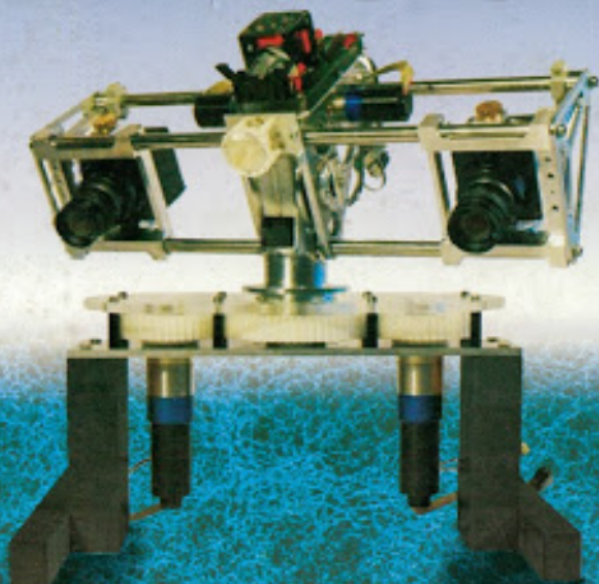


PHAN XUÂN MINH (CHỦ BIÊN)
HÀ THỊ KIM DUYÊN - PHẠM XUÂN KHÁNH

GIÁO TRÌNH LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

PHAN XUÂN MINH (Chủ biên)

HÀ THỊ KIM DUYÊN – PHẠM XUÂN KHÁNH

Lý thuyết
ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Lời nói đầu

Lý thuyết điều khiển tự động nghiên cứu các nguyên tắc chung để xây dựng hệ tự động, các phương pháp để khảo sát chúng mà không phụ thuộc vào bản chất vật lý của các quá trình. Lý thuyết điều khiển tự động là cơ sở lý thuyết để thiết kế các hệ tự động trong các lĩnh vực khác nhau của kỹ thuật, kinh tế cũng như nghiên cứu các hệ trong cơ thể sống hoặc trong mối quan hệ xã hội.

Nhiệm vụ cơ bản của lý thuyết điều khiển tự động là khảo sát các đặc tính tĩnh (ở chế độ xác lập) và đặc tính động của các hệ tự động, nhằm thiết kế hệ thống thỏa mãn các yêu cầu cho trước.

Nội dung của lý thuyết điều khiển tự động bao gồm:

- Phân tích hệ thống điều khiển tự động;
- Tổng hợp hệ thống điều khiển tự động.

Giáo trình gồm 8 chương, trình bày những nội dung cốt lõi của Lý thuyết Điều khiển tự động từ kinh điển đến hiện đại. Bằng các mô hình điều khiển tiên tiến, giáo trình không chỉ đáp ứng tốt nhu cầu học tập của sinh viên các trường cao đẳng kỹ thuật, mà còn là tài liệu tham khảo hữu ích cho các kỹ sư trong công việc thực tế và tiếp tục nghiên cứu sâu hơn về Lý thuyết Điều khiển tự động.

Do vấn đề được đề cập trong giáo trình khá rộng, nên không tránh khỏi những khiếm khuyết. Các tác giả chân thành cảm ơn và trân trọng các ý kiến đóng góp của bạn đọc để cuốn sách được hoàn thiện hơn trong lần tái bản sau. Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về: Khoa Điện tử, trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội, hoặc Công ty cổ phần sách Đại học – Dạy nghề, 25 Hà Thuyên, Hà Nội.

CÁC TÁC GIẢ

Chương 1

TỔNG QUAN HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

1.1. GIỚI THIỆU

Công nghệ điều khiển tự động là một khoa học hiện đại, ta có thể gặp ứng dụng của điều khiển tự động trong hầu hết các lĩnh vực: Đời sống (các thiết bị gia dụng trong gia đình, hệ thống điều khiển, giám sát an ninh, cửa, cầu thang máy tự động...); Công nghiệp (các dây chuyền sản xuất, tay máy robot lắp ráp, máy gia công CNC...); Năng lượng (hệ thống điều khiển trong nhà máy thủy điện, nhà máy nhiệt điện, điện hạt nhân, truyền tải điện...); Nông nghiệp (các nhà nuôi cấy cây, rau, quả công nghệ cao; các hệ thống nuôi, ấp động vật, thủy sản...); Giao thông (máy bay, tàu điện, tàu thủy, ô tô, các hệ thống tín hiệu điều khiển giao thông...); An ninh Quân sự (điều khiển súng, pháo, máy bay chiến đấu, tên lửa...), Nghiên cứu khoa học (điều khiển quá trình phóng, giữ quỹ đạo bay của tàu vũ trụ, các thiết bị thí nghiệm khoa học...). Ngay cả trong quản lý xã hội, kinh tế, sản xuất, điều khiển tự động vẫn có những ứng dụng nhất định, ví dụ như quản lý chất lượng đào tạo kỹ sư trong trường đại học, điều tiết giá cả trên thị trường, số lượng, chất lượng của sản phẩm được sản xuất của nhà máy...

Không một ai là người phát minh ra công nghệ điều khiển tự động, nó tồn tại trong tự nhiên. Hoạt động của con người là một ví dụ điển hình, một hệ thống điều khiển tự động kỳ diệu trong tự nhiên, từ quá trình giữ lượng hồng cầu, đường... trong máu, rồi bơm máu cung cấp oxy nuôi các tế bào, đến việc điều khiển của cánh tay, chân khi hoạt động, tự động điều tiết mắt để nhìn rõ vật ở các khoảng cách nhìn khác nhau... Ta cũng có thể nhận thấy rất nhiều hệ thống điều khiển tự động tương tự như vậy trong tự nhiên. Những người nghiên cứu về lĩnh vực điều khiển tự động luôn coi đó là thước ngắm, mục đích để hướng các nghiên cứu của mình đạt tới.

Thiết kế, xây dựng hệ thống điều khiển tự động là một công việc rất hứng thú và hấp dẫn, thích hợp cho những người có tài năng và sáng tạo, đam mê và mong muốn khám phá những cái mới. Bởi vì đây là công việc đòi

hỏi sự học hỏi không ngừng, luôn luôn sáng tạo. Đa số kỹ sư các ngành khác thường chỉ cần nắm vững duy nhất các kiến thức ngành của mình, ví dụ như là thiết kế mạch phần cứng, thiết kế phần mềm, gia công cơ khí... Tuy nhiên, một kỹ sư thiết kế hệ thống điều khiển tự động luôn phải tự mình nghiên cứu, học hỏi và làm việc trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Ví dụ như, nếu bạn thiết kế một hệ thống điều khiển trong công nghệ hóa học (dầu khí, hóa chất, dược phẩm...) thì bạn cần phải trang bị thêm các kiến thức về lĩnh vực hóa học, y học, cơ khí, điện, điện tử, công nghệ thông tin, chưa kể đến toán học và vật lý học, điều khiển học mà bạn đã được học. Đặc biệt một số ngành đang phát triển ở Việt Nam, như điều khiển tàu biển, thiết bị bay (máy bay, tên lửa, đạn pháo...), vũ trụ thiên văn... thì các bạn cần phải có kiến thức về con quay định vị, các hệ tọa độ trong không gian, quỹ đạo, khí động lực học...

1.2. NHIỆM VỤ CƠ BẢN CỦA LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

Lý thuyết điều khiển tự động nghiên cứu các nguyên tắc chung để xây dựng hệ tự động, các phương pháp để khảo sát chúng mà không phụ thuộc vào bản chất vật lý của các quá trình. Lý thuyết điều khiển tự động là cơ sở để thiết kế các hệ tự động trong các lĩnh vực khác nhau của kỹ thuật, kinh tế cũng như nghiên cứu các hệ trong cơ thể sống hoặc trong mối quan hệ xã hội.

Nhiệm vụ cơ bản của lý thuyết điều khiển tự động là khảo sát các đặc tính tĩnh (ở chế độ xác lập) và đặc tính động của các hệ tự động, nhằm thiết kế hệ thống thỏa mãn các yêu cầu cho trước.

Nội dung của lý thuyết điều khiển tự động bao gồm:

1.2.1. Phân tích hệ thống điều khiển tự động

Nhiệm vụ phân tích là khảo sát nguyên lý hoạt động của các phần tử và của hệ với cấu trúc và thông số đã cho cùng với các tác động khác nhau đối với hệ thống. Nhiệm vụ phân tích bao gồm khảo sát tính ổn định của hệ, đánh giá chất lượng tĩnh và động, nghĩa là khảo sát quá trình điều khiển.

1.2.2. Tổng hợp hệ thống điều khiển tự động

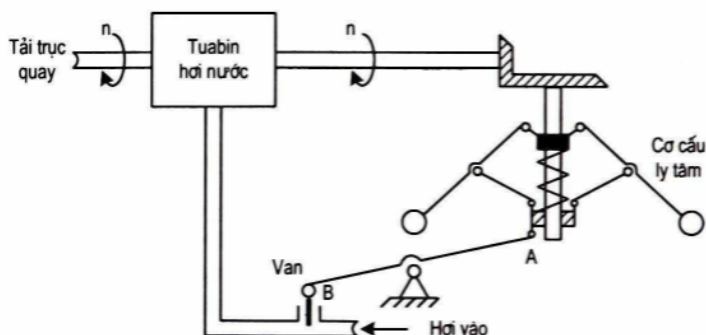
Nhiệm vụ tổng hợp là nhiệm vụ tương đối phức tạp hơn, bao gồm việc thiết kế hệ thống: chọn sơ đồ thực hiện cơ cấu điều khiển đối tượng, chọn các phần tử và xác định thông số của chúng để bảo đảm chất lượng và yêu

cầu đã được đặt ra đối với hệ tự động. Nhiệm vụ tổng hợp gắn liền với nhiệm vụ tối ưu hóa, nghĩa là nhiệm vụ tổng hợp tối ưu theo một nghĩa nào đó đối với hệ tự động.

Lý thuyết điều khiển tự động liên hệ chặt chẽ với các lĩnh vực khoa học kỹ thuật khác như lý thuyết dao động, lý thuyết mạch, lý thuyết về quá trình ngẫu nhiên cũng như những kiến thức về máy điện, thiết bị điện, khí nén, thủy lực, các thiết bị cảm biến và đo lường.

1.3. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

Trải qua lịch sử, con người luôn cố gắng thích nghi với các điều kiện sống khác nhau, dùng trí khôn của mình điều khiển thế giới theo cách có lợi nhất cho mình. Từ xa xưa, con người đã biết huấn luyện, khai thác sức ngựa, trâu, voi để thực hiện nhiều công việc khác nhau, tiếp sau đó là phát minh ra những cỗ máy thô sơ để thay thế cho chúng, và quá trình phát triển cứ thế tiếp diễn. Nửa cuối thế kỷ VXII đã bắt đầu xuất hiện những phát minh ứng dụng đầu tiên của công nghệ điều khiển tự động như van an toàn cho các hệ thống khí hơi, điều khiển tốc độ cối xay gió... Tuy nhiên, phát minh quan trọng nhất cho đến nay, được coi là nền móng, động lực cho những nghiên cứu lý thuyết điều khiển sau này là phát minh của James Watt vào năm 1769 về điều khiển tốc độ tuabin hơi nước dựa trên lực quay ly tâm của quả nặng hay còn gọi là máy điều tốc ly tâm (hình 1.1).



Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý hệ điều tốc của James Watt

Nguyên lý hoạt động của hệ thống này là duy trì cho tốc quay của tuabin hơi nước giữ ổn định. Nếu tốc độ n tăng lên, thông qua cơ cấu ly tâm,

con trượt sẽ kéo lên trên (kéo cả đầu A của cánh tay đòn AB) và đầu B bị ấn xuống làm cho van đóng lại, làm giảm luồng hơi cấp vào tuabin, do đó tốc độ quay của tuabin giảm xuống. Tương tự khi tốc độ quay của tuabin vì một nguyên nhân nào đó bị giảm xuống thì cánh tay đòn AB thông qua cơ cấu ly tâm sẽ hạ đầu A xuống và nâng đầu B lên để mở cửa van cho luồng hơi vào máy nhiều hơn và làm tăng tốc độ quay của tuabin hơi nước.

Các thuật toán điều khiển ngày nay xuất hiện vào khoảng giữa thế kỷ XIX. Năm 1868, James Clerk Maxwell đưa ra "Tiêu chuẩn ổn định của hệ bậc ba dựa trên hệ số của phương trình vi phân". Năm 1874, Edward Jonh Routh, dựa trên đề xuất của William Kingdon Clifford đã đưa ra "Tiêu chuẩn ổn định của hệ bậc năm". Năm 1877, đề tài nghiên cứu của Adams Pride đưa ra "Tiêu chuẩn ổn định của hệ thống động". Phát triển đồng thuận với nghiên cứu này, Routh công bố bài viết với tiêu đề "Tham luận về ổn định trạng thái của chuyển động", nội dung của bài báo này ngày nay chính là tiêu chuẩn ổn định Routh – Hurwitz sẽ được đề cập đến trong Chương 4. Ngoài ra, Alexandr Lyapunov cũng góp công lớn cho phát triển toán học điều khiển trong ổn định của hệ thống điều khiển. Ngay khi còn là một sinh viên tại đại học St. Petersburg của Nga, Lyapunov đã mở rộng công việc của Routh cho hệ phi tuyến trong luận án tiến sỹ khoa học của mình vào năm 1892 với tựa đề "Vấn đề tổng quan về ổn định của chuyển động". Các biến đổi toán học cơ sở để phát triển lý thuyết điều khiển đã được Laplace (1749 – 1827) và Fourier (1758 – 1830) phát triển.

Cuối những năm 1920 đầu năm 1930, H. W. Bode và H. Nyquist làm việc tại phòng thí nghiệm điện thoại Bell đã nghiên cứu công trình về thiết kế bộ khuếch đại phản hồi dựa trên đáp ứng tần số và ngược lại bằng toán học biến số phức, công trình miêu tả cách xác định tính ổn định của hệ thống sử dụng phương pháp miền tần số. Phương pháp này sau được mở rộng để cho ra đời những phương pháp thiết kế hệ thống điều khiển mà ngày nay vẫn được sử dụng rộng rãi.

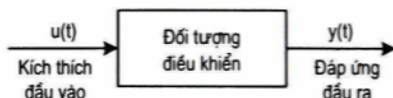
Năm 1948, Walter R. Evans một kỹ sư làm trong ngành hàng không, phát triển kỹ thuật đồ thị để vẽ quỹ đạo nghiệm của phương trình đặc trưng của hệ thống có phản hồi. Đây thực sự là đóng góp rất quan trọng trong quá trình phát triển của Lý thuyết Điều khiển tự động, phương pháp này ngày nay là phương pháp quỹ tích nghiệm số sẽ được đề cập đến trong chương 5.

Lý thuyết điều khiển kinh điển từ trước những năm 1950 chỉ đề cập đến hệ thống một đầu vào – một đầu ra SISO (Single Input – Single Output) bởi những giới hạn về công cụ tính toán. Với sự ra đời của máy tính trong thập niên 1950, biểu diễn, phân tích hệ thống trong không gian trạng thái và các phương pháp tổng hợp hệ thống nhiều đầu vào – nhiều đầu ra MIMO (Multi Input – Multi Output) xuất hiện và được ứng dụng thành công trong một số hệ thống phức tạp trong quân sự, vũ trụ, công nghiệp...

Khoảng thời gian từ 1960 đến nay là thời kỳ phát triển mạnh mẽ của lý thuyết điều khiển nâng cao: điều khiển tối ưu, bền vững, trí tuệ nhân tạo (mạng nơron), logic mờ (fuzzy logic) được ứng dụng vào các hệ thống điều khiển hiện đại và giúp cho các hệ thống điều khiển tự động ngày càng ổn định và thông minh hơn. Trên tất cả, lý thuyết điều khiển kinh điển chính là nền tảng cơ bản của điều khiển hiện đại. Việc kết hợp giữa lý thuyết điều khiển kinh điển với hiện đại luôn cho ta những hệ thống đơn giản nhưng rất hiệu quả.

1.4. CƠ SỞ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

Trong hệ thống điều khiển tự động luôn tồn tại hai thành phần cơ bản đó là *Đối tượng điều khiển* (ĐTĐK) và *Bộ điều khiển* (BĐK). Đối tượng điều khiển (hệ thống máy móc) là kết hợp của những thành phần (có liên hệ và được liên kết với nhau) để cùng nhau thực hiện một nhiệm vụ nhất định nào đó, ĐTĐK có đầu vào là một tín hiệu kích thích $u(t)$ thích hợp và đáp ứng đầu ra $y(t)$ là thông số công nghệ nào đó, $y(t)$ được gọi là đại lượng cần điều khiển. Lấy ví dụ, lò điện trở là một đối tượng điều khiển và nhiệt độ của lò là đại lượng cần điều khiển $y(t)$. Để đảm bảo cho nhiệt độ của lò là cố định hay thay đổi theo một nhu cầu nào đó thì ta phải thay đổi được tín hiệu kích thích $u(t)$ là điện áp cấp cho lò.



Hình 1.2. Sơ đồ của đối tượng điều khiển với đầu vào và đầu ra

Các tác động thay đổi điện áp cấp cho lò để nhiệt độ của lò đạt được giá trị mong muốn được gọi là tác động điều khiển. Trong hệ thống điều khiển bằng tay, các tác động này đều do con người thực hiện, còn trong hệ thống điều khiển tự động thì do bộ điều khiển thực hiện. Như vậy, điều khiển một hệ thống là tìm cách can thiệp vào hệ thống để hiệu chỉnh, biến đổi sao cho nó có được những đặc điểm, tính chất mà người sử dụng mong muốn.

1.4.1. Hệ thống điều khiển vòng mở

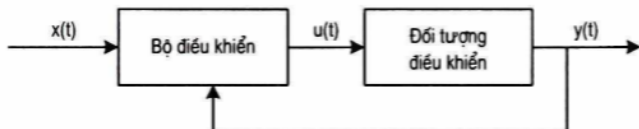
Hệ thống điều khiển vòng mở (hình 1.3) là hệ thống điều khiển mà tín hiệu điều khiển $u(t)$ không phụ thuộc vào tín hiệu đáp ứng đầu ra.



Hình 1.3. Hệ thống điều khiển vòng mở

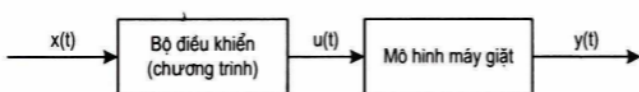
1.4.2. Hệ thống vòng kín hay điều khiển có phản hồi

Hệ thống vòng kín hay điều khiển có phản hồi (hình 1.4) là hệ thống điều khiển mà tín hiệu điều khiển $u(t)$ phụ thuộc vào tín hiệu đáp ứng đầu ra, ví dụ như $u(t)$ là một hàm của $y(t)$.



Hình 1.4. Hệ thống điều khiển vòng kín

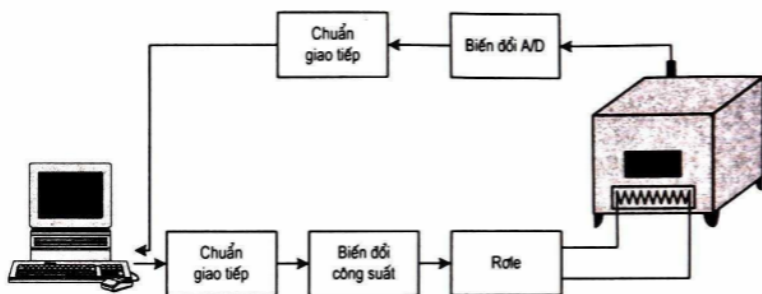
Trong các sơ đồ trên ngoài *tín hiệu đáp ứng đầu ra $y(t)$* , *tín hiệu điều khiển $u(t)$* , thì còn có tín hiệu đặt (giá trị mong muốn) là giá trị mà người điều khiển mong muốn ở đáp ứng đầu ra của hệ thống.



Hình 1.5. Ví dụ hệ thống điều khiển máy giặt

Một ví dụ đơn giản nhất về hệ điều khiển vòng mở là điều khiển máy giặt gia đình (hình 1.5). Với các tín hiệu đặt được lập trình sẵn trong bộ điều khiển như mức nước bơm vào, thời gian giặt, thời gian vắt, tốc độ của động cơ làm việc trong các quá trình..., tất cả được lựa chọn bằng thực nghiệm, sao cho chất lượng đầu ra là “độ sạch” của quần áo tốt nhất. Ở đây, tín hiệu đầu ra “độ sạch” của quần áo giặt là không đo được tự động trong quá trình làm việc, do đó chất lượng của hệ thống hoàn toàn phụ thuộc vào các thông số đặt sẵn của “bộ điều khiển” tức là phụ thuộc vào kinh nghiệm của người giặt.

Với hệ điều khiển vòng kín, ví dụ cụ thể là điều khiển nhiệt độ lò điện trở (hình 1.6). Lò điện trở cấu tạo gồm có vỏ bằng kim loại, lớp trong là gạch samốt chịu nhiệt, lòng lò được gia nhiệt bằng các thanh điện trở đốt, nhiệt độ lò được đo bằng một đầu đo nhiệt.



Hình 1.6. Ví dụ hệ thống điều khiển nhiệt độ lò điện trở

Trong hệ thống điều khiển nhiệt độ lò điện trở, tín hiệu đặt $x(t)$ là nhiệt độ mong muốn đạt được, đáp ứng đầu ra là nhiệt độ thực trong lò được đo bằng sensor nhiệt điện (hoặc nhiệt điện trở) được đưa về máy tính điều khiển qua bộ biến đổi A/D (Analog/Digital). Hiệu số giữa nhiệt độ đặt với nhiệt độ thực cho ta sai số nhiệt độ $e(t)$ của hệ thống. Từ sai số này máy tính điều khiển có nhiệm vụ tính toán đưa ra tín hiệu điều khiển rơle đóng hoặc ngắt nguồn cấp cho lò để giữ cho sai số nhiệt đạt được chỉ tiêu chất lượng đã đặt ra.



Hình 1.7. Sơ đồ hệ thống điều khiển lò nhiệt

1.5. VÍ DỤ MỘT SỐ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG TRONG THỰC TẾ

1.5.1. Hệ thống điều khiển mức chất lỏng

Đây là mô hình ta thường gặp trong các hệ thống công nghiệp như hóa chất, thực phẩm, các trạm trộn liệu... Nhiệm vụ của hệ thống là duy trì mức chất lỏng h trong bể chứa, mức chất lỏng này được đo và phản hồi về bộ

