

XÂY DỰNG TỔ HỢP PHẦN MỀM - THIẾT BỊ MÔ PHÒNG TÍNH TOÁN PHÂN TÍCH CHẾ ĐỘ XÁC LẬP CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

NGUYỄN LÂN TRĂNG

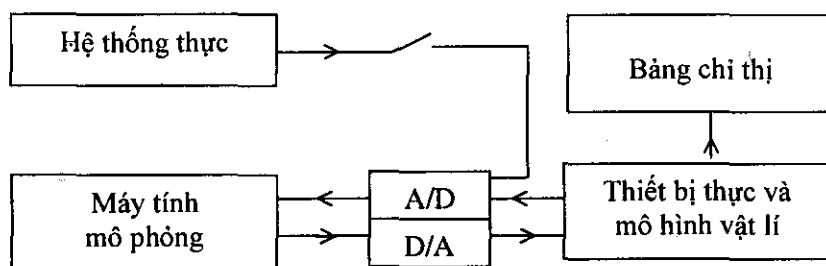
I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tính toán, phân tích các chế độ của hệ thống điện (HTĐ) nói chung và chế độ xác lập (CĐXL) nói riêng, có ý nghĩa hết sức quan trọng trong công tác thiết kế và vận hành. Chỉ sau khi tính toán, phân tích hàng loạt các tình huống chế độ khác nhau - ở điều kiện làm việc bình thường cũng như trong các điều kiện sự cố, người thiết kế hệ thống mới có thể đưa ra quyết định cuối cùng về lựa chọn phương án. Trong thiết kế dài hạn khối lượng tính toán sẽ rất lớn nếu xét đến đầy đủ mọi phương án cần quan tâm. Trong vận hành, cấu trúc hệ thống đã xác định nhưng số lượng tình huống cần can thiệp, xử lý lại diễn ra thường xuyên, vì thế công việc tính toán phân tích hệ thống vẫn đòi hỏi rất nhiều, đồng thời còn yêu cầu phải đủ nhanh, kịp thời, để có thể đưa ra được những quyết định đúng đắn, gần với giải pháp tối ưu cho mỗi trường hợp cụ thể. Có những cách khác nhau được áp dụng nhằm giảm bớt khối lượng tính toán (như liệt kê các tình huống điển hình, suy diễn tương quan, phân tích giới hạn ...). Những phương pháp này có thể đem lại hiệu quả đáng kể nhưng số phương án được xét vẫn bị hạn chế và có thể để "lọt lưới" tình huống, bỏ sót phương án lẽ ra phải được quan tâm.

Ý tưởng đề xuất xây dựng tổ hợp phần mềm - thiết bị mô phỏng phân tích chế độ của HTĐ cũng không có gì khác ngoài mong muốn nâng cao gấp bội hiệu quả thực hiện các tính toán phân tích chế độ của HTĐ như đã nêu ở trên.

II. CẤU TRÚC TỔ HỢP PHẦN MỀM - THIẾT BỊ MÔ PHÒNG HTĐ

Máy tính trao đổi thông tin qua cổng nối với hệ thống các thiết bị vật lý bên ngoài đang hoạt động (có nguồn năng lượng cung cấp, tạo ra các thông tin trạng thái có thể đo được, hình 1).

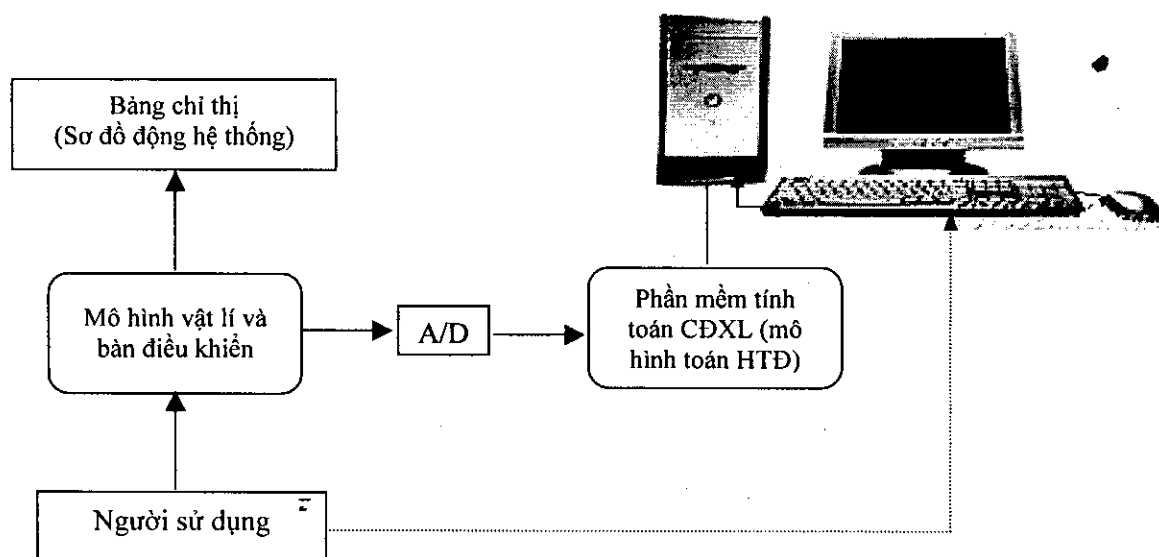


Hình 1. Cấu tạo chung của thiết bị mô phỏng

Trong trường hợp chung, thiết bị bên ngoài có thể bao gồm các phần tử thực hoặc mô hình vật lý (hoặc cả 2). Các đại lượng thể hiện thông số trạng thái phần tử có thể đo được bao gồm điện áp, dòng điện, áp suất, nhiệt độ, độ dịch chuyển... Mỗi phần tử hoạt động trong thời gian thực có tính độc lập tương đối bởi nguồn năng lượng riêng của mình, nhưng toàn bộ hệ thống mô phỏng (máy tính và các thiết bị vật lý) hoạt động thống nhất bởi quá trình trao đổi thông tin. Mục đích cuối cùng là mô phỏng đúng các quá trình quan tâm trong hệ thống điện cần nghiên cứu.

Khó khăn chính khi xây dựng, áp dụng hệ thống mô phỏng nằm trong kỹ thuật xử lý và trao đổi thông tin. Đó là vì các thiết bị khác nhau cơ bản về nội dung hoạt động diễn ra trong thời gian thực, lại phải thống nhất đồng bộ bởi quá trình trao đổi thông tin. Các thiết bị vật lý (phần tử thực hoặc mô hình) hoạt động bởi nguồn năng lượng lớn, thay đổi trạng thái nhanh theo thông tin điều khiển. Máy tính thường mô phỏng phần hệ thống phức tạp biểu diễn bằng mô hình toán, để xác định thông tin trạng thái các phần tử cần thực hiện quá trình tính toán nhanh và đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu vào thời điểm trao đổi thông tin. Rõ ràng khả năng và hiệu quả mô phỏng phụ thuộc chính bởi phương pháp tính toán và xử lý thông tin bằng máy tính. Mô phỏng quá trình diễn biến càng nhanh (trong thời gian thực) càng đòi hỏi những phương pháp tính toán đặc biệt.

Với những mục đích sử dụng khác nhau người ta đã tạo ra các thiết bị mô phỏng rất đa dạng, như những trường hợp riêng của nguyên lý cơ bản nêu trên [4, 5, 6, 9]. Trong khuôn khổ một đề tài NCKH cấp bộ [10] chúng tôi đã đề xuất một phương án đơn giản nhất của thiết bị mô phỏng, cũng có thể chỉ nên gọi là tổ hợp phần mềm - mô hình vật lý để sử dụng trong tính toán phân tích chế độ của HTĐ. Hình 2 thể hiện thực chất của tổ hợp tính toán nói trên.

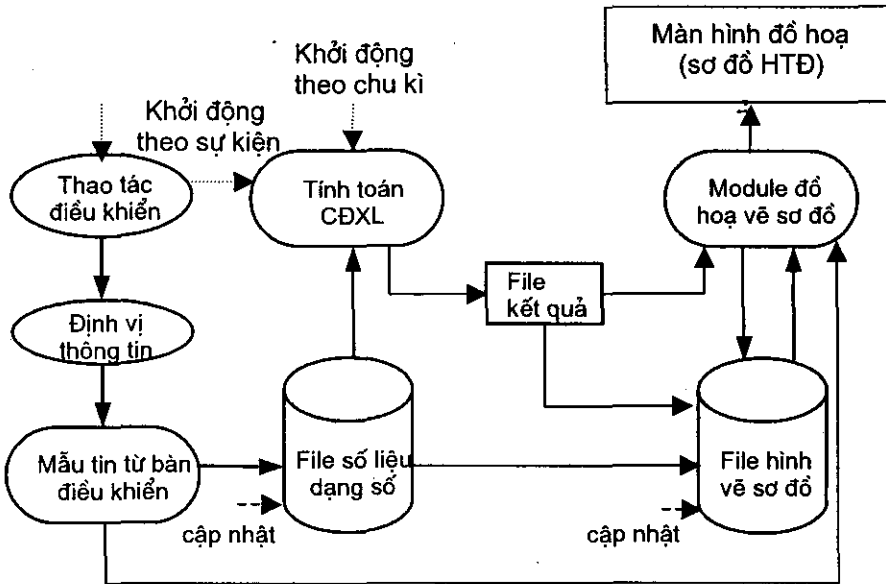


Hình 2.

Có thể hiểu tổ hợp thiết bị chỉ như là việc tạo thêm thiết bị ngoại vi cho máy tính (như chuột chuyên dụng của các phần mềm trò chơi). Ở mức cao hơn, người ta cũng thường tạo ra các thiết bị ngoại vi cho phép mô phỏng quá trình điều khiển tập lái ô tô, lái máy bay, bắn súng v.v. Trong phương án xây dựng tổ hợp tính toán chế độ HTĐ, bằng việc tạo thêm mô hình vật lý và bàn điều khiển (có hoặc không có bảng sơ đồ động HTĐ kèm theo), đã tạo ra khả năng lớn cho việc thay đổi hàng loạt dữ liệu, thông qua cổng nối A/D. Nếu như trước đây cách truy cập dữ

liệu duy nhất được thực hiện thông qua bàn phím và chuột (đường chấm chấm) thì giờ đây chủ yếu thông qua mô hình và bàn điều khiển. Ngoài ra, bảng sơ đồ động hệ thống và màn hình đồ họa được phát triển mô tả ở mức cao (hiển thị hầu hết các thông tin) cho phép con người theo dõi trực quan và phân tích nhanh hàng loạt kết quả.

Hình 3 mô tả cấu trúc hoạt động và quá trình trao đổi thông tin trong thiết bị. Có thể thấy các hoạt động tính toán và trao đổi thông tin khá phức tạp trong tổ hợp có sự tham gia on-line của con người.



Hình 3. Trao đổi thông tin trong thiết bị mô phỏng

Khởi động theo chu kỳ, đọc công, tính toán CĐXL, hiển thị là chu trình chủ yếu của tổ hợp. Nếu không có thêm tác động nào (khởi động theo sự kiện) thì kết quả quan sát được chỉ lặp đi lặp lại của một chế độ. Thao tác đóng cắt (phím) từ bàn điều khiển, điều chỉnh (nút xoay) trên bàn điều khiển sẽ cho phép thay đổi thông tin tình huống (thêm vào, bớt đi các phần tử làm việc trong sơ đồ, thay đổi mức công suất phát các nguồn, làm biến thiên phụ tải ...) các hiển thị sẽ là hàng loạt các chế độ nối tiếp có thể quan sát. Với tốc độ truy cập và tính toán hiện nay của máy tính, kết quả hiển thị gần như đồng thời với tác động (1 – 2 sec). Các kết quả tính toán hiển thị trên sơ đồ (bảng số, bảng màu) giúp người sử dụng có thể phân tích nhanh trực quan nhiều nội dung nghiên cứu. Ví dụ, làm biến thiên phụ tải các nút theo biểu đồ phụ tải ngày (24 giờ) bằng một nút điều chỉnh thì mẫu các nhánh đường dây sẽ thay đổi theo hệ số mang tải. Có thể biết được trạng thái làm việc của sơ đồ trong một ngày đêm, phát hiện các đường dây có một số giờ quá tải (màu đỏ rực), một số đường dây luôn làm việc quá non tải suốt ngày... Có thể xem xét nhanh một số lượng lớn các tình huống sự cố, nghi sửa chữa đường dây (chỉ bằng các thao tác đóng cắt trên bàn điều khiển). Như vậy năng suất tính toán tăng lên rất nhiều so với các tính toán thông thường. Nhiều phân tích so sánh kết quả cũng thuận lợi hơn.

III. CÁC GIẢI PHÁP KỸ THUẬT THỰC HIỆN TỔ HỢP PHẦN MỀM - THIẾT BỊ MÔ PHỎNG

1. Xác định nhanh các biến trạng thái hệ thống

Giải pháp kĩ thuật cơ bản nhất để có thể xây dựng thành công tổ hợp phần mềm - thiết bị mô phỏng đó là việc phối hợp hoạt động của mô hình toán (chu kì tính toán của phần mềm phân tích chế độ HTĐ) với tốc độ trao đổi thông tin (từ mô hình vật lí vào máy tính và từ kết quả tính toán lên màn hình đồ họa). Trong khi đó một trong những đặc điểm cố hữu của mô hình toán chế độ của HTĐ lại là hệ các phương trình đại số phi tuyến phức tạp. Số biến của hệ thường có kích cỡ vài nghìn. Lời giải thường chỉ có thể nhận được nhờ các phương pháp lặp (hiện nay áp dụng phổ biến nhất là phép lặp Newton - Raphson). Thời gian tính tương đối dài, thường cần (1 - 5) sec cho một phương án chế độ. Giải pháp được đưa ra là áp dụng phương pháp biến phân tham số. Thực chất của phương pháp này có thể trình bày như sau: Giả sử hệ phương trình mô tả trạng thái hệ thống có dạng (tổng quát):

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, p) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, p) &= 0 \\ \cdot &\cdot \cdot \cdot \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, p) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

hay (viết gọn hơn): $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, p) = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n.$

Trong đó p là tham số chế độ (có thể chứa nhiều tham số). Đó là các thông số hệ thống, được xét có sự biến thiên liên tục. Khi tham số biến thiên một lượng là Δp mọi thông số trạng thái hệ thống sẽ nhận giá trị mới x'_i , xác định được bởi hệ phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, p + \Delta p) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, p + \Delta p) &= 0 \\ \cdot &\cdot \cdot \cdot \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, p + \Delta p) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Giải hệ này thực chất là tính lại một phương án chế độ, thời gian sẽ kéo dài. Phương pháp biến phân tham số đề xuất tính lời giải nhanh theo biểu thức gần đúng của chuỗi:

$$x'_i = x_i + l_i \Delta p + \frac{1}{2} m_i (\Delta p)^2 + \dots \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1.2)$$

Thường chỉ cần xét đến số hạng bậc 2 của chuỗi là đủ thỏa mãn yêu cầu về độ chính xác (khi Δp nhỏ). Các hệ số biến phân có thể xác định từ các hệ phương trình đại số tuyến tính dạng sau:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial x_j} l_j + \frac{\partial f_i}{\partial p} &= 0; \\ \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_j \partial x_k} l_j l_k + 2 \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_j \partial p} l_j + \\ &+ \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 f_i}{\partial p^2} m_j + \frac{\partial^3 f_i}{\partial p^3} = 0. \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1.3)$$

Các hệ phương trình này có thể được giải ghép chung cùng với hệ (1.1) hoặc giải riêng. Sau bước cuối cùng nhận được lời giải của (1.1). Cả (1.1) và (1.3) đều chỉ giải với một trị số đã biết (quá khứ) của p . Nhờ (1.2) ta có thể hiển thị nhanh kết quả tính toán ở những giá trị trung gian của tham số p , trong khi (1.1) và (1.3) chỉ tính với những giá trị rời rạc "lưu thừa" của tham số

này. Khi thực hiện tổ hợp tính toán chế độ xác lập của hệ thống điện, cần sử dụng chính các mô tả trong phần mềm ứng dụng cho hệ (1.1), cũng từ đó thiết lập thêm (1.3).

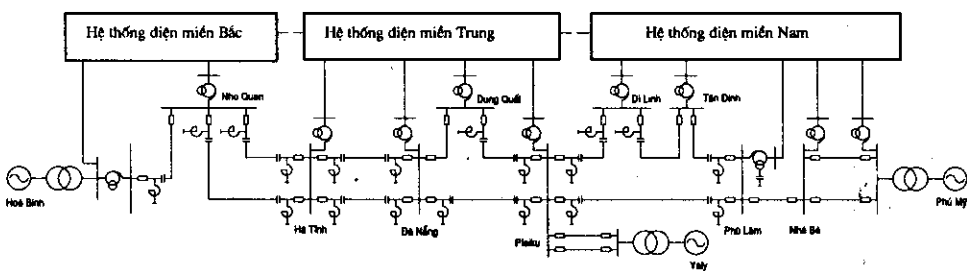
2. Định vị các thông số điều khiển

Một nội dung quan trọng khác là định vị thông tin điều khiển cho thiết bị mô phỏng. Các tác động đặc trưng cho sự thay đổi trạng thái và hoạt động của HTĐ là các tác động đóng cắt (thay đổi sơ đồ) và sự biến thiên liên tục của các thông số chế độ (công suất phụ tải, nguồn ...). Mô hình vật lí cho phép thực hiện và đưa ra các thông tin điều khiển này trên thiết bị mô phỏng là một tập hợp các phím bấm và núm xoay. Số lượng các phần tử này xác định số điều khiển có thể đồng thời làm thay đổi tình huống khảo sát hệ thống. Thiết bị mô phỏng đã xây dựng bao gồm 16 tác động rời rạc (phím bấm) và 8 tín hiệu liên tục (núm xoay), nói chung đủ thỏa mãn các yêu cầu nghiên cứu. Khi bắt đầu thực hiện cần "định nghĩa" (định vị) các thông tin này trong bản tin để phần mềm có thể liên kết đúng trong mô hình toán. Ví dụ, tác động của một núm xoay tùy trường hợp có thể là công suất phát của một nhà máy thay đổi, là biến thiên công suất của một phụ tải nhưng cũng có thể là sự biến thiên công suất tổng hệ thống theo biểu đồ... Tương tự có thể định vị các phím bấm cho các máy cắt khác nhau trên sơ đồ nghiên cứu. Đây cũng là một nội dung phức tạp nhưng rất cần thiết thực hiện của các chuyên gia thiết kế và tạo lập tổ hợp phần mềm - thiết bị mô phỏng.

IV. MỘT SỐ KẾT QUẢ ỨNG DỤNG THIẾT BỊ MÔ PHỎNG

Như đã trình bày trên, do có khả năng tính toán nhanh hàng loạt các chế độ làm việc của HTĐ nên tổ hợp phần mềm - thiết bị mô phỏng rất thích hợp cho những nội dung nghiên cứu các diễn biến trong những quá trình phức tạp. Ví dụ diễn biến dẫn đến mất ổn định hệ thống khi vận hành nâng quá cao công suất trên các đường dây liên kết hệ thống, dò tìm các tình huống nguy hiểm khi thay đổi thông số vận hành... Bước đầu ứng dụng tổ hợp thiết bị đã cho thấy những ưu điểm nổi bật trong các bài toán trên.

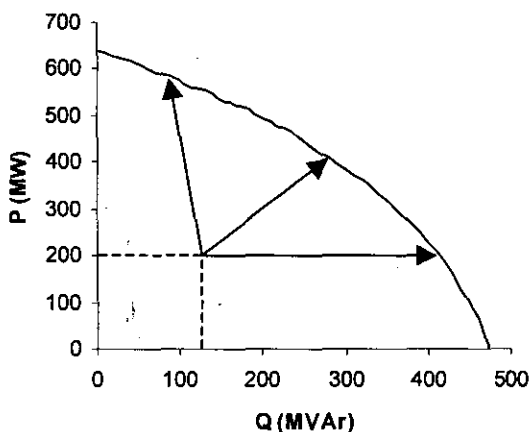
1. Miền vận hành cho phép của đường dây 500 kV Bắc Nam



Hình 4. Sơ đồ hệ thống tải điện 5000 kV Việt Nam

Hình 4 dưới đây thể hiện sơ đồ đường dây 500 kV Bắc-Nam là đối tượng nghiên cứu của thí nghiệm. Mục đích là nghiên cứu giới hạn truyền tải công suất trên hệ thống tải điện 500 kV (từ Bắc vào Nam). Sẽ rất khó tìm được chế độ giới hạn nếu sử dụng tuần túy phần mềm phân tích chế độ xác lập HTĐ, ngay cả chỉ với một kịch bản biến thiên thông số chế độ (làm thay đổi công suất tác dụng và phản kháng truyền tải trên đường dây).

Trong thí nghiệm sử dụng thiết bị mô phỏng, hai biến trở trên bàn điều khiển được định vị thông tin để thay đổi tổng công suất tải khu vực phía Nam. Như vậy, bằng cách điều chỉnh các biến trở, ta sẽ thay đổi được trị số công suất tác dụng và phản kháng truyền tải trên đường dây.



Hình 5. Miền ổn định

Dễ dàng tìm được giới hạn công suất truyền tải theo điều kiện ổn định tĩnh tương ứng với một phương án (kịch bản) đã cho, ví dụ thay đổi đồng thời công suất tác dụng và phản kháng, giữ nguyên $\cos\varphi$.

Từ kết quả thực hiện theo các kịch bản khác nhau, ta vẽ được miền làm việc cho phép của đường dây theo điều kiện ổn định tĩnh như trên hình 4. Miền giới hạn công suất xây dựng được ở trên có thể dùng làm cơ sở xác định quy trình vận hành của đường dây 500 kV Bắc Nam. Dễ thấy rằng, khi công suất vô công truyền tải trên đường dây tăng lên (ứng với lúc $\cos\varphi$ của hệ thống nhận điện bị giảm thấp) giới hạn truyền tải công suất tác dụng giảm đi đáng kể. Trong

mỗi thời điểm vận hành có thể đánh giá trạng thái ổn định hệ thống bằng cách quan sát điểm làm việc trên mặt phẳng công suất. Nếu điểm nằm gần với đường giới hạn (dự trữ ổn định kém) cần phải nghĩ tới các biện pháp xử lý.

2. Xác định độ dự trữ tổng hợp của hệ thống (theo kịch bản điển hình)

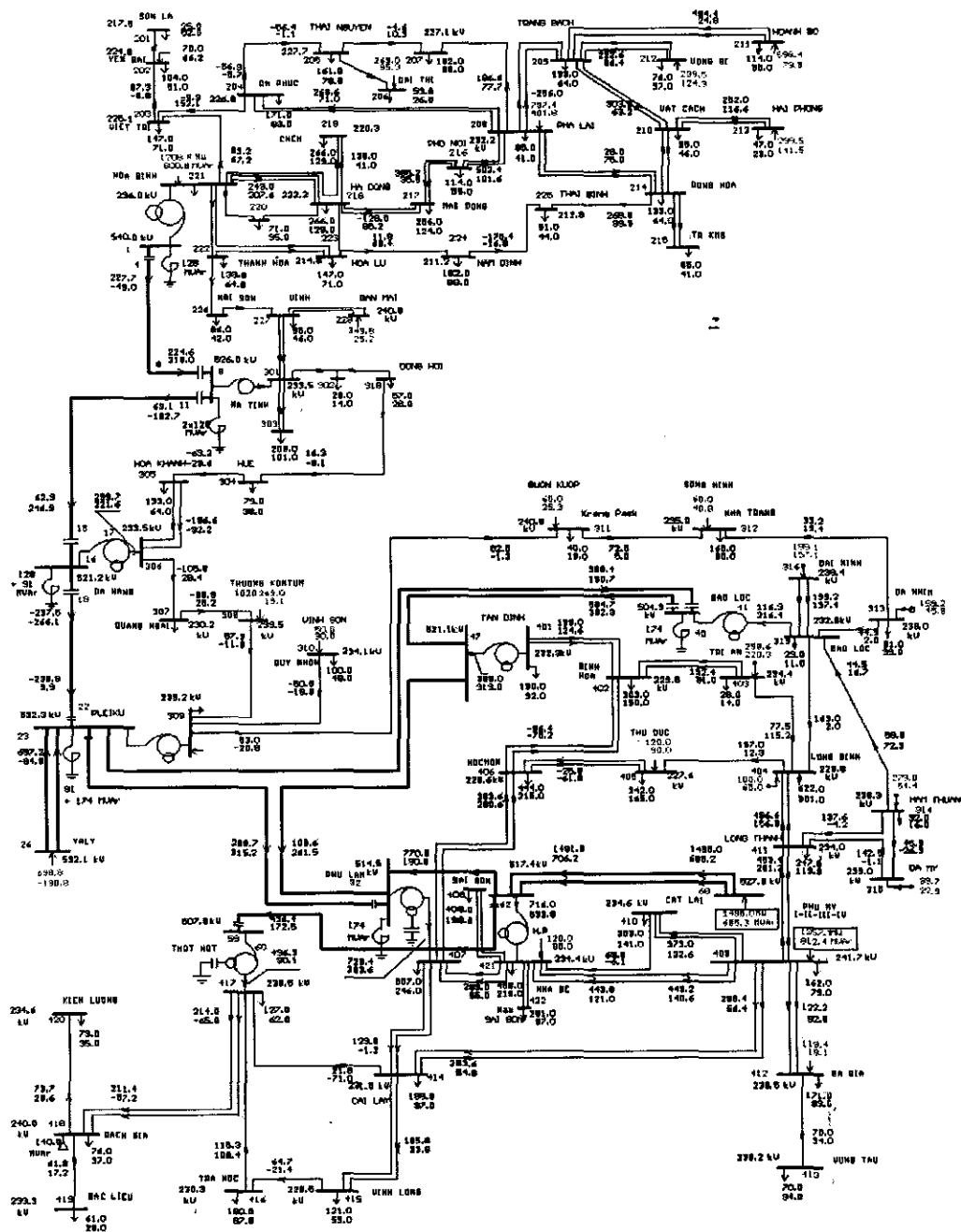
Hình 6 thể hiện hiện trạng lưới điện 500 – 220 kV Việt Nam được sử dụng để tính toán. Để thực hiện nghiên cứu này trên tổ hợp phần mềm - thiết bị mô phỏng thực chất chỉ là định vị cho thay đổi tổng công suất hệ thống (các phụ tải được giả thiết được thay đổi cùng tỉ lệ, giữ nguyên $\cos\varphi$), còn được gọi là kịch bản điển hình. Chế độ giới hạn (trước khi mất ổn định hệ thống) được xác định với tổng công suất $P_{gh} = 11744$ MW. Hệ số dự trữ tính được theo công thức sau:

$$K = \frac{11744 - 10221}{10221} 100\% = 14,9\%$$

Kết quả trên được thực hiện với ngày vận hành 24/5/2005 với tổng công suất tải đang vận hành là 10221 MW. Dễ thấy độ dự trữ khá thấp so với yêu cầu (chuẩn là 20%).

V. KẾT LUẬN

1. Việc xây dựng tổ hợp phần mềm - thiết bị mô phỏng phân tích chế độ của hệ thống điện cho phép nâng cao hiệu quả của việc tính toán phân tích chế độ xác lập của hệ thống điện.
2. Với khả năng tính toán nhanh của tổ hợp phần mềm - thiết bị mô phỏng đã có thể áp dụng để giải quyết nhiều bài toán phức tạp liên quan đến việc tính toán hàng loạt các phương án chế độ, nói riêng có thể xác định nhanh được miền vận hành cho phép của đường dây 500 kV và độ dự trữ tổng hợp của hệ thống điện phức tạp.
3. Tổ hợp phần mềm - thiết bị mô phỏng đã được xây dựng thành công ở bộ môn Hệ thống điện trường Đại học Bách khoa Hà Nội, góp phần tích cực cho việc đào tạo và nghiên cứu khoa học. Nếu mở rộng thêm phần cứng có thể sử dụng trực tiếp tại các trung tâm điều độ để nâng cao hiệu quả điều hành hệ thống điện.



Hình 6. Sơ đồ hệ thống điện 500/220 kV Việt Nam năm 2005

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mike Foley, YiLang Chen, Anjan Bose - A real time power system simulation laboratory environment, IEEE transactions on power systems 5 (4) (1990).

2. 4. Marcos Roitman, Edson H. Watanabe, Flavio Jose Lyra - Power systems analog simulation enhancement using a new programmable electronic model, IEEE transactions on power systems **4** (1) (1989).
3. Dennis G. Flinn, Roger G. Dugan - A database for diverse power system simulation applications, IEEE transactions on power systems **7** (2) (1992).
4. Carlos Alvarez, Antonio Gabaldún, and Angel Molina - Assessment and simulation of the responsive demand potential in end-user facilities application to a university customer, IEEE transactions on power systems **19** (2) (2004).
5. Jorge Ariel Hollman, and Josô Ramón Martó - Real time network simulation with PC-cluster, IEEE transactions on power systems **18** (2) (2003).
6. K. L. Lian, and P. W. Lehn - Real-Time Simulation of Voltage Source Converters Based on Time Average Method, IEEE transactions on power systems **20** (1) (2005).
7. Mladen Kezunovic, Ali Abur, Garng Huang, Anjan Bose, and Kevin Tomsovic - The role of digital modeling and simulation in power engineering education, IEEE transactions on power systems **19** (1) (2004).
8. Alan W. McMorran, Graham W. Ault, Ian M. Elders, Colin E. T. Foote, Graeme M. Burt, and James R. McDonald - Translating CIM XML power system data to a proprietary format for system simulation, IEEE transactions on power systems **19** (1) (2004).
9. Raymond R. Shoults, Edmondo Barrera Cardiel - Use of a graphical user interface approach for digital and physical simulation in power systems control, IEEE transactions on power systems **7** (4) (1992).
10. Báo cáo đề tài NCKH cấp Bộ Công nghiệp - Nghiên cứu phát triển, ứng dụng, làm chủ kỹ thuật, công nghệ hiện đại, phục vụ cho sự phát triển và điều hành hệ thống điện, 2002-2006.

SUMMARY

BUILDING A COMBINED HARDWARE – SOFTWARE SIMULATOR FOR CALCULATIONS AND ANALYSIS OF THE POWER SYSTEM STEADY STATE

Calculation and analysis of the power system steady state has a great significance for designing and operating the systems. This paper presents an applied method of a combined hardware – software simulator, which proves to be a highly effective tool for calculating and analysing the power system steady state. This method proves an increase of effect for calculation and analysis of the power system states. The combined hardware – software simulator with the ability of fast calculation can easily be used to find the permissible operating area of the 500 kV line and to estimate the complicated power system stability margin. This methodology can be used to develop a complete simulator for the dispatching centers to improve the power system operation.

Địa chỉ:

Nhận bài ngày 6 tháng 6 năm 2006

Khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.