử dụng cho các mục đích khác nhau, dù mục đích đó là tính toán diễn biến công suất của cụm máy phát, hay các quá trình quá độ của dòng điện phía chỉnh lưu - nghịch lưu. Các công cụ phần mềm tính toán trong kỹ thuật luôn cung cấp một môi trường tính toán mạnh và tiện dụng cho các ứng dụng thuộc lĩnh vực kỹ thuật. Bên cạnh đó, các phần mềm này thường cung cấp khả năng mô hình hóa và mô phỏng hệ thống. Ngoài ra, do chủ yếu dựa trên khả năng tính toán số của phần mềm, các công cụ này thường chỉ cho phép mô hình hóa hệ thống dựa trên quan hệ nhân-quả, vào-ra, trong đó động học của một hệ thống chủ yếu được mô tả bởi các phương trình vi phân thường.

lưới điện một cách toàn diện (hình 9).

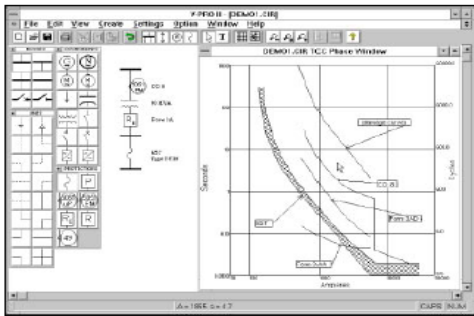


Hình 6: Quá độ đóng cắt trạm tụ bù truyền tải

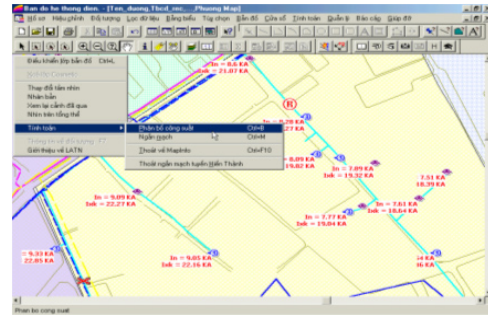
Trong việc minh họa các hiện tượng, khái niệm khá trừu tượng mà trước đây rất khó khăn trong việc giải thích cho sinh viên, hiện nay việc áp dụng phương tiện nghe-nhìn, kết hợp với phần mềm minh họa, giúp cho sinh viên nắm bắt vấn đề một cách trực quan hơn, và hiểu hơn về phương diện vật lý. Các đồ án, bài tập lớn nếu được thiết kế trên nền các phương tiện tính toán dùng kỹ thuật tin học, sẽ khiến sinh viên cảm thấy thích thú hơn, và có thể khảo sát rất nhiều phương án, từ đó có những nhận xét, so sánh, kích thích óc sáng tạo của người học. Có thể làm được việc trên bằng cách đổi mới phương pháp giảng dạy, đưa kỹ thuật mô phỏng vào việc giảng dạy các nội dung cơ sở. Ví dụ, sử dụng các chương trình MatLAB [8, 10], hoặc các phần mềm chuyên dụng (PSS/E, PSS/ADEPT...) trong việc giải các bài toán cổ điển của ngành: tính toán các thông số của đường dây; phân bố công suất, tính toán ngắn mạch, tính toán ổn định hệ thống... Một ví dụ khác, là khái niệm từ trường quay trong các máy phát đồng bộ của các nhà máy điện được trình bày một cách rất trực quan, sinh động, cho phép người học lĩnh hội vấn đề một cách thực chất hơn (hình 7). Một bài tập lớn như vậy cho các phần tính toán ngắn mạch, phân bố công suất, ổn định và phối hợp bảo vệ quá dòng đã được sử dụng trong môn học CAD trong Kỹ thuật điện (hình 8) [3, 4, 8]. Nếu kết hợp với hệ thống thông tin địa lý (GIS), sinh viên không chỉ giải quyết các vấn đề kỹ thuật đơn thuần, mà còn tham gia vào quá trình quản lý một



Hình 7: Từ trường quay trong máy phát đồng bộ



Hình 8: Phối hợp bảo vệ quá dòng



Hình 9: GIS trong quản lý, tính toán lưới điện

Qua tính toán áp dụng kỹ thuật mô phỏng cho thấy phản ứng của sinh viên là khá tích cực [7, 10], cho biết là có sự thích thú, quan tâm nhiều đến nội dung các môn học, mà trước đây bằng các phương pháp tính toán bằng tay không thể thực hiện được, hoặc nếu được, chỉ có thể trong một số nút hạn chế quá ít (không quá 5, 6 nút) và chỉ có thể tiến hành với một phương án [8]. Trong bảng 1 là tóm tắt các đánh giá về các phương pháp mô phỏng này.

Ngoài ra, khi ứng dụng trong giảng dạy, rất cần thiết có một mô hình trực quan sinh động để sinh viên có thể nắm bắt rõ vấn đề nhằm chứng minh một cách sinh động, trực quan cho sinh viên các hiện tượng đa dạng xảy ra trong hệ thống điện (các quá độ do đóng cắt tụ bù; điện áp phục hồi trong máy cắt; các xung sét do cảm ứng hay lan truyền; phối hợp cách điện của đường dây trên không, trạm ngoài trời, trạm GIS, chống sét; các hiện tượng cộng hưởng sắt từ, công hưởng song song và nối tiếp trên đường dây...). Nếu không có các công cụ mô phỏng số, công việc này chắc chắn sẽ rất khó khăn. EMTP [8, 9] (hình 6) là phần mềm được sử dụng trong việc giải các bài toán quá độ, là một công cụ thích hợp cho việc đó.

3.3. Sử dụng một công cụ phần mềm tính toán trong kỹ thuật

Các công cụ phần mềm tính toán trong kỹ thuật, ví dụ như MatLab, cung cấp một môi

trường tính toán mạnh và tiện dụng cho các ứng dụng thuộc lĩnh vực kỹ thuật. Bên cạnh đó, các phần mềm này thường cung cấp khả năng mô hình hóa và mô phỏng hệ thống. Tuy nhiên, do chủ yếu dựa trên khả năng tính toán số của phần mềm, các công cụ này thường chỉ cho phép mô hình hóa hệ thống dựa trên quan hệ nhân-quả, vào-ra, trong đó động học của một hệ thống chủ yếu được mô tả bởi các phương trình vi phân thường. Thông thường, một giao diện đồ họa trực quan để xây dựng sơ đồ khối cũng được cung cấp. Như vậy, việc xây dựng mô hình không chỉ phụ thuộc vào đối tượng mà còn phụ thuộc vào từng trường hợp ứng dụng cụ thể, làm hạn chế phần nào tính sử dụng lại của mô hình.

3.4. Sử dụng một ngôn ngữ lập trình đa năng thông thường

Bên cạnh việc sử dụng các công cụ phần mềm mô phỏng chuyên dụng, ta có thể lập trình mô phỏng hệ thống bằng các ngôn ngữ lập trình thông thường như C/C++, Fortran, Pascal, Java, ... Do các ngôn ngữ này không được thiết kế dành riêng cho mục đích mô phỏng nên phương pháp này có nhiều hạn chế. Tuy nhiên, khả năng tùy biến và tính linh hoạt thường cao vì không bị hạn chế vào những tính năng cung cấp sẵn. Trên bảng 2 là tóm tắt đánh giá về phương pháp này.

Bảng 1: Đánh giá phương pháp mô phỏng sử dụng công cụ phần mềm tính toán trong kỹ thuật

| | |
|---------------------------------|--|
| Tính chính xác | Độ chính xác cao do hỗ trợ các thuật toán đặc biệt trong tính toán |
| Khả năng mô phỏng | Có khả năng mô phỏng được nhiều loại hệ thống khác nhau. Mô tả hệ thống đúng như bản chất vật lý. Khả năng ứng dụng rộng: cơ khí, điện, năng lượng, ... |
| Tính linh hoạt | Tính linh hoạt cao do không phụ thuộc vào việc lựa chọn đầu vào-ra. Dễ dàng thay đổi mô hình, thêm, bớt các thành phần. |
| Tính sử dụng lại | Xây dựng mô hình từ các thành phần đơn lẻ có sẵn. Xây dựng mô hình mới thừa kế từ các mô hình khác. Thư viện phong phú các đối tượng xây dựng sẵn. |
| Tính đơn giản, trực quan | Giao diện thiết kế đồ họa thuận tiện và trực quan. Một số công cụ có khả năng biểu diễn hoạt động của hệ thống bằng hình ảnh đồ họa chuyển động (2-D hoặc 3-D) nhưng vẫn còn hạn chế. |
| Tính thời gian thực | Tùy thuộc từng phần mềm cụ thể. Hầu hết cho phép mô phỏng thời gian thực ngay trên máy tính thông thường hoặc kết hợp với các phần mềm chuyên dụng |
| Khả năng tích hợp | Tùy thuộc vào từng phần mềm cụ thể, hầu hết hỗ trợ giao tiếp với các phần mềm phổ dụng hoặc kết xuất mô hình ra mã nguồn |

Bảng 2: Đánh giá phương pháp mô phỏng sử dụng ngôn ngữ lập trình đa năng thông thường

| | |
|--------------------------|--|
| Tính chính xác | Phụ thuộc các thuật toán được sử dụng để tính toán, giải phương trình vi phân. Có thể sử dụng các thư viện tính toán đã có sẵn |
| Khả năng mô phỏng | Độ linh hoạt cao, tùy ý lựa chọn phương thức mô phỏng nhân quả hay phi nhân quả, theo thời gian hoặc theo sự kiện, hoặc kết hợp cả hai |
| Tính linh hoạt | Không bị hạn chế bởi những tính năng cung cấp sẵn Khó thay đổi mô hình, thêm bớt các thành phần. Phải sửa mã nguồn |

| | |
|---------------------------------|--|
| Tính sử dụng lại | Tùy thuộc vào phương thức lập trình và thiết kế chương trình Không có thư viện các đối tượng xây dựng sẵn mà phải xây dựng từ đầu |
| Tính đơn giản, trực quan | Thường không có giao diện thiết kế đồ họa đơn giản. Tùy ý lựa chọn cách thức để thể hiện |
| Tính thời gian thực | Phải tự thực hiện bằng lập trình, khá phức tạp nhưng hiệu quả khá cao |
| Khả năng tích hợp | Tùy lựa chọn và phụ thuộc vào việc lập trình. Việc giao tiếp với các phần mềm khác có thể khó khăn |

4. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

Căn cứ vào những đánh giá trên, phương pháp sử dụng các ngôn ngữ mô hình hóa và mô phỏng chuyên dụng (ví dụ PSCAD, EMTP, hay PSS/E...) tỏ ra có nhiều ưu điểm vượt trội và thích hợp cho mô phỏng các quá trình xác lập và quá trình quá độ phục vụ mục đích nghiên cứu, giảng dạy [6, 7]. Phương pháp sử dụng các ngôn ngữ lập trình đa năng thường rất phức tạp và khó đối với hầu hết các sinh viên.

Nếu mục đích mô phỏng chủ yếu phục vụ đào tạo thì một phần mềm tính toán và mô phỏng kỹ thuật thông dụng như Matlab/Simulink tỏ ra cũng rất phù hợp [10]. Tuy nhiên, ta cần bổ sung các khối mô phỏng đối tượng thông dụng kết hợp giao diện đồ họa trực quan để tăng khả năng tương tác và tính thực tế cho sinh viên làm thí nghiệm. Đây cũng là xu hướng mà nhiều trường Đại học trên thế giới đang áp dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lê Văn Doanh (2006); Mô phỏng số - Công cụ quan trọng trong nghiên cứu khoa học và công nghệ, Tạp chí Điện và Đời sống, số 88.
 [2] ÅSTRÖM, K. J., H. ELMQVIST, S.E. MATTSSON (1998): Evolution of

Continuous-time Modeling and Simulation. Proceedings of the 12th European Simulation Multiconference, ESM'98, 9-18.

[3] ELMQVIST H. (2003): Dymola User's Manual, www.dymola.com.

[4] ELMQVIST H. (2001): Modeling Complex Physical Systems. Karl Åström, Springer.

[5] MODELICA ASSOCIATION (2004): Modelica Tutorial. www.modelica.org.

[6] <http://www.bb.pscad.com>.

[7] Arun G. Phadke, Virginia Tech (2002), "Power Engineering Education: Crisis Revisited" IEEE Computer Applications in Power, Vol.15, No.4.

[8] Saffet Ayasun, Chika O. Nwankpa, and Harry G. Kwatny (2002), "Voltage Stability Toolbox for Power System Education and Research", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, No. 3.

[9] <http://www.emtp.com>.

[10] Nguyễn Hữu Phúc, Nguyễn Trọng Duy, Đỗ Hồng Phúc (2003); Tích hợp Công nghệ thông tin địa lý và MatLab trong bài toán phân tích và quản lý Hệ thống điện; Tạp chí Khoa học và Công nghệ các Trường Đại học Kỹ thuật, số 44+45.