

LỜI NÓI ĐẦU

Kỹ thuật điều khiển là một lĩnh vực kỹ thuật đặc biệt, bởi vì nó gắn liền với nhiều ngành khoa học nghiên cứu về các hệ thống động rất đa dạng về bản chất, như các hệ thống cơ khí, điện, điện tử, các quá trình hóa học và sinh học, và cả các hệ thống kinh tế, chính trị và xã hội. Vì vậy, phạm vi ứng dụng của kỹ thuật điều khiển cũng rất rộng lớn, từ các lĩnh vực kỹ thuật như năng lượng điện, điện tử, viễn thông, cơ khí... đến các vấn đề mang tính xã hội.

Kỹ thuật điều khiển sử dụng mô hình toán học của các hệ thống động trong việc phân tích hành vi của hệ thống, trên cơ sở đó áp dụng các lý thuyết điều khiển để xây dựng các bộ điều khiển nhằm làm cho hệ thống hoạt động như được mong muốn. *Lý thuyết điều khiển cổ điển* tập trung vào các vấn đề của *điều khiển phản hồi*. Mặc dù những cơ sở toán học của lý thuyết điều khiển phản hồi đã xuất hiện từ thế kỷ 19 và nhất là trong những năm 1920-1940, như mô hình phương trình vi phân của các hệ thống động, lý thuyết về tính ổn định, các phương pháp phân tích trong miền tần số..., những năm sau chiến tranh thế giới lần thứ hai cho đến thập kỷ 60 của thế kỷ 20 mới được coi là giai đoạn phát triển thực sự của lý thuyết điều khiển cổ điển với sự ra đời của các công cụ phân tích và thiết kế hệ thống. Đặc điểm cơ bản của lý thuyết điều khiển cổ điển là việc sử dụng *các phương pháp trong miền tần số*, dựa trên *phép biến đổi Laplace*. Chính do đặc điểm đó nên lý thuyết điều khiển cổ điển chỉ thích hợp cho các *hệ thống tuyến tính bất biến*.

Thập kỷ 60 của thế kỷ 20 là thời điểm đánh dấu sự mở đầu của kỷ nguyên không gian trong lịch sử của loài người. Kể từ đây, kỹ thuật điều khiển bước vào một giai đoạn mới – giai đoạn phát triển của lý thuyết điều khiển hiện đại. Hai khái niệm quan trọng nhất trong kỹ thuật điều khiển hiện đại là *các phương pháp trong miền thời gian* và *điều khiển số*. Việc thiết kế các hệ thống điều khiển phi tuyến phức tạp, ví dụ như hệ thống điều khiển quỹ đạo của vệ tinh nhân tạo, vượt quá khả năng của các phương pháp cổ điển. Các phương pháp trong miền thời gian, sử dụng *mô hình biến trạng thái*, đã vượt qua được những hạn chế của lý thuyết điều khiển cổ điển khi đối mặt với các *hệ thống phi tuyến*. Với sự phát triển mạnh mẽ của các lĩnh vực ứng dụng của điều khiển phi tuyến như trong kỹ thuật hàng không vũ trụ hay robotics, vai trò của các phương pháp trong miền thời gian cũng trở nên ngày càng chiếm ưu thế so với các phương pháp trong miền tần số trong kỹ thuật điều khiển hiện đại. Ngày nay, thật khó tưởng tượng việc xây dựng một hệ thống điều khiển nếu thiếu đi máy tính hay các bộ vi điều khiển. Các lý thuyết của điều khiển số gắn liền với sự ra đời của máy tính, và cùng với sự phổ biến ngày càng rộng rãi của các hệ thống điều khiển sử dụng máy tính, điều khiển số đã trở thành lĩnh vực quan trọng hàng đầu của kỹ thuật điều khiển. Ngoài ra, kỹ thuật điều khiển hiện đại còn quan tâm tới những vấn đề như *điều khiển thích nghi* và *điều khiển tối ưu*, do các hệ thống cần điều khiển ngày càng trở nên phức tạp, không thể mô hình hóa được một cách chính xác, và do tính hiệu quả đối với nhiều hệ thống điều khiển hiện đại được xem là chỉ tiêu chất lượng quan trọng nhất.

Cuốn sách này được biên soạn với mục đích làm tài liệu giáo khoa nhập môn kỹ thuật điều khiển cho sinh viên các chuyên ngành kỹ thuật. Phần lớn nội dung của sách được biên soạn dựa trên hai cuốn sách được chọn làm giáo trình chính cho môn học kỹ thuật điều khiển bậc đại học tại nhiều trường đại học lớn trên thế giới là *Modern Control Systems* của Richard C. Dorf và *Feedback Control of Dynamic Systems* của Gene F. Franklin *et al.* Tài liệu này đã được duyệt đưa vào giảng dạy cho sinh viên chuyên ngành Điện tử - Viễn thông tại trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội. Các lý thuyết điều khiển được giới thiệu ở đây là những lý thuyết chung, có thể áp dụng cho nhiều lĩnh vực khác nhau chứ không thiên về một chuyên ngành nào. Nội dung của sách sẽ chỉ giới hạn trong phạm vi các vấn đề của điều khiển các hệ thống tuyến tính bất biến. Giới hạn đó là cần thiết đối với môn học đầu tiên của kỹ thuật điều khiển, nhằm tránh cho sinh viên khỏi bị choáng ngợp trước quá nhiều vấn đề khi mới bắt đầu làm quen với lĩnh vực này. Nội dung lý thuyết trong sách được chia làm ba phần chính: các mô hình toán học của hệ thống động (Chương II, III), phân tích (Chương IV đến IX) và thiết kế hệ thống điều khiển phản hồi (Chương X, XI). Do đối tượng nghiên cứu là các hệ thống tuyến tính bất biến, phần lớn nội dung lý thuyết trong sách sẽ là lý thuyết điều khiển cổ điển, bao gồm: mô hình hàm chuyển dựa trên phép biến đổi Laplace (Chương II), phương pháp Routh-Hurwitz phân tích tính ổn định của hệ thống trong miền tần số (Chương VI), phương pháp quỹ tích nghiệm (Chương VII), các phương pháp dựa trên đáp ứng tần số (Chương VIII, IX), và các phương pháp thiết kế trong miền tần số (Chương X). Để giúp sinh viên bước đầu tiếp cận với một số khái niệm của lý thuyết điều khiển hiện đại, cuốn sách có đưa ra giới thiệu một số nội dung về mô hình biến trạng thái (Chương III), các phương pháp phân tích và thiết kế hệ thống dựa trên mô hình biến trạng thái (một phần chương VI và toàn bộ chương XI) và điều khiển số (Chương XII). Mặc dù việc đặt các khái niệm này vào trong khuôn khổ của các hệ thống tuyến tính bất biến không làm nổi lên được sự ưu việt của các công cụ hiện đại so với các công cụ cổ điển cũng như các vấn đề của kỹ thuật điều khiển hiện đại, việc giới thiệu chúng vẫn là tiền đề cần thiết cho các môn tiếp theo trong hệ thống môn học của kỹ thuật điều khiển mà nội dung sẽ bao gồm các lĩnh vực của kỹ thuật điều khiển hiện đại như điều khiển số, điều khiển phi tuyến, điều khiển thích nghi và điều khiển tối ưu.

Một phần rất quan trọng thường có trong các môn học về kỹ thuật điều khiển là giới thiệu cho sinh viên các công cụ phân tích, thiết kế và mô phỏng hệ thống điều khiển trên máy tính. Điều đó sẽ giúp môn học trở nên lý thú hơn và có tính thực tiễn cao hơn. Trong cuốn sách này, phần mềm *MATLAB* của hãng MathWorks và bộ chương trình *Control System Toolbox* của *MATLAB* được chọn làm công cụ thực hành. *MATLAB* là bộ phần mềm tính toán phục vụ cho nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác nhau, vì vậy phần lớn sinh viên các chuyên ngành kỹ thuật đều quen thuộc với *MATLAB*. Bộ chương trình công cụ *Control System Toolbox* được xây dựng trong môi trường *MATLAB* như một công cụ phân tích, thiết kế và mô phỏng các hệ thống tuyến tính bất biến, sử dụng các phương pháp trong miền tần số và cả các phương pháp trong miền thời gian. Như vậy, bộ công cụ phần mềm này rất phù hợp với nội dung của cuốn sách.

Cuối cùng, tác giả xin chân thành cảm ơn các đồng nghiệp tại Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Công nghệ, đặc biệt là Giáo sư Huỳnh Hữu Tuệ và Tiến sỹ Trần Quang Vinh, đã giúp đỡ tác giả hoàn thành cuốn sách này. Mọi ý kiến đóng góp về nội dung của sách, xin gửi về cho tác giả tại Bộ môn Xử lý thông tin, Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội.

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU.....	1
CHƯƠNG I. GIỚI THIỆU VỀ CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN	7
1.1. Giới thiệu.....	7
1.2. Lịch sử của điều khiển tự động.....	9
1.3. Ví dụ về các hệ thống điều khiển hiện đại	11
CHƯƠNG II. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG.....	15
2.1. Giới thiệu.....	15
2.2. Phương trình vi phân của các hệ thống vật lý.....	16
2.3. Xấp xỉ tuyến tính của các hệ thống vật lý.....	18
2.4. Biến đổi Laplace	20
2.5. Hàm chuyển của các hệ thống tuyến tính	25
2.6. Mô hình sơ đồ khối	30
2.7. Mô hình lưu đồ tín hiệu.....	34
CHƯƠNG III. CÁC MÔ HÌNH BIẾN TRẠNG THÁI	44
3.1. Giới thiệu.....	44
3.2. Biến trạng thái của một hệ thống động	45
3.3. Phương trình vi phân của vector trạng thái.....	47
3.4. Đáp ứng theo thời gian rời rạc	50
CHƯƠNG IV. ĐẶC TRƯNG CỦA CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI	53
4.1. Hệ thống điều khiển vòng hở và vòng kín	53
4.2. Độ nhạy của hệ thống điều khiển đối với sự biến thiên của các tham số	54
4.3. Điều khiển đáp ứng nhất thời.....	57
4.4. Tín hiệu nhiễu trong hệ thống điều khiển phản hồi	59
4.5. Sai số ở trạng thái thường trực	62
CHƯƠNG V. HIỆU SUẤT CỦA CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI	66
5.1. Giới thiệu.....	66
5.2. Mô tả hiệu suất trong miền thời gian	67
5.3. Chỉ số hiệu suất	74

5.4. Sai số ở trạng thái thường trực của hệ thống điều khiển phản hồi.....	76
CHƯƠNG VI. TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA CÁC HỆ THỐNG PHẢN HỒI TUYẾN TÍNH	80
6.1. Khái niệm về tính ổn định.....	80
6.2. Điều kiện ổn định Routh-Hurwitz.....	81
6.3. Tính ổn định của hệ thống trong miền thời gian.....	84
6.4. Tính ổn định tương đối của các hệ thống điều khiển phản hồi	86
CHƯƠNG VII. PHƯƠNG PHÁP QUỸ TÍCH NGHIỆM	88
7.1. Giới thiệu.....	88
7.2. Khái niệm quỹ tích nghiệm.....	88
7.3. Phương pháp quỹ tích nghiệm	91
7.4. Thiết kế tham số bằng phương pháp quỹ tích nghiệm	94
7.5. Độ nhạy và quỹ tích nghiệm	95
CHƯƠNG VIII. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐÁP ỨNG TẦN SỐ	99
8.1. Giới thiệu.....	99
8.2. Đồ thị của đáp ứng tần số.....	101
8.3. Mô tả hiệu suất trong miền tần số	108
CHƯƠNG IX. TÍNH ỔN ĐỊNH TRONG MIỀN TẦN SỐ	113
9.1. Giới thiệu.....	113
9.2. Ảnh xạ của các chu tuyến trong mặt phẳng s	114
9.3. Điều kiện Nyquist	117
9.4. Tính ổn định tương đối và điều kiện Nyquist	120
9.5. Đáp ứng tần số của hệ thống vòng kín.....	126
9.6. Tính ổn định của hệ thống điều khiển với trễ	129
CHƯƠNG X. THIẾT KẾ CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI TRONG MIỀN TẦN SỐ	132
10.1. Giới thiệu.....	132
10.2. Các phương pháp bù	133
10.3. Các mạch bù nối tiếp.....	134
10.4. Bù trên đồ thị Bode sử dụng mạch sớm pha	140
10.5. Bù trong mặt phẳng s sử dụng mạch sớm pha	144
10.6. Phương pháp bù sử dụng mạch tích phân	146

10.7. Bù trong mặt phẳng s sử dụng mạch chậm pha	149
10.8. Bù trên đồ thị Bode sử dụng mạch chậm pha	151
10.9. Mạch bù sớm-chậm pha và bộ điều khiển PID	153
CHƯƠNG XI. THIẾT KẾ CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI TRONG KHÔNG GIAN TRẠNG THÁI	157
11.1. Giới thiệu.....	157
11.2. Tính điều khiển được và tính quan sát được	158
11.3. Sự triệt tiêu điểm cực-điểm không	161
11.4. Các phương trình biến trạng thái tương đương.....	163
11.5. Đặt điểm cực bằng phản hồi trạng thái	164
11.6. Điều khiển tối ưu bậc hai	169
CHƯƠNG XII. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ	173
12.1. Giới thiệu.....	173
12.2. Hệ thống lấy mẫu	174
12.3. Biến đổi z	175
12.4. Biến đổi z nghịch.....	179
12.5. Phân tích tính ổn định của hệ thống trong mặt phẳng z	180
12.6. Tính ổn định và hiệu suất của hệ thống lấy mẫu bậc hai	182
PHỤ LỤC A. GIỚI THIỆU MATLAB VÀ BỘ CHƯƠNG TRÌNH CONTROL SYSTEM TOOLBOX CỦA MATLAB	185
A.1. Giới thiệu.....	185
A.2. Sử dụng MATLAB.....	186
A.3. Thiết lập các mô hình hệ thống bằng Control System Toolbox.....	194
A.4. Phân tích mô hình.....	201
A.5. Thiết kế hệ thống điều khiển	203
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	206

Chương I

GIỚI THIỆU VỀ CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Tóm tắt nội dung

Mục đích của chương là giới thiệu một cách khái quát về các phương pháp thiết kế và xây dựng hệ thống điều khiển.

Để hiểu được mục đích của hệ thống điều khiển, chúng ta sẽ xem xét các ví dụ về các hệ thống điều khiển trong lịch sử phát triển của loài người. Thậm chí cả những hệ thống xuất hiện sớm nhất cũng đã bao gồm ý tưởng về phản hồi, một khái niệm có ý nghĩa trung tâm đối với toàn bộ cuốn sách này.

Ứng dụng của kỹ thuật điều khiển hiện đại bao gồm việc sử dụng các chiến lược điều khiển cho các thiết bị trong nhiều lĩnh vực như hàng không, công nghiệp luyện kim, y học... Trong chương này, chúng ta sẽ đề cập tới nhiều ứng dụng thú vị của kỹ thuật điều khiển.

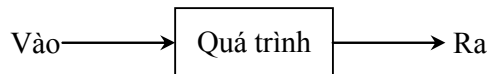
1.1. Giới thiệu

Nhiệm vụ của các kỹ sư điều khiển là hiểu rõ và điều khiển các thành phần của môi trường làm việc, thường được gọi là các *hệ thống*, nhằm tạo ra những sản phẩm có ích cho xã hội. Để có thể điều khiển một cách hữu hiệu, các hệ thống cần điều khiển phải được mô hình hóa, vì vậy sự hiểu biết bản chất và nguyên lý hoạt động của các hệ thống là vô cùng quan trọng. Trong thực tế, kỹ thuật điều khiển còn được áp dụng cho những hệ thống mà hoạt động của chúng chưa được lý giải hoàn toàn, ví dụ như một số quy trình hóa học. Thách thức đối với kỹ thuật điều khiển ngày nay là mô hình hóa và điều khiển các hệ thống hiện đại, phức tạp, có nhiều quan hệ tương hỗ, như các hệ thống điều khiển giao thông, các quá trình hóa học, hay các hệ thống robot... Tuy nhiên, lĩnh vực lớn nhất của kỹ thuật điều khiển vẫn là các hệ thống tự động hóa công nghiệp, một lĩnh vực đã và đang phát triển mạnh mẽ, mang lại nhiều lợi ích cho nền kinh tế và xã hội.

Lý thuyết điều khiển dựa trên các nền tảng của lý thuyết phản hồi và phân tích hệ thống tuyến tính, kết hợp các khái niệm của mạng truyền dữ liệu và lý thuyết truyền thông. Vì vậy, phạm vi của kỹ thuật điều khiển không hạn chế trong một ngành kỹ thuật cụ thể nào mà có thể áp dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như hàng không, hóa học, cơ học, môi trường, xây dựng, điện và điện tử... Ví dụ, chúng ta thường gặp các hệ thống điều khiển trong đó bao gồm các bộ phận điện, cơ học và cả hóa học. Ngoài ra, những kiến thức ngày càng tăng về động lực của các hệ thống chính trị, xã hội và thương mại cho phép mở ra khả năng ứng dụng của kỹ thuật điều khiển trong các hệ thống như vậy.

Một *hệ thống điều khiển (control system)* là một liên kết của nhiều thành phần, tạo nên một cấu hình hệ thống có khả năng đáp ứng một yêu cầu nhất định. Cơ sở để thực hiện việc phân tích một hệ thống là kiến thức nền tảng cung cấp bởi lý thuyết hệ thống tuyến tính, trong đó giả thiết mối quan hệ giữa các thành

phần của hệ thống là mối quan hệ nhân-quả. Một thành phần hay *quá trình* (*process*) cần được điều khiển có thể biểu diễn bằng một khối có đầu vào và đầu ra (Hình 1.1). Quan hệ vào-ra thể hiện mối quan hệ nhân-quả của quá trình, trong đó tín hiệu vào được xử lý nhằm tạo ra một tín hiệu ra, thường là với công suất đã được khuếch đại. Một hệ thống điều khiển kiểu *vòng hở* (*open-loop*) sử dụng một bộ điều khiển nhằm điều khiển một quá trình đáp ứng một yêu cầu xác định trước được thể hiện trong Hình 1.2.



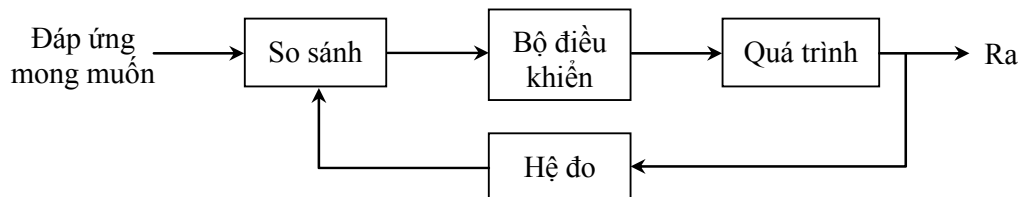
Hình 1.1. Quá trình cần điều khiển

Trái với các hệ thống điều khiển vòng hở, một hệ thống điều khiển kiểu *vòng kín* (*closed-loop*) sử dụng thêm một giá trị đo của tín hiệu ra thực sự để so sánh với đáp ứng đầu ra được mong muốn cho quá trình cần điều khiển. Giá trị đo này được gọi là *tín hiệu phản hồi* (*feedback signal*). Sơ đồ của một hệ thống điều khiển phản hồi kiểu vòng kín được thể hiện trong Hình 1.3.



Hình 1.2. Hệ thống điều khiển vòng hở

Định nghĩa: một hệ thống điều khiển phản hồi là một hệ thống điều khiển có khuynh hướng duy trì một mối quan hệ được định trước giữa các giá trị biến thiên của hệ thống bằng các phép so sánh giữa các giá trị này, sử dụng sự sai khác như một phương thức điều khiển.

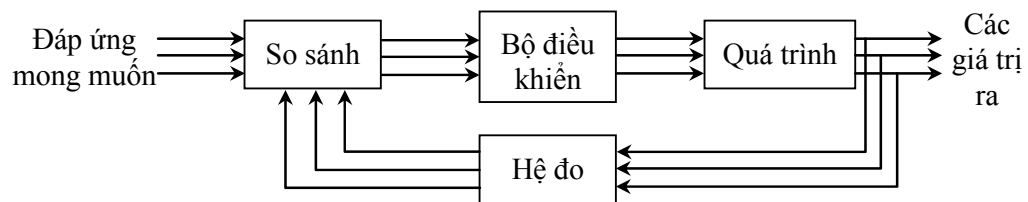


Hình 1.3. Hệ thống điều khiển phản hồi kiểu vòng kín

Hệ thống điều khiển phản hồi thường sử dụng hàm mô tả một mối quan hệ xác định trước giữa tín hiệu ra và tín hiệu vào đối sánh để điều khiển quá trình. Thường thì sự sai khác giữa tín hiệu ra của quá trình và tín hiệu vào đối sánh được khuếch đại và sử dụng để điều khiển quá trình sao cho sự sai khác liên tục giảm. Khái niệm phản hồi được coi là nền tảng cho việc phân tích và thiết kế các hệ thống điều khiển.

Do sự phức tạp của các hệ thống cần điều khiển ngày càng lớn và việc đạt được hiệu suất tối ưu của các hệ thống ngày càng được quan tâm, tầm quan trọng của kỹ thuật điều khiển đã và đang gia tăng một cách nhanh chóng. Khi các hệ thống trở nên phức tạp, chúng ta cần xem xét tới mối quan hệ giữa nhiều biến cần điều khiển của hệ thống. Những hệ thống như vậy được gọi là *hệ thống điều khiển đa biến* (*multi-variable control system* hay còn gọi là *MIMO – multiple-*

input multiple-output), để phân biệt với các hệ thống đơn biến (*SISO – single-input single-output*). Mô hình một hệ thống điều khiển đa biến được biểu diễn trong Hình 1.4.



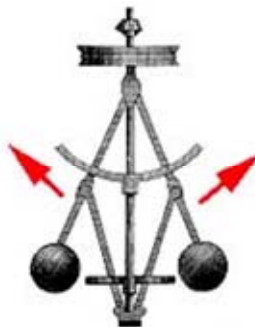
Hình 1.4. Hệ thống điều khiển đa biến

1.2. Lịch sử của điều khiển tự động

Ứng dụng phản hồi để điều khiển một hệ thống có quá trình lịch sử vô cùng lý thú. Những ứng dụng đầu tiên của điều khiển phản hồi xuất hiện cùng với sự phát triển các cơ cấu điều chỉnh dùng phao nổi của người Hy Lạp trong giai đoạn 300 B.C. đến 1 B.C., ví dụ như chiếc đồng hồ nước của Ktesibios. Vào khoảng năm 250 B.C., Philon sáng chế ra một loại đèn dầu, sử dụng một phao nổi để khống chế sao cho mực dầu trong đèn luôn ở một mức cố định. Tại thành phố Alexandria của Ai Cập vào thế kỷ đầu tiên sau công nguyên, một tác giả tên là Heron đã viết một cuốn sách mang tiêu đề *Pneumatica*, trong đó mô tả vài dạng cơ cấu điều khiển mức nước sử dụng phao nổi.

Hệ thống phản hồi đầu tiên được phát minh ở châu Âu là thiết bị khống chế nhiệt độ của Cornelis Drebbel (1572 – 1633) ở Hà Lan. Dennis Papin (1647 – 1712) phát minh ra thiết bị điều chỉnh áp suất cho nồi hơi vào năm 1681. Đây là một dạng thiết bị an toàn, tương tự như van an toàn của nồi áp suất.

Thiết bị điều khiển phản hồi tự động đầu tiên được sử dụng trong một hệ thống công nghiệp được ghi nhận là thiết bị điều tốc do James Watt phát triển vào năm 1769, dùng để điều khiển tốc độ của động cơ hơi nước.



Hình 1.5. Thiết bị điều tốc bằng các quả cầu (flyball governor) của James Watt

Theo người Nga thì hệ thống phản hồi đầu tiên là một thiết bị điều chỉnh mức nước, do I. Polzunov phát minh vào năm 1765. Thiết bị này đo mức nước trong nồi hơi và điều khiển việc đóng mở van cấp nước.

Giai đoạn trước 1868, sự phát triển các hệ thống điều khiển tự động còn mang tính trực giác. Các nỗ lực nhằm tăng độ chính xác của các hệ thống điều khiển

dẫn đến làm chậm sự suy giảm của các dao động nhất thời, thậm chí làm hệ thống trở nên không ổn định. Điều đó dẫn đến sự cấp thiết phải phát triển một lý thuyết về điều khiển tự động. Vào năm 1868, J.C. Maxwell là người đã thiết lập một lý thuyết toán học liên quan tới lý thuyết điều khiển, sử dụng mô hình phương trình vi phân để giải thích các vấn đề về tính thiếu ổn định mà thiết bị điều tốc của James Watt gặp phải. Nghiên cứu của Maxwell quan tâm tới ảnh hưởng của các tham số của hệ thống tới hiệu suất của hệ thống. Cũng trong khoảng thời gian đó, nhà khoa học Nga I.A. Vyshnegradskii đã thiết lập một lý thuyết toán học về các thiết bị điều chỉnh.

Từ giai đoạn trước chiến tranh thế giới thứ II, lý thuyết và kỹ thuật điều khiển phát triển theo hai xu hướng khác nhau. Tại Mỹ và Tây Âu, một trong những động lực chính thúc đẩy các ứng dụng của phản hồi là sự phát triển các hệ thống điện thoại và các bộ khuếch đại phản hồi điện tử, thực hiện bởi Bode, Nyquist và Black tại Bell Telephone Laboratories (Bell Labs – thành lập bởi AT&T vào năm 1925, từ năm 1996 trở thành một bộ phận của Lucent Technologies). Đặc trưng của xu hướng này là sử dụng các phương pháp trong miền tần số, chủ yếu để mô tả hoạt động của các bộ khuếch đại phản hồi bằng các biến tần số như dải thông. Xu hướng thứ hai diễn ra ở Liên bang Xô viết, nơi mà lý thuyết điều khiển là lĩnh vực thống lĩnh bởi nhiều nhà toán học và cơ học ứng dụng danh tiếng. Vì vậy, lý thuyết điều khiển Xô viết đi theo hướng dùng các mô hình toán học trong miền thời gian, sử dụng các phương trình vi phân.

Một động lực to lớn có tác dụng thúc đẩy sự phát triển về lý thuyết cũng như ứng dụng của điều khiển tự động xuất hiện trong thời gian diễn ra chiến tranh thế giới thứ II, do sự cần thiết phải thiết kế và chế tạo các hệ thống lái tự động cho máy bay, ngắm bắn tự động, điều khiển anten của radar, cùng nhiều hệ thống thiết bị quân sự khác dựa trên phương thức điều khiển phản hồi. Sự phức tạp và hiệu suất được mong đợi của các hệ thống thiết bị quân sự này đòi hỏi phải mở rộng các kỹ thuật điều khiển đã có và thúc đẩy sự quan tâm tới các hệ thống điều khiển cũng như sự phát triển các lý thuyết và phương pháp mới. Cho tới năm 1940, trong hầu hết các trường hợp, việc thiết kế các hệ thống điều khiển là một nghệ thuật theo phương pháp thử-và-sai. Trong những năm của thập kỷ 1940s, các phương pháp toán học và phân tích đã tăng cả về số lượng và tính hữu dụng, giúp kỹ thuật điều khiển trở thành một ngành kỹ thuật độc lập.

Các kỹ thuật trong miền tần số thống trị lĩnh vực điều khiển sau chiến tranh thế giới thứ II với ứng dụng ngày càng phổ biến của phương pháp *biến đổi Laplace* và *mặt phẳng tần số phức*. Vào những năm 1950s, trọng tâm của lý thuyết điều khiển là sự phát triển và ứng dụng của các phương pháp *mặt phẳng s* và đặc biệt là phương pháp *quỹ tích nghiệm*. Đến những năm 1980s, việc sử dụng máy tính số cho các bộ phận điều khiển trở nên phổ biến. Những phần tử điều khiển sử dụng máy tính này có khả năng tính toán một cách nhanh chóng và chính xác, điều đó trước kia nằm ngoài khả năng của các kỹ sư điều khiển. Ngày nay, máy tính là không thể thiếu trong các hệ điều khiển ở đó rất nhiều biến của hệ thống cần được đo đạc và điều khiển cùng một lúc.

Với sự mở đầu kỷ nguyên không gian, một động lực nữa của kỹ thuật điều khiển xuất hiện, đó là sự cần thiết phải thiết kế các hệ thống điều khiển vô cùng