

Lời nói đầu

Điều khiển quá trình là một lĩnh vực ứng dụng quan trọng của kỹ thuật điều khiển trong các ngành công nghiệp năng lượng và hóa chất (gọi chung là *công nghiệp chế biến, process industry*). Nội dung của lĩnh vực điều khiển quá trình kết nối chặt chẽ nền tảng của lý thuyết điều khiển tự động với các bài toán của quá trình công nghệ. Phạm vi đề cập cụ thể ở đây là các bài toán mô hình hóa, phân tích, thiết kế và thực thi hệ thống điều khiển cho các đối tượng là quá trình công nghệ.

Điều khiển quá trình không phải là một lĩnh vực mới, nhưng luôn chiếm vị trí quan trọng hàng đầu trong tự động hóa công nghiệp. Khác với những ngành công nghiệp chế tạo, ngày nay bất cứ một nhà máy xi măng, một nhà máy điện hay một nhà máy lọc dầu nào cũng không thể vận hành được nếu thiếu hệ thống điều khiển tự động. Quá trình toàn cầu hóa gần đây tạo ra nhiều thị trường tiêu dùng mới, đồng thời gia tăng sự cạnh tranh mạnh mẽ giữa nhiều tập đoàn sản xuất. Các doanh nghiệp buộc phải nâng cao mức độ tự động hóa dây chuyền sản xuất để tăng năng suất, chất lượng sản phẩm và hạ giá thành sản xuất. Sức ép giảm sử dụng nguyên liệu thô (yêu cầu tái chế), giảm tiêu thụ nhiên liệu và khả năng thích ứng nhanh với yêu cầu thị trường buộc các kỹ sư phải đưa ra những thiết kế quá trình công nghệ mới thích hợp hơn, nhưng đồng thời cũng đặt ra những yêu cầu cao hơn cho hệ thống điều khiển tự động và cho những người kỹ sư thiết kế điều khiển. Nhìn từ một góc độ khác, những tiến bộ về công nghệ thiết bị điều khiển (DCS, PLC/HMI, IPC, bus trường,...) ngày càng tạo điều kiện thuận lợi hơn cho việc cài đặt các sách lược và thuật toán điều khiển tiên tiến. Một điều đáng nói là trong khi công nghệ sản xuất hoặc công nghệ thiết bị điều khiển đã có thể lạc hậu chỉ sau 10-15 năm, cơ sở phương pháp luận cho thiết kế hệ thống điều khiển quá trình vẫn giữ nguyên giá trị sau hàng nửa thế kỷ – tất nhiên được bổ sung và phát triển lên một tầm cao mới.

Cuốn sách *Cơ sở hệ thống Điều khiển quá trình* là giáo trình môn học “Điều khiển quá trình” cho sinh viên đại học ngành Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa của trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Nội dung chính của cuốn sách cũng có thể sử dụng làm tài liệu học tập cho sinh viên các ngành công nghệ liên quan (Nhiệt, Hóa, Sinh học-Thực phẩm, Môi trường,...). Để làm việc hiệu quả với cuốn sách, các sinh viên cần được trang bị kiến thức cơ sở của lý thuyết điều khiển tự động. Đặc biệt, cuốn sách được trình bày theo một phong cách diễn giải kết hợp nhiều ví dụ minh họa cụ thể, phù hợp cho mục đích tự nghiên cứu của một số

nhóm bạn đọc. Tác giả cũng hy vọng nhiều đồng nghiệp trong các trường đại học và viện nghiên cứu tìm thấy trong cuốn sách những tư liệu tham khảo bổ ích.

Cuốn sách được biên soạn dựa trên kinh nghiệm từ nhiều năm giảng dạy môn học “Điều khiển quá trình” và một số môn liên quan trong trường đại học, cũng như các khóa đào tạo nâng cao cho kỹ sư bên ngoài. Ngoài chương mở đầu, nội dung cuốn sách bao gồm hai phần chính là **Cơ sở mô hình hóa** (chương 2 đến chương 4) và **Thiết kế điều khiển** (chương 5 đến chương 9). Hầu hết các ví dụ minh họa được thực hiện với sự hỗ trợ của công cụ MATLAB.

Tác giả bày tỏ lòng cảm ơn chân thành tới các đồng nghiệp và các bạn sinh viên – những người đã giúp đỡ và hỗ trợ nhiệt tình cho sự ra đời của cuốn sách. GS.TS Phan Xuân Minh đã cho nhiều lời khuyên cho thiết kế nội dung cuốn sách. GS.TS Nguyễn Doãn Phước là người đã đọc phần lớn các chương và đưa ra nhiều bình luận, góp ý quý báu. PGS.TS Trần Trung Kiên đã đọc và góp ý rất chi tiết cho chương 3. TS Nguyễn Thu Hà đã đọc kỹ lưỡng và sửa lỗi nhiều chương của bản thảo. Nhóm sinh viên làm đồ án tốt nghiệp K46 đã đóng góp một số tư liệu và ví dụ cho nội dung chương 8. Những ý kiến phản hồi từ phía sinh viên qua nhiều khóa học cũng đã tác động quan trọng tới việc lựa chọn và hiệu chỉnh các nội dung trình bày.

Để có thể hoàn thành cuốn sách, tác giả đã nhận được sự cảm thông sâu sắc từ những người thân trong gia đình, đặc biệt là từ người vợ và con gái yêu quý. Họ là những người chịu thiệt thòi nhiều nhất, khi mà trong nhiều tháng không được chia sẻ những “cuối tuần” và “buổi tối”. Cuốn sách này tác giả muốn dành tặng trước tiên cho hai người thân yêu của mình, dù biết là không thể bù đắp được sự hy sinh của họ.

Trong quá trình chỉnh sửa, bổ sung cho lần tái bản này, tác giả đã nhận được nhiều góp ý, bình luận quý báu từ đồng nghiệp và bạn đọc, đặc biệt những chỉ dẫn sai sót từ các bạn sinh viên. Tác giả chân thành cảm ơn và xin được tiếp tục tiếp nhận thông tin phản hồi theo địa chỉ:

PGS.TS Hoàng Minh Sơn
 Bộ môn Điều khiển tự động
 Viện Điện – Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
 Số 1 Đại Cồ Việt, Hà Nội
 Email: son.hoangminh@hust.edu.vn

Hà Nội, Mùa Thu 2016

HMS

Mục lục

CHƯƠNG 1 MỞ ĐẦU	1
1.1 Điều khiển quá trình là gì?	2
1.1.1 Quá trình và các biến quá trình	2
1.1.2 Phân loại quá trình.....	5
1.1.3 Bài toán điều chỉnh và bài toán bám	6
1.1.4 Các vấn đề đặc thù của điều khiển quá trình.....	7
1.2 Mục đích và chức năng điều khiển quá trình	10
1.2.1 Vận hành ổn định.....	11
1.2.2 Năng suất và chất lượng sản phẩm	12
1.2.3 Vận hành an toàn.....	13
1.2.4 Bảo vệ môi trường.....	14
1.2.5 Hiệu quả kinh tế.....	15
1.3 Phân cấp chức năng điều khiển quá trình.....	16
1.3.1 Giao diện quá trình	17
1.3.2 Điều khiển cơ sở	17
1.3.3 Điều khiển vận hành và giám sát	19
1.3.4 Điều khiển cao cấp	20
1.4 Các thành phần cơ bản của hệ thống.....	20
1.4.1 Thiết bị đo.....	22
1.4.2 Thiết bị điều khiển	23
1.4.3 Thiết bị chấp hành	24
1.5 Các nhiệm vụ phát triển hệ thống	24
1.5.1 Phân tích chức năng hệ thống.....	24
1.5.2 Xây dựng mô hình quá trình	26
1.5.3 Thiết kế cấu trúc điều khiển.....	26
1.5.4 Thiết kế thuật toán điều khiển.....	27
1.5.5 Lựa chọn giải pháp hệ thống	27
1.5.6 Phát triển phần mềm ứng dụng.....	27
1.5.7 Chỉnh định và đưa vào vận hành	28
1.6 Mô tả chức năng hệ thống	28
1.6.1 Các tài liệu mô tả đồ họa	28
1.6.2 Lưu đồ P&ID.....	29
1.7 Ghi chú và tài liệu tham khảo	32

1.7.1	Bàn thêm về khái niệm điều khiển quá trình	33
1.7.2	Về tài liệu tham khảo	35
1.8	Câu hỏi và bài tập	39
CHƯƠNG 2 MÔ HÌNH QUÁ TRÌNH		41
2.1	Giới thiệu chung	42
2.1.1	Mô hình và mục đích mô hình hóa	42
2.1.2	Nguyên tắc chung của mô hình hóa quá trình	44
2.1.3	Các phương pháp xây dựng mô hình toán học	45
2.2	Tổng quan về quy trình mô hình hóa	47
2.2.1	Đặt bài toán mô hình hóa	47
2.2.2	Phân chia hệ thống	50
2.2.3	Xây dựng các mô hình thành phần	51
2.2.4	Kết hợp các mô hình thành phần	52
2.2.5	Phân tích và kiểm chứng mô hình	52
2.3	Phân loại mô hình toán học	53
2.3.1	Mô hình tuyến tính và mô hình phi tuyến	53
2.3.2	Mô hình đơn biến và mô hình đa biến	54
2.3.3	Mô hình tham số hằng và mô hình tham số biến thiên	55
2.3.4	Mô hình tham số tập trung và mô hình tham số rải	55
2.3.5	Mô hình liên tục và mô hình gián đoạn	56
2.4	Các dạng mô hình liên tục	57
2.4.1	Phương trình vi phân	57
2.4.2	Mô hình trạng thái	58
2.4.3	Mô hình đáp ứng quá độ	63
2.4.4	Mô hình hàm truyền đạt	66
2.4.5	Mô hình đáp ứng tần số	69
2.5	Các mô hình gián đoạn	70
2.5.1	Phương trình sai phân	70
2.5.2	Mô hình trạng thái	71
2.5.3	Mô hình đáp ứng quá độ	74
2.5.4	Các mô hình đa thức và hàm truyền đạt xung	76
2.5.5	Mô hình hàm truyền đạt gián đoạn	81
2.6	Ghi chú và tài liệu tham khảo	84
2.7	Câu hỏi và bài tập	85
CHƯƠNG 3 MÔ HÌNH HÓA LÝ THUYẾT		87
3.1	Tổng quan các bước tiến hành	87
3.2	Nhận biết các biến quá trình	88
3.2.1	Ví dụ bình chứa chất lỏng	91

3.2.2	Ví dụ thiết bị khuấy trộn liên tục	92
3.2.3	Ví dụ thiết bị gia nhiệt.....	93
3.2.4	Ví dụ tháp chưng luyện hai cấu tử.....	94
3.3	Xây dựng các phương trình mô hình.....	95
3.3.1	Phương trình cân bằng vật chất	96
3.3.2	Phương trình cân bằng năng lượng.....	101
3.3.3	Phương trình truyền nhiệt.....	105
3.3.4	Phương trình động học phản ứng hóa học	108
3.3.5	Phương trình cân bằng pha	109
3.4	Phân tích bậc tự do của mô hình.....	111
3.4.1	Bậc tự do của hệ thống	111
3.4.2	Ví dụ thiết bị khuấy trộn liên tục	112
3.4.3	Ví dụ thiết bị gia nhiệt.....	113
3.4.4	Ví dụ nồi hơi bão hòa	114
3.5	Tuyến tính hóa và mô hình hàm truyền đạt.....	115
3.5.1	Biến chênh lệch và mô hình hàm truyền đạt.....	115
3.5.2	Tuyến tính hóa xung quanh điểm làm việc	117
3.5.3	Độ phi tuyến của mô hình.....	124
3.5.4	Tuyến tính hóa với phép đổi biến vào-ra.....	126
3.6	Mô phỏng quá trình	128
3.6.1	Phân loại các phương pháp mô phỏng.....	129
3.6.2	Giải hệ phương trình vi phân (phi tuyến)	132
3.6.3	Giải hệ phương trình vi phân tuyến tính.....	134
3.6.4	Mô phỏng quá trình sử dụng MATLAB.....	134
3.7	Một số ví dụ quá trình tiêu biểu.....	142
3.7.1	Chuỗi ba thiết bị phản ứng liên tục đẳng nhiệt.....	142
3.7.2	Thiết bị phản ứng thu nhiệt sợi đốt	146
3.7.3	Thiết bị phản ứng liên tục tỏa nhiệt	149
3.7.4	Tháp chưng luyện hai cấu tử.....	153
3.8	Ghi chú và tài liệu tham khảo	163
3.9	Câu hỏi và bài tập	165
CHƯƠNG 4 NHẬN DẠNG QUÁ TRÌNH		171
4.1	Khái niệm và những nguyên tắc cơ bản.....	171
4.1.1	Các bước tiến hành.....	171
4.1.2	Phân loại phương pháp nhận dạng.....	172
4.1.3	Đánh giá và kiểm chứng mô hình.....	174
4.2	Các phương pháp dựa trên đáp ứng quá độ.....	175
4.2.1	Mô hình quán tính bậc nhất có trễ.....	177
4.2.2	Mô hình quán tính bậc hai có trễ.....	184

4.2.3	Mô hình dao động bậc hai	186
4.2.4	Mô hình chứa thành phần tích phân	190
4.3	Các phương pháp dựa trên đáp ứng tần số	190
4.3.1	Kích thích trực tiếp tín hiệu hình sin	191
4.3.2	Kích thích tín hiệu dạng xung	195
4.3.3	Phương pháp phân tích phổ tín hiệu	196
4.4	Các phương pháp bình phương tối thiểu	198
4.4.1	Nguyên lý bình phương tối thiểu	198
4.4.2	Ước lượng tham số mô hình FIR	200
4.4.3	Ước lượng tham số mô hình ARX	203
4.4.4	Ước lượng tham số mô hình liên tục SOPDT	206
4.5	Nhận dạng trong vòng kín	212
4.5.1	Nhận dạng trong vòng phản hồi rơ-le	213
4.5.2	Nhận dạng trong vòng điều khiển P/PI	219
4.6	Sử dụng Matlab Identification Toolbox	221
4.6.1	Biểu diễn số liệu thực nghiệm	222
4.6.2	Dạng mô hình sử dụng	222
4.6.3	Các thuật toán nhận dạng	225
4.6.4	Khảo sát và kiểm chứng mô hình	229
4.7	Lựa chọn phương pháp nhận dạng	232
4.8	Ghi chú và tài liệu tham khảo	233
4.9	Câu hỏi và bài tập	236
CHƯƠNG 5 CÁC SÁCH LƯỢC ĐIỀU KHIỂN CƠ SỞ		237
5.1	Điều khiển truyền thẳng	237
5.1.1	Ví dụ điều khiển thiết bị gia nhiệt hơi nước	237
5.1.2	Cấu trúc cơ bản và bộ điều khiển lý tưởng	239
5.1.3	Các tính chất của điều khiển truyền thẳng	241
5.1.4	Ứng dụng của điều khiển truyền thẳng	245
5.2	Điều khiển phản hồi	246
5.2.1	Ví dụ điều khiển thiết bị gia nhiệt hơi nước	246
5.2.2	Cấu trúc cơ bản	247
5.2.3	Vai trò của điều khiển phản hồi	249
5.2.4	Các vấn đề của điều khiển phản hồi	253
5.2.5	Điều khiển phản hồi kết hợp truyền thẳng	254
5.3	Điều khiển tỉ lệ	255
5.3.1	Ví dụ điều khiển thiết bị khuấy trộn liên tục	255
5.3.2	Ví dụ điều khiển thiết bị gia nhiệt hơi nước	256
5.3.3	Hai cấu hình điều khiển tỉ lệ	257
5.3.4	Bản chất và ý nghĩa của điều khiển tỉ lệ	259

5.3.5	Điều khiển tỉ lệ kết hợp điều khiển phản hồi.....	262
5.4	Điều khiển tầng.....	263
5.4.1	Ví dụ điều khiển thiết bị gia nhiệt hơi nước.....	264
5.4.2	Hai cấu trúc điều khiển tầng.....	265
5.4.3	Điều khiển vị trí van.....	266
5.4.4	Ứng dụng của điều khiển tầng.....	267
5.5	Điều khiển suy diễn.....	269
5.5.1	Ví dụ điều khiển lưu lượng khí.....	270
5.5.2	Ví dụ điều khiển thiết bị gia nhiệt dầu nóng.....	271
5.5.3	Ví dụ điều khiển nồng độ sản phẩm chưng luyện.....	273
5.6	Điều khiển lựa chọn.....	274
5.6.1	Điều khiển lẫn át.....	274
5.6.2	Điều khiển giới hạn.....	276
5.7	Điều khiển phân vùng.....	277
5.8	Ghi chú và tài liệu tham khảo.....	279
5.9	Câu hỏi và bài tập.....	280
CHƯƠNG 6 ĐẶC TÍNH CÁC THÀNH PHẦN HỆ THỐNG		283
6.1	Thiết bị đo.....	284
6.1.1	Cấu trúc cơ bản.....	284
6.1.2	Đặc tính vận hành.....	285
6.1.3	Đặc tính tĩnh.....	288
6.1.4	Đặc tính động học.....	292
6.1.5	Khái quát một số cảm biến công nghiệp.....	295
6.2	Thiết bị chấp hành và van điều khiển.....	300
6.2.1	Cấu trúc cơ bản của van điều khiển.....	300
6.2.2	Kiểu tác động của van.....	303
6.2.3	Đặc tính dòng chảy.....	304
6.2.4	Đặc tính động học.....	307
6.2.5	Bộ định vị van.....	308
6.3	Các bộ điều khiển phản hồi.....	309
6.3.1	Chiều tác động.....	310
6.3.2	Bộ điều khiển hai vị trí.....	312
6.3.3	Bộ điều khiển P.....	313
6.3.4	Bộ điều khiển PI.....	314
6.3.5	Bộ điều khiển PID lý tưởng.....	315
6.3.6	Bộ điều khiển PID thực.....	318
6.4	Ghi chú và tài liệu tham khảo.....	324
6.5	Câu hỏi và bài tập.....	325

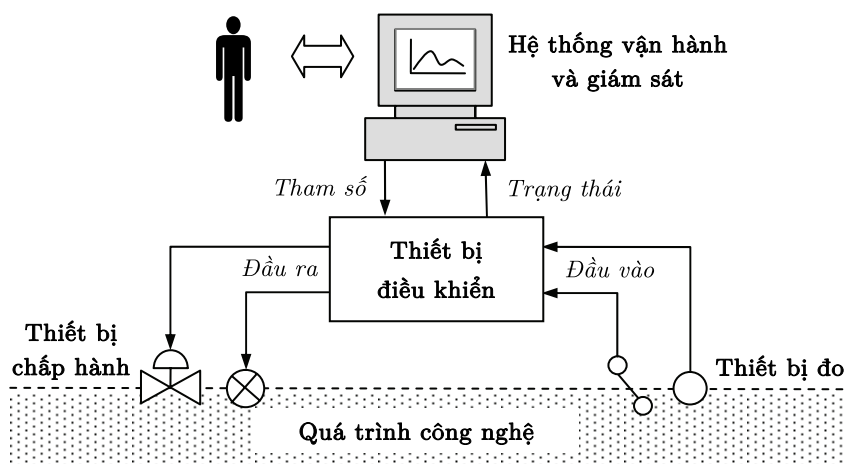
CHƯƠNG 7 PHÂN TÍCH HỆ ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI	329
7.1 Bài toán chuẩn.....	329
7.1.1 Cấu hình chuẩn	329
7.1.2 Sơ đồ khối và mô hình hàm truyền đạt	332
7.1.3 Chuẩn hóa mô hình	337
7.1.4 Phát biểu bài toán chuẩn và các quan hệ cơ bản	341
7.2 Tính ổn định của hệ điều khiển phản hồi.....	344
7.2.1 Khái niệm tính ổn định	345
7.2.2 Tính ổn định nội của hệ điều khiển phản hồi	350
7.2.3 Tiêu chuẩn Nyquist	356
7.2.4 Tiêu chuẩn Bode	362
7.2.5 Độ dự trữ ổn định	363
7.2.6 Tính ổn định được	366
7.3 Chất lượng điều khiển phản hồi	367
7.3.1 Đánh giá chất lượng trên miền thời gian	367
7.3.2 Đánh giá chất lượng trên miền tần số	371
7.3.3 Phân tích chất lượng điều khiển tăng.....	380
7.4 Ghi chú và tài liệu tham khảo	384
7.5 Câu hỏi và bài tập	385
 CHƯƠNG 8 CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN PID	 389
8.1 Cơ sở chung	390
8.1.1 Các dạng mô hình quá trình thông dụng.....	390
8.1.2 Xấp xỉ mô hình bậc cao – luật chia đôi.....	392
8.1.3 Các cấu hình điều khiển và kiểu bộ điều khiển	393
8.1.4 Đặc tính vòng điều khiển sử dụng bộ PID	394
8.1.5 Lựa chọn luật điều khiển	399
8.2 Các phương pháp dựa trên đặc tính đáp ứng.....	402
8.2.1 Phương pháp dựa trên đáp ứng bậc thang	402
8.2.2 Phương pháp dựa trên đặc tính dao động tới hạn	403
8.2.3 Phương pháp tự chỉnh phản hồi rơ-le.....	405
8.2.4 Phương pháp của Tyreus và Luyben	406
8.3 Các phương pháp dựa trên mô hình mẫu.....	410
8.3.1 Phương pháp Haalman	410
8.3.2 Phương pháp tổng hợp trực tiếp.....	411
8.3.3 Phương pháp tổng hợp trực tiếp ưu tiên kháng nhiễu	413
8.3.4 Phương pháp IMC	416
8.3.5 Phương pháp IMC cho quá trình không ổn định	421
8.3.6 Phương pháp xấp xỉ đặc tính tần	426
8.4 Các phương pháp nắn đặc tính tần.....	430

8.4.1	Phương pháp tối ưu đối xứng	430
8.4.2	Phương pháp ‘kappa-tau’	432
8.4.3	Phương pháp dựa trên dự trữ biên-pha	433
8.5	Điều khiển PID kết hợp bù trễ	437
8.5.1	Bộ dự báo Smith	437
8.5.2	Bộ điều khiển PI dự báo.....	439
8.6	Ghi chú và tài liệu tham khảo	441
8.7	Câu hỏi và bài tập	445
CHƯƠNG 9	THIẾT KẾ CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN CHO QUÁ TRÌNH ĐA BIẾN	447
9.1	Giới thiệu chung	447
9.1.1	Cấu trúc điều khiển là gì?	447
9.1.2	Cơ sở thiết kế cấu trúc điều khiển.....	452
9.2	Lựa chọn biến quá trình.....	453
9.2.1	Một số chỉ dẫn lựa chọn	454
9.2.2	Phân tích giá trị suy biến	457
9.3	Điều khiển đa biến/tập trung	460
9.4	Điều khiển đơn biến/phi tập trung	462
9.4.1	Cặp đôi các biến vào-ra	464
9.4.2	Tính ổn định của hệ điều khiển phi tập trung.....	466
9.5	Ghi chú và tài liệu tham khảo	467
PHỤ LỤC A		469
A.1	Tóm tắt chuẩn ANSI/ISA 5.1	469
A.2	Tóm tắt chuẩn ANSI/ISA 5.2.....	474
A.3	Tóm tắt chuẩn ANSI/ISA 5.3.....	477
PHỤ LỤC B		477
B.1	Chuẩn vector và chuẩn ma trận.....	477
B.2	Chuẩn tín hiệu và chuẩn hệ thống.....	480
B.3	Phép phân tích giá trị suy biến (SVD)	483
B.4	Ma trận khuếch đại tương đối (RGA).....	486
CHỈ MỤC		491

Chương 1

Mở đầu

Hệ thống điều khiển và giám sát là thành phần không thể thiếu trong mỗi nhà máy công nghiệp hiện đại. Từ những năm của nửa đầu thế kỷ trước cho tới nay, điều khiển tự động chiếm vai trò ngày càng quan trọng trong các ngành công nghiệp khai thác, chế biến và năng lượng (gọi chung là **công nghiệp chế biến**, *process industry*) như dầu khí, lọc dầu, hóa dầu, hóa chất, dược phẩm, thực phẩm, nhà máy điện. Các hệ thống điều khiển và giám sát được sử dụng trong những lĩnh vực đó có một số đặc thù chung, được xếp vào phạm trù các **hệ thống điều khiển quá trình** (*process control system, PCS*). Một hệ thống điều khiển quá trình chứa đựng trong đó toàn bộ các giải pháp đo lường, điều khiển, vận hành và giám sát nhằm bảo đảm các yêu cầu của **quá trình và thiết bị công nghệ** như chất lượng sản phẩm, sản lượng, hiệu quả sản xuất, an toàn cho con người, máy móc và môi trường. Hình 1-1 minh họa sơ lược cấu trúc và các thành phần cơ bản của một hệ thống điều khiển quá trình.



HÌNH 1-1: HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH

Mục đích của chương mở đầu này là cung cấp cho người đọc cái nhìn sơ lược về bản chất và mục đích của điều khiển quá trình, tổng quan về các chức năng và thành phần cơ bản của một hệ thống điều khiển quá trình và các nhiệm vụ đặt ra cho người kỹ sư.

1.1 Điều khiển quá trình là gì?

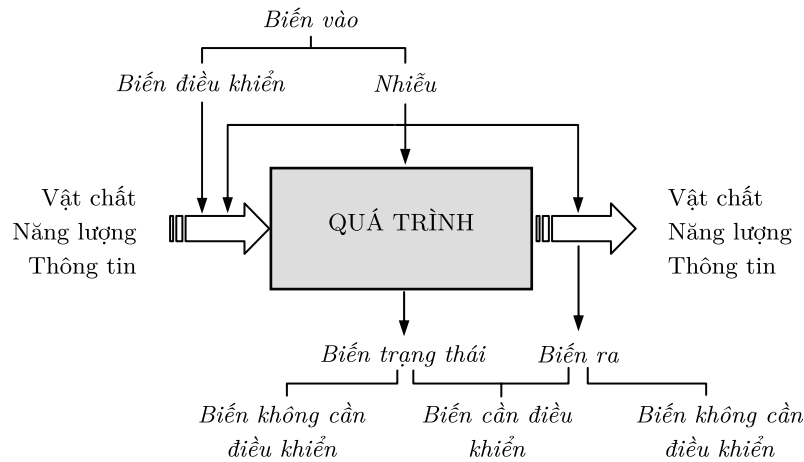
Trong nội dung cuốn sách này, khái niệm điều khiển quá trình được hiểu là *ứng dụng kỹ thuật điều khiển tự động trong điều khiển, vận hành và giám sát các quá trình công nghệ, nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm, hiệu quả sản xuất và an toàn cho con người, máy móc và môi trường*.

Để làm rõ định nghĩa này, những mục tiếp theo sẽ lần lượt cung cấp một số khái niệm cơ bản và phân tích những vấn đề đặc thù của điều khiển quá trình.

1.1.1 Quá trình và các biến quá trình

Quá trình được định nghĩa là một trình tự các diễn biến vật lý, hóa học hoặc sinh học, trong đó vật chất, năng lượng hoặc thông tin được biến đổi, vận chuyển hoặc lưu trữ (IEC60050-351 [1], ANSI/ISA 88.01 [2], DIN 19222 [4]). **Quá trình công nghệ** là những quá trình liên quan tới biến đổi, vận chuyển hoặc lưu trữ vật chất và năng lượng, nằm trong một dây chuyền công nghệ hoặc một nhà máy sản xuất năng lượng. Một quá trình công nghệ có thể chỉ đơn giản như quá trình cấp liệu, trao đổi nhiệt, pha chế hỗn hợp, nhưng cũng có thể phức tạp hơn như một tổ hợp lò phản ứng-tháp chưng luyện hoặc một tổ hợp lò hơi-turbin. **Quá trình kỹ thuật** là một quá trình với các đại lượng kỹ thuật được đo hoặc/và được can thiệp. Khi nói tới một quá trình kỹ thuật, ta hiểu là quá trình công nghệ cùng với các phương tiện kỹ thuật như thiết bị đo và thiết bị chấp hành. Sự phân biệt giữa hai khái niệm ‘quá trình kỹ thuật’ và ‘quá trình công nghệ’ ở đây không phải là vấn đề từ ngữ, mà chỉ nhằm mục đích thuận tiện cho các nội dung trình bày sau này. Từ nay về sau, nếu không nhấn mạnh thì khái niệm ‘quá trình’ có thể được hiểu là ‘quá trình công nghệ’ hoặc ‘quá trình kỹ thuật’ tùy theo ngữ cảnh sử dụng.

Trạng thái hoạt động và diễn biến của một quá trình thể hiện qua các **biến quá trình**. Khái niệm quá trình cùng với sự phân loại các biến quá trình được minh họa trên Hình 1-2. Một **biến vào** là một *đại lượng* hoặc một *điều kiện* phản ánh tác động từ bên ngoài vào quá trình, ví dụ lưu lượng dòng nguyên liệu, nhiệt độ hơi nước cấp nhiệt, trạng thái đóng/mở của rơ-le sợi đốt,... Một **biến ra** là một *đại lượng* hoặc một *điều kiện* thể hiện tác động của quá trình ra bên ngoài, ví dụ nồng độ hoặc lưu lượng sản phẩm ra, nồng độ khí thải ở mức bình thường hay quá cao,... Nhìn từ quan điểm của lý thuyết hệ thống, các biến vào thể hiện



HÌNH 1-2: QUÁ TRÌNH VÀ PHÂN LOẠI BIẾN QUÁ TRÌNH

nguyên nhân trong khi các biến ra thể hiện *kết quả* (quan hệ nhân-quả). Bên cạnh các biến vào ra, nhiều khi ta cũng quan tâm tới các **biến trạng thái**. Các biến trạng thái mang thông tin về trạng thái bên trong quá trình, ví dụ nhiệt độ lò, áp suất hơi hoặc mức chất lỏng, hoặc cũng có thể là dẫn xuất từ các đại lượng đặc trưng khác, ví dụ như (tốc độ) biến thiên nhiệt độ, áp suất hoặc mức. Trong nhiều trường hợp, một biến trạng thái cũng có thể được coi là một biến ra. Ví dụ, mức nước trong một bình chứa vừa có thể coi là một biến trạng thái, vừa có thể coi là một biến ra.

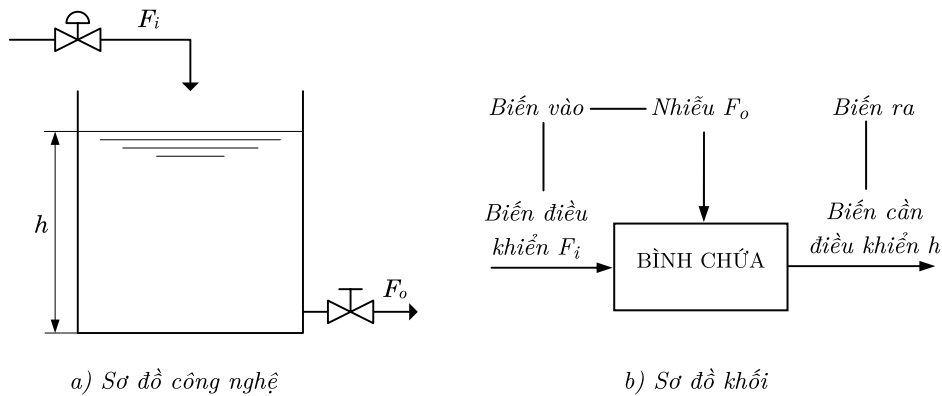
Một cách tổng quát, nhiệm vụ của hệ thống điều khiển quá trình là can thiệp các biến vào của quá trình một cách hợp lý để các biến ra của nó thỏa mãn các chỉ tiêu cho trước, đồng thời giảm thiểu ảnh hưởng xấu của quá trình kỹ thuật đối với con người và môi trường xung quanh. Hơn nữa, các diễn biến của quá trình cũng như các tham số, trạng thái hoạt động của các thành phần trong hệ thống cần được theo dõi và giám sát chặt chẽ. Tuy nhiên, trong một quá trình công nghệ thì không phải biến vào nào cũng có thể can thiệp được và không phải biến ra nào cũng cần phải điều khiển.

Biến cần điều khiển (*controlled variable, CV*) là một biến ra hoặc một biến trạng thái của quá trình được điều khiển, điều chỉnh sao cho gần với một giá trị mong muốn hay **giá trị đặt** (*set point, SP*) hoặc bám theo một **biến chủ đạo/tín hiệu mẫu** (*command variable/reference signal*). Các biến cần điều khiển liên quan hệ trọng tới sự vận hành ổn định, an toàn của hệ thống hoặc chất lượng sản phẩm. Nhiệt độ, mức, lưu lượng, áp suất và nồng độ là những biến cần điều khiển tiêu biểu nhất trong các hệ thống điều khiển quá trình. Các biến ra hoặc biến trạng thái còn lại của quá trình có thể được đo, ghi chép hoặc hiển thị.

Biến điều khiển (*manipulated variable, MV*) là một biến vào của quá trình có thể can thiệp trực tiếp từ bên ngoài, qua đó tác động tới biến ra theo ý muốn. Trong điều khiển quá trình thì lưu lượng là biến điều khiển tiêu biểu nhất.

Những biến vào còn lại không can thiệp được một cách trực tiếp hay gián tiếp trong phạm vi quá trình đang quan tâm được coi là **nhiều**. Nhiều tác động tới quá trình một cách không mong muốn, vì thế cần có biện pháp nhằm loại bỏ hoặc ít nhất là giảm thiểu ảnh hưởng của nó. Có thể phân biệt hai loại nhiễu có đặc trưng khác hẳn nhau là **nhiều quá trình** (*disturbance*) và **nhiều đo** (*noise*). Nhiễu quá trình là những biến vào tác động lên quá trình kỹ thuật một cách cố hữu nhưng không can thiệp được, ví dụ trọng lượng hàng cần nâng, lưu lượng chất lỏng ra, thành phần nhiên liệu, v.v... Còn nhiễu đo hay **nhiều tạp** là nhiễu tác động lên phép đo, gây ra sai số trong giá trị đo được.

Lưu ý rằng, cần phân biệt rạch ròi giữa các đầu vào/ra công nghệ và đầu vào/ra nhìn từ lý thuyết hệ thống. Nhìn từ phía công nghệ thì các đầu vào và đầu ra của một quá trình có thể là năng lượng hoặc vật chất, nhưng từ quan điểm hệ thống ta chỉ quan tâm tới thông tin thể hiện qua các biến quá trình. Hình 1-3 minh họa một bình chứa chất lỏng đơn giản cùng với các biến đặc trưng. Đây là một quá trình công nghệ, trong đó chất lỏng được vận chuyển và lưu trữ. Mặc dù chất lỏng chảy vào và ra khỏi bình, nhưng cả lưu lượng vào và lưu lượng ra đều được coi là các biến vào, trong khi mức chất lỏng h vừa có thể coi là một biến trạng thái hoặc là một biến ra của quá trình. Bài toán điều khiển đặt ra là thông qua điều chỉnh độ mở van cấp, thay đổi lưu lượng vào F_i một cách hợp lý để duy trì mức trong bình h ổn định tại một giá trị mong muốn, không phụ thuộc vào lưu lượng ra F_o . Có thể dễ dàng thấy, mức chất lỏng h là biến cần điều khiển và lưu lượng vào F_i là biến điều khiển. Trong khi đó, lưu lượng ra F_o phụ thuộc vào nhu cầu sử dụng của quá trình tiếp theo, không thể can thiệp được ở đây, vì vậy được coi là nhiễu quá trình hay **nhiều tải**.



HÌNH 1-3: BÌNH CHỨA CHẤT LỎNG VÀ CÁC BIẾN QUÁ TRÌNH

Các biến quá trình có thể đo được hoặc không đo được. Trong đa số các trường hợp, biến cần điều khiển cũng là một đại lượng đo được. Tuy nhiên nếu phép đo một đại lượng quá chậm, quá thiếu chính xác hoặc quá tốn kém, nó có thể được quan sát, tính toán hoặc điều khiển gián tiếp thông qua một đại lượng khác thay vì đo hoặc điều khiển trực tiếp. Vì thế, một **biến cần điều khiển** trong một số trường hợp chưa chắc sẽ là một **biến được điều khiển**. Ví dụ, đối với các tháp chưng luyện thì biến cần điều khiển là thành phần sản phẩm ra. Tuy nhiên, phép đo thành phần hóa chất thường rất chậm và kém chính xác, hơn nữa ảnh hưởng của nhiễu được phản ánh rất chậm trong thay đổi thành phần sản phẩm ra. Thực tế, người ta có thể chọn biến được điều khiển là nhiệt độ đỉnh tháp cũng như nhiệt độ đáy tháp, với lý do thành phần sản phẩm có quan hệ chặt chẽ với nhiệt độ, giá trị nhiệt độ dễ đo hơn và phản ánh nhanh hơn ảnh hưởng của nhiễu.

Trong nhiều bài toán, việc nhận biết các biến quá trình cũng như lựa chọn các biến được điều khiển và các biến điều khiển không phải bao giờ cũng dễ dàng. Đây là một trong những nhiệm vụ quan trọng trong quá trình thiết kế hệ thống điều khiển mà ta sẽ bàn kỹ hơn trong các chương sau.

1.1.2 Phân loại quá trình

Các quá trình công nghệ có thể được phân loại theo nhiều quan điểm khác nhau. Cách phân loại thứ nhất là dựa trên số lượng biến vào và biến ra. Một quá trình chỉ có một biến ra được gọi là **quá trình đơn biến**, còn nếu có nhiều biến ra thì được gọi là **quá trình đa biến**. Một quá trình một vào-một ra còn được gọi tắt là SISO (*single-input single-output*), quá trình nhiều vào-nhiều ra được gọi là MIMO (*multi-input multi-output*). Có thể nói, hầu hết quá trình công nghệ đều là đa biến.

Dựa trên đặc tính của những đại lượng đặc trưng (biến đầu ra hoặc biến trạng thái tiêu biểu), ta cũng có thể phân loại các quá trình thành **quá trình liên tục**, **quá trình gián đoạn**, **quá trình rời rạc** và **quá trình trễ**. Trong một **quá trình liên tục**, các nguyên liệu hoặc năng lượng đầu vào được vận chuyển hoặc biến đổi một cách liên tục (hoặc gần như liên tục). Một khi đã đạt được trạng thái xác lập, bản chất của quá trình không phụ thuộc vào thời gian vận hành. Các đại lượng đặc trưng của một quá trình liên tục là các biến tương tự, tức chúng có thể lấy một giá trị bất kỳ trong phạm vi giới hạn. Quá trình trao đổi nhiệt, quá trình bay hơi, quá trình vận chuyển chất lỏng và chất khí là các ví dụ quá trình liên tục tiêu biểu. Một **quá trình gián đoạn** (hay còn gọi là **quá trình không liên tục**) có bản chất giống như quá trình liên tục, tuy nhiên các biến vào ra chỉ được quan sát tại những thời điểm gián đoạn nhất định.