

Nguyễn Phùng Quang

MATLAB & Simulink
dành cho
kỹ sư điều khiển tự động



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2004

Lời nói đầu

Đối với kỹ sư điều khiển - tự động hóa nói riêng và những người nghiên cứu khoa học - kỹ thuật nói chung, mô phỏng là công cụ quan trọng cho phép khảo sát các đối tượng, hệ thống hay quá trình kỹ thuật - vật lý, mà không nhất thiết phải có đối tượng hay hệ thống thực. Được trang bị một *công cụ mô phỏng* mạnh và có hiểu biết về các *phương pháp mô hình hóa*, người kỹ sư sẽ có khả năng rút ngắn thời gian và giảm chi phí nghiên cứu - phát triển sản phẩm một cách đáng kể. Điều này đặc biệt có ý nghĩa khi sản phẩm là các hệ thống thiết bị kỹ thuật phức hợp với giá trị kinh tế lớn. Các khái niệm mô phỏng Off-Line, Software-in-the-Loop, Hardware-in-the-Loop (hay Real Time Simulation: mô phỏng thời gian thực) và Prototyping, đã thể hiện rõ nét các bước của quá trình phát triển sản phẩm với sự hỗ trợ của máy tính.

Trong nhiều năm qua, người biên soạn sách này đã sử dụng phần mềm mô phỏng MATLAB & Simulink trong hoạt động nghiên cứu - phát triển thực tiễn và giảng dạy của mình. Đặc biệt, khi điều kiện thí nghiệm tại trường đại học nước ta còn rất thiếu thốn, phần mềm trên đã góp phần hữu ích trong quá trình đào tạo các kỹ sư điều khiển - tự động hóa. Tuy nhiên, việc thiếu một tài liệu tham khảo thích hợp đã hạn chế hiệu quả đào tạo. Với MATLAB & Simulink ta có trong tay một *công cụ mô phỏng* mạnh kèm theo tài liệu dưới dạng files .pdf vô cùng chi tiết và phong phú. Nhược điểm chính của các tài liệu đó là: 1. Chúng không hề truyền đạt cho người đọc kiến thức về *phương pháp mô hình hóa*; 2. Chúng quá chi tiết, đến mức tản mạn, và vì vậy đã làm mất không ít thời gian của người học. Nhu cầu về một tài liệu bằng tiếng Việt, khác phục được hai nhược điểm đó, là nhu cầu bức xúc của quá trình đào tạo, khiến tác giả đặt quyết tâm biên soạn cuốn sách này.

Cuốn sách bao gồm ba phần chính:

1. Phần *cơ sở về MATLAB* và một vài *Toolbox* quan trọng. Phần này gồm các chương 1 - 5.
2. Phần giới thiệu *Simulink* và các *thư viện* đi kèm. Phần này gồm các chương 6 - 9.
3. Phần giới thiệu *Motion Control Blockset*, công cụ khảo sát các hệ thống điều khiển chuyển động. Phần này gồm các chương 10 - 12.

Phần 1 và 2 được biên soạn chủ yếu dựa trên nền giáo trình về MATLAB (tài liệu [1]) của đại học München (CHLB Đức). Phần 3 bao gồm các kết quả nghiên cứu của bản thân tác giả, của đồng nghiệp (tài liệu [9]) và của sinh viên tại đại học Bách Khoa Hà Nội. Nội dung dự kiến ban đầu của sách còn bao gồm hai *Toolbox* quan trọng là Real-Time Workshop, Stateflow Blockset. Tuy nhiên, để giới hạn kích cỡ sách và thời gian biên soạn (trong khi sinh viên đang trông đợi tài liệu học) nên người viết tạm ngừng lại ở khối lượng 12 chương. Các nội dung còn thiếu sẽ được bổ sung ở lần tái bản sau này.

Cần phải khẳng định rằng MATLAB không phải là một ngôn ngữ lập trình, mặc dù phần mềm này cũng có các khả năng của một ngôn ngữ lập trình bậc cao: MATLAB & Simulink trước hết là một công cụ toán số, với thế mạnh tính

toán và mô phỏng hệ thống. Đặt mục tiêu hạn chế vào đối tượng bạn đọc chính là sinh viên và kỹ sư ngành điều khiển - tự động hóa, cuốn sách thể hiện rõ thế mạnh trên của bộ phần mềm. Khi biên soạn, người viết cố gắng trình bày các vấn đề một cách dễ hiểu và từng bước đều có minh họa bởi ví dụ đi kèm. Để bảo đảm tính chính xác, người viết tự tay mình thực hiện lại tất cả các ví dụ (sử dụng MATLAB phiên bản 6.0 / rel. 12, Simulink phiên bản 4.0).

Tác gia cảm ơn Dipl.-Ing. (Univ.) J. Meyer (Dresden, CHLB Đức) đã cho phép sử dụng các mô hình của mình. Xin cảm ơn TS. Trần Thị Thu Hương, bạn đời của tác giả, người đã luôn động viên và tạo điều kiện để tác giả hoàn thành sách. Cảm ơn chị Nguyễn Thị Ngọc Khuê, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, đã hợp tác và tạo điều kiện để sách nhanh chóng ra mắt bạn đọc.

Xin nhấn mạnh lần cuối đặc điểm biên soạn của cuốn sách: Để nhanh chóng có sách phục vụ cho sinh viên (đối tượng bạn đọc chính), tác giả đã biên soạn chủ yếu dựa trên các tài liệu của nhiều tác giả xuất bản ở nước ngoài. Trừ một số kết quả của các nghiên cứu ứng dụng cụ thể, cuốn sách nói chung không mang đặc điểm công trình khoa học của cá nhân người biên soạn. Tuy nhiên, hy vọng đã cung cấp cho bạn đọc, cho người học một tài liệu tham khảo có ích.

Dù đã được viết khá cẩn thận, sách khó tránh khỏi còn những sai sót. Mọi lời góp ý, nhận xét hay đề xuất bổ sung nhằm hoàn thiện sách, xin bạn đọc gửi về Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, hay về Phòng thí nghiệm trọng điểm về Tự động hóa – Trường đại học Bách khoa Hà Nội, xin chân thành cảm ơn.

Hà Nội, hè Quý Mùi 2003

Tác giả

Mục lục

Lời nói đầu

Trang

PHẦN A MATLAB VÀ CÁC TOOLBOX

| | | |
|----------|-------------------------------------------|-----------|
| 1 | Cơ sở về MATLAB | 1 |
| 1.1 | Những bước đi đầu tiên với MATLAB | 1 |
| 1.1.1 | Màn hình MATLAB | 1 |
| 1.1.2 | Tiện ích trợ giúp (Help) của MATLAB | 3 |
| 1.1.3 | Các biến | 4 |
| 1.1.4 | Các hàm toán | 5 |
| 1.2 | Vector và ma trận | 6 |
| 1.2.1 | Tính toán với vector và ma trận | 8 |
| 1.3 | Cấu trúc và trường | 10 |
| 1.3.1 | Cấu trúc | 10 |
| 1.3.2 | Trường | 12 |
| 1.4 | Quản lý biến | 13 |
| 1.5 | Các phép so sánh và phép tính logic | 14 |
| 1.6 | Rẽ nhánh và vòng lặp | 16 |
| 1.6.1 | Lệnh rẽ nhánh if và switch | 16 |
| 1.6.2 | Vòng lặp sử dụng for và while | 16 |
| 1.6.3 | Gián đoạn bằng continue và break | 17 |
| 1.7 | Các Scripts và các hàm của MATLAB | 18 |
| 1.7.1 | Các Scripts của MATLAB | 18 |
| 1.7.2 | Các hàm của MATLAB | 19 |
| 1.8 | Tóm tắt nội dung chương 1 | 20 |
| 2 | Xuất và nhập dữ liệu trên màn hình | 23 |
| 2.1 | Điều khiển xuất ra màn hình | 23 |
| 2.2 | Đối thoại của MATLAB với người sử dụng | 24 |
| 2.2.1 | Văn bản (Text) trong MATLAB | 25 |
| 2.2.2 | Đối thoại khi nhập văn bản | 25 |
| 2.2.3 | Xuất theo định dạng | 26 |
| 2.3 | Nhập và xuất dữ liệu | 27 |
| 2.3.1 | Cắt vào hoặc gọi dữ liệu từ File | 27 |
| 2.3.2 | Cắt có định dạng vào File văn bản | 28 |
| 2.4 | Hệ điều hành và quản lý File | 29 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5 | Biểu diễn bằng đồ họa | 30 |
| 2.5.1 | Cửa sổ Figure - cơ sở của đồ họa MATLAB | 30 |
| 2.5.2 | Trục và diễn ký tự cho trục | 32 |
| 2.6 | Đồ họa 2 chiều (2-D Graphics) | 34 |
| 2.6.1 | Các lệnh vẽ (Plot Commands) | 34 |
| 2.6.2 | Ví dụ: Khâu quan tính bậc nhất PT_1 , và khâu tỷ lệ - vi phân PD | 36 |
| 2.7 | Đồ họa 3 chiều (3-D Graphics) | 38 |
| 2.7.1 | Các lệnh Plots | 38 |
| 2.7.2 | Phối cảnh (Perspective) trong đồ họa 3-D | 39 |
| 2.7.3 | Ví dụ vẽ đồ họa 3-D có phối cảnh | 39 |
| 2.8 | Nhập, xuất và in đồ họa | 41 |
| 2.9 | Giao diện đồ họa | 43 |
| 2.9.1 | Layout (diện mạo) của GUI | 43 |
| 2.9.2 | Nhập và xuất ký tự, số liệu ra GUI | 44 |
| 2.9.3 | Nhập số liệu từ thanh trượt (Slider) | 47 |
| 2.9.4 | Nhập dữ liệu tùy chọn (Popup Menu, List Box, Radio Button and Check Box) | 49 |
| 2.9.5 | Các phương pháp tạo GUI | 53 |
| 2.10 | Tóm tắt nội dung chương 2 | 62 |
| 3 | Control System Toolbox: Công cụ khảo sát - thiết kế hệ thống điều khiển | 65 |
| 3.1 | Mô hình hóa các hệ tuyến tính - dừng (hệ LTI) | 65 |
| 3.1.1 | Mô hình truyền đạt | 66 |
| 3.1.2 | Mô hình điểm không - điểm cực | 68 |
| 3.1.3 | Mô hình trạng thái | 71 |
| 3.1.4 | Mô hình dữ liệu đặc tính tần số | 72 |
| 3.1.5 | Mô hình gián đoạn theo thời gian | 74 |
| 3.1.6 | Thời gian trễ trong các hệ tuyến tính - dừng (hệ LTI) | 76 |
| 3.2 | Nguyên tắc sử dụng mô hình LTI | 79 |
| 3.2.1 | Đặc điểm của mô hình LTI | 79 |
| 3.2.2 | Truy cập nhanh dữ liệu của mô hình | 83 |
| 3.2.3 | Trình tự ưu tiên của mô hình LTI | 83 |
| 3.2.4 | Tính kế thừa của mô hình LTI | 84 |
| 3.2.5 | Đảo loại cho mô hình LTI | 85 |
| 3.2.6 | Các phép tính số học | 85 |
| 3.2.7 | Lựa chọn, thay đổi và ghép nối mô hình LTI | 87 |
| 3.2.8 | Chuyển đổi giữa hai hệ liên tục và gián đoạn về thời gian | 92 |
| 3.3 | Khảo sát mô hình LTI | 96 |
| 3.3.1 | Các đặc điểm tổng quát | 96 |
| 3.3.2 | Khảo sát động học của mô hình | 98 |
| 3.3.3 | Đáp ứng của hệ trên miền thời gian | 104 |
| 3.3.4 | Đáp ứng của hệ trên miền tần số | 109 |

| | | |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.5 | Mô hình giảm bậc | 119 |
| 3.3.6 | Các phương pháp mô tả trên không gian trạng thái | 122 |
| 3.4 | Thiết kế vòng điều chỉnh | 126 |
| 3.4.1 | Thiết kế theo phương pháp quỹ đạo điểm cực | 127 |
| 3.4.2 | Thiết kế theo phương thức đối thoại giữa người và PC | 131 |
| 3.4.3 | Điều khiển và quan sát trạng thái | 132 |
| 3.4.4 | Thiết kế theo phương pháp gần cực | 134 |
| 3.4.5 | Thiết kế theo tiêu chuẩn tích phân tối ưu | 140 |
| 3.5 | Các vấn đề khi tính toán số | 147 |
| 3.5.1 | Khái niệm lỗi | 147 |
| 3.5.2 | Khái niệm điều hòa mô hình | 148 |
| 3.5.3 | Tính ổn định số học | 149 |
| 3.5.4 | Đánh giá mô hình LTI theo quan điểm tính số | 150 |
| 3.6 | Tóm tắt nội dung chương 3 | 150 |
| 4 | Optimization Toolbox: Công cụ tính toán tìm tối ưu | 153 |
| 4.1 | Inline Objects | 153 |
| 4.2 | Điều khiển thuật toán | 155 |
| 4.3 | Tìm điểm không | 157 |
| 4.3.1 | Hàm scalar | 157 |
| 4.3.2 | Hàm vector và hệ phương trình | 161 |
| 4.4 | Tìm cực tiểu cho hàm phi tuyến | 166 |
| 4.5 | Tìm cực tiểu khi có điều kiện phụ | 170 |
| 4.6 | Phương pháp bình phương sai phân bé nhất | 177 |
| 4.7 | Tìm bộ tham số tối ưu cho mô hình SIMULINK | 185 |
| 4.8 | Tóm tắt nội dung chương 4 | 189 |
| 5 | Signal Processing Toolbox: Công cụ xử lý tín hiệu | 191 |
| 5.1 | Phương pháp nội suy (Interpolation) | 191 |
| 5.2 | Biến đổi Fourier gián đoạn | 194 |
| 5.2.1 | Phương pháp Averaging | 196 |
| 5.2.2 | Phương pháp tạo cửa sổ số liệu | 198 |
| 5.3 | Hàm tương quan (Correlation Functions) | 200 |
| 5.4 | Lọc số (Digital Filter) | 205 |
| 5.4.1 | Bộ lọc FIR và hàm cửa sổ | 206 |
| 5.4.2 | Bộ lọc IIR | 209 |
| 5.5 | Lọc tương tự (Analog Filter) | 211 |
| 5.6 | Tóm tắt nội dung chương 5 | 212 |
| PHẦN B SIMULINK VÀ CÁC THƯ VIỆN | | |
| 6 | Cơ sở về SIMULINK | 213 |
| 6.1 | Khởi động SIMULINK | 213 |
| 6.2 | Tạo mới và soạn thảo lưu đồ tín hiệu | 216 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------|------------|
| 6.3 | Tín hiệu và các loại dữ liệu | 217 |
| 6.3.1 | Làm việc với tín hiệu | 217 |
| 6.3.2 | Làm việc với các loại số liệu | 220 |
| 6.4 | Thư viện SOURCES và SINKS | 220 |
| 6.4.1 | Thư viện SOURCES | 220 |
| 6.4.2 | Thư viện SINKS | 224 |
| 6.5 | Thư viện Math | 230 |
| 6.6 | Chuẩn bị mô phỏng: Khai báo tham số và phương pháp tích phân | 233 |
| 6.6.1 | Khởi động và ngừng mô phỏng | 241 |
| 6.6.2 | Xử lý lỗi | 242 |
| 6.6.3 | Tập hợp các tham số trong Script của MATLAB | 243 |
| 6.6.4 | Ví dụ | 243 |
| 6.6.5 | In mô hình SIMULINK | 246 |
| 6.7 | Hệ thống con (Subsystem) | 246 |
| 6.7.1 | Tạo hệ thống con | 246 |
| 6.7.2 | Thư viện Signals & Subsystems | 247 |
| 6.7.3 | Kích hoạt có điều kiện các hệ thống con | 251 |
| 6.7.4 | Dánh dấu các hệ con (Mask Subsystems) | 254 |
| 6.8 | Tóm tắt nội dung chương 6 | 256 |
| 7 | Các hệ thống tuyến tính và phi tuyến | 257 |
| 7.1 | Thư viện Continuous | 257 |
| 7.2 | Tuyến tính hóa | 261 |
| 7.3 | Xác định điểm cân bằng | 263 |
| 7.4 | Thư viện Nonlinear | 265 |
| 7.5 | Thư viện Function & Tables | 268 |
| 7.6 | Vòng quán đại số | 271 |
| 7.7 | Hàm S (S-Functions) | 272 |
| 7.8 | Tóm tắt nội dung chương 7 | 281 |
| 8 | Các hệ thống trích mẫu (hệ gián đoạn) | 283 |
| 8.1 | Các khái niệm tổng quan | 283 |
| 8.2 | Tham số mô phỏng | 284 |
| 8.3 | Thư viện Discrete | 286 |
| 8.4 | Hệ có chu kỳ trích mẫu hỗn hợp và hệ lai | 287 |
| 8.4.1 | Hệ có chu kỳ hỗn hợp | 287 |
| 8.4.2 | Hệ lai | 288 |
| 8.5 | Tóm tắt nội dung chương 8 | 290 |
| 9 | Phân tích và tổng hợp vòng điều chỉnh | 291 |
| 9.1 | Động cơ một chiều kích thích độc lập | 291 |
| 9.1.1 | Khai báo lập trị ban đầu | 292 |
| 9.1.2 | Mô hình SIMULINK | 293 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------|-----|
| 9.2 | Khảo sát động học của đối tượng | 294 |
| 9.2.1 | Khảo sát bằng SIMULINK | 294 |
| 9.2.2 | Khảo sát bằng MATLAB sử dụng mô hình tuyến tính hóa | 295 |
| 9.2.3 | Khảo sát mô hình LTI qua đối thoại với LTI-Viewer | 298 |
| 9.3 | Điều chỉnh với nhiều vòng phân cấp (Cascade Control) | 300 |
| 9.3.1 | Điều chỉnh dòng phản ứng | 301 |
| 9.3.2 | Điều chỉnh tốc độ quay | 303 |
| 9.4 | Quan sát trạng thái | 306 |
| 9.4.1 | Khâu quan sát Luenberger | 308 |
| 9.4.2 | Khâu quan sát nhiều (QS phụ tải) | 310 |
| 9.5 | Điều khiển trạng thái sử dụng khâu quan sát trạng thái | 313 |
| 9.6 | Tóm tắt nội dung chương 9 | 318 |

PHẦN C MOTION CONTROL BLOCKSET: CÔNG CỤ KHẢO SÁT CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10 | Thư viện mô hình máy điện quay | 319 |
| 10.1 | Khái quát về Motion Control Blockset | 319 |
| 10.2 | Máy điện một chiều kích thích độc lập | 321 |
| 10.3 | Máy điện không đồng bộ xoay chiều ba pha | 326 |
| 10.4 | Máy điện đồng bộ ba pha kích thích vĩnh cửu | 343 |
| 10.5 | Máy điện đồng bộ ba pha kích thích độc lập | 351 |
| 10.6 | Máy điện không đồng bộ nguồn kép | 361 |
| 10.7 | Máy điện từ kháng kiểu đóng ngắt | 365 |
| 10.8 | Tóm tắt nội dung chương 10 | 374 |
| 11 | Thư viện mô hình thiết bị biến đổi (điện tử công suất) | 375 |
| 11.1 | Mô hình cầu chỉnh lưu 6 xung có điều khiển cắt pha | 376 |
| 11.2 | Mô hình nghịch lưu bán xung nguồn áp | 379 |
| 11.3 | Mô hình nghịch lưu nguồn dòng nuôi MĐDB | 389 |
| 11.4 | Mô hình thiết bị biến đổi trực tiếp nuôi MĐDB và MĐĐB | 397 |
| 11.5 | Tóm tắt nội dung chương 11 | 399 |
| 12 | Thư viện mô hình phần cơ và ví dụ ứng dụng của Motion Control Blockset | 401 |
| 12.1 | Thư viện mô hình các phần tử truyền động cơ học | 401 |
| 12.2 | Vài ví dụ ứng dụng | 404 |
| 12.2.1 | Mô phỏng một trục chuyển động của tay máy sử dụng MĐDB | 404 |
| 12.2.2 | Mô phỏng hệ thống phát điện chạy sức gió sử dụng MĐDB-RDQ | 409 |
| 12.2.3 | Mô phỏng hệ truyền động dị bộ theo phương pháp "Direct Torque Control" sử dụng Logic mờ | 419 |
| 12.3 | Tóm tắt nội dung chương 12 | 467 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11 | Tài liệu tham khảo | 469 |
| 11.1 | Tài liệu tham khảo chung | 469 |
| 11.2 | Các tài liệu dưới dạng .pdf-Files | 470 |
| 11.3 | Các luận văn, đồ án tốt nghiệp tại ĐHBK Hà Nội đã góp phần xây dựng Motion Control Blockset | 470 |
| | Danh mục từ tra cứu | 473 |