

Mục lục

1	Các khái niệm cơ bản về điều khiển tự động	1-4
1.1	Giới thiệu chung	1-4
1.1.1	Ưu điểm của tự động điều khiển	1-5
1.1.2	Nhược điểm của tự động hoá.	1-6
1.2	Các khái niệm cơ bản về điều khiển tự động	1-7
1.2.1	Tín hiệu	1-7
1.2.2	Thông tin (information)	1-7
1.2.3	Truyền tin, giao tiếp (Communication)	1-7
1.2.4	Điều khiển (Control)	1-7
1.2.5	Điều khiển mạch hở, điều khiển bằng tay (Open loop, Manual control)	1-8
1.2.6	Điều khiển mạch kín (Close loop control, feedback control)	1-9
1.2.7	Đối tượng được điều khiển (Controlled Process, Plant, Object)	1-10
1.2.8	Biến được điều khiển $y(t)$ (Controlled Variable)	1-11
1.2.9	Bộ điều khiển (Controller)	1-11
1.2.10	Phần tử đo, cảm biến (Measuring element, sensor):	1-12
1.2.11	Tín hiệu cho trước (set point) $[r]$	1-12
1.2.12	Phần tử cho trước (Bộ tạo tín hiệu cho trước)	1-12
1.2.13	Độ lệch (error, deviation) $[e(t)]$	1-12
1.2.14	Phần tử so sánh, bộ cộng tín hiệu (Comparison element, summing point)	1-12
1.2.15	Bộ chế biến tín hiệu (Processing unit, Computer v.v.)	1-13
1.2.16	Bộ thực hiện (Actuator)	1-13
1.2.17	Cơ cấu điều chỉnh (Adjusting mechanism, Adjusting organ)	1-13
1.2.18	Phần tử thực hiện cuối (Final control element)	1-13
1.2.19	Biến tác động $u(t)$ (Manipulated variable)	1-13
1.2.20	Tín hiệu tác động (Actuating signal)	1-13
1.2.21	Nhiễu loạn (Disturbances)	1-13
1.2.22	Tải của hệ thống (Load)	1-14
1.2.23	Phân biệt biến số và thông số (variable vs. parameter)	1-14
1.3	Các nguyên lý điều khiển cơ bản nhất	1-14
1.3.1	Nguyên lý điều khiển theo độ lệch (feedback control)	1-14
1.3.2	Nguyên lý điều khiển tiếp tới (bù trừ nhiễu - feedforward control)	1-15

1.3.3	Bộ điều khiển nhiều xung (multi-element controller)	1-17
1.4	Phân loại bộ điều khiển	1-19
1.5	Sơ đồ khối	1-21
1.6	Các yêu cầu cơ bản đối với hệ thống điều khiển.	1-23
1.7	Ví dụ và bài tập	1-24
1.7.1	Ví dụ HÌNH 1-4 , hệ thống điều khiển nhiệt độ phòng học.	1-24
1.7.2	Bài tập:	1-28
2	Biến đổi Laplace – Hàm truyền – Sơ đồ khối – Mô hình toán.	2-31
2.1	Phép biến đổi Laplace	2-31
2.1.1	Phép biến đổi Laplace	2-31
2.1.2	Một số hàm cơ bản và ảnh Laplace của chúng	2-32
2.1.3	Các định lý cơ bản	2-36
2.1.4	Các tính chất cơ bản của phép biến đổi Laplace thuận (Bảng 2-1)	2-38
2.2	- Hàm truyền	2-38
2.2.1	Khái niệm hàm truyền:	2-38
2.2.2	Biểu thức tổng quát của hàm truyền:	2-39
2.2.1	Nhận xét về hàm truyền	2-39
2.3	Xây dựng và biến đổi sơ đồ khối	2-40
2.3.1	Sơ đồ khối của mạch kín.	2-40
2.3.2	Hàm truyền của hai khâu mắc nối tiếp	2-40
2.3.3	Hàm truyền của hai khâu mắc song song	2-41
2.3.4	Hàm truyền mạch hở và hàm truyền mạch cấp tới.	2-41
2.3.5	Hàm truyền mạch kín (Closed-loop transfer function).	2-42
2.3.6	Hàm truyền của mạch kín đối với nhiễu.	2-42
2.3.7	Thủ tục vẽ một sơ đồ khối.	2-44
2.3.8	Rút gọn sơ đồ khối.	2-45
2.4	Thiết lập mô hình toán cho các hệ thống động lực học	2-48
2.4.1	Các khái niệm cơ bản.	2-48
2.4.2	Tuyến tính hóa các mô hình toán học phi tuyến.	2-50
2.4.3	Ví dụ lập mô hình toán hệ động lực	2-52
3	Các hoạt động điều khiển cơ bản và các bộ điều khiển cơ bản	3-57
3.1	On-off	3-57
3.2	P	3-57
3.3	I	3-57

4	Xử lý tín hiệu tương tự	3-58
4.1	Khái niệm chung	3-58
4.2	Các nguyên lý chế biến tín hiệu tương tự.	3-58
4.2.1	Thay đổi cường độ tín hiệu	3-59
4.2.2	Tuyến tính hoá	3-59
4.2.3	Chuyển đổi dạng tín hiệu	3-59
4.2.4	Lọc và phối hợp trở kháng	3-59
4.2.5	Khái niệm nạp tải	3-59
4.3	Các mạch thụ động.	3-61
4.3.1	Mạch phân áp (Divider Circuits)	3-62
4.3.2	Cầu Wheatstone (Bridge)	3-63
4.4	Mạch khuếch đại thuật toán (Operational Amplifier- Op Amp)	3-68
4.4.1	Tính chất của bộ khuếch đại thuật toán	3-68
4.4.2	Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng.	3-68
4.4.3	Một số ứng dụng của các bộ khuếch đại thuật toán	3-70

Chương 1

1 Các khái niệm cơ bản về điều khiển tự động

1.1 Giới thiệu chung

Trong lịch sử, những thuỷ thủ đầu tiên cũng là những kĩ sư điều khiển hàng hải đầu tiên. Khi hành trình tàu bắt đầu chuyển sang hướng mà anh không mong đợi, anh ta bắt đầu chèo thuyền bằng chân và tay để đẩy thuyền đi theo hướng mà anh ta thích hơn. Người thuỷ thủ đã tự nhận ra những điều kiện không mong muốn và đã làm một việc là tạo ra một quá trình dịch chuyển trong giới hạn chấp nhận được do anh tự đặt ra.

Từ khi có bánh lái, người thuỷ thủ cầm lái cùng bánh lái đã cải thiện chất lượng và hiệu quả của hệ thống điều khiển.

Các hệ thống điều khiển ngày nay, về nguyên tắc, giống hệt như hệ thống điều khiển đã mô tả ở trên.

Sỹ quan máy nhìn đồng hồ vòng quay, hoặc đếm số vòng quay máy chính, rồi so sánh với vòng quay định trước, sau đó tiến hành đóng mở van hơi, hoặc thay đổi lượng nhiên liệu cấp, làm cho vòng quay phục hồi và do vậy điều khiển được tốc độ tàu. Nếu sỹ quan máy đứng tách ra ngoài, thay vào đó là một thiết bị dùng để đo độ sai lệch giữa số vòng quay thực tế với số vòng quay mong muốn, rồi nó tự định ra quyết định thay đổi độ mở van cấp nhiên liệu cho động cơ thì hệ thống được gọi là đã tự động hoá. Hệ thống tự động hoá lái tàu đầu tiên dùng một cánh buồm nhỏ gắn trên một cột buồm lái để phục hồi lại hướng đi của tàu.

Năm 1774 James Watt đã thiết kế một động cơ được tự động hoá đầu tiên có dùng một bộ điều tốc quả vàng có liên hệ ngược để điều khiển dòng hơi và do vậy là tốc độ động cơ. Các hệ thống trước đây thường rất đơn giản và tự tác động. Tự tác động (hay là tác động trực tiếp) nghĩa là quá trình điều khiển cũng còn cấp năng lượng cần thiết để điều khiển cơ cấu thực hiện.

Tài liệu này chủ đích dùng cho sinh viên ngành máy tàu thủy, những người sau khi tốt nghiệp sẽ thường xuyên làm việc trong môi trường quốc tế mà tiếng Anh được dùng phổ biến. Do vậy, một số khái niệm cơ bản, một số thuật ngữ, thậm chí cả một số chú thích trên hình cũng được để cả ở Tiếng Anh và Tiếng Việt, hòng giúp người đọc sau này bớt khó khăn khi tìm các thuật ngữ tự động điều khiển trong Tiếng Anh.



Hình 1-1: Bộ điều tốc ly tâm kiểu Watt (1788) lắp đặt trên một máy hơi nước Boulton and Watt tại Bảo tàng khoa học, London.

1.1.1 Ưu điểm của tự động điều khiển

Nâng cao hiệu suất

Hiệu suất của hệ thống được nâng cao nhờ giảm công suất cần dùng, giảm chi phí bảo dưỡng, tăng độ nhạy, độ chính xác và tính chắc chắn, cải thiện điều kiện làm việc và giảm sức lao động.

Nếu hệ thống tự động được thiết kế hoàn chỉnh thì hệ thống tự động điều khiển sẽ hoạt động với hiệu suất cao nhất trong các giới hạn nhất định. Một hệ tự động điều khiển có thể cảm biến cực kỳ nhạy đối với bất kỳ thông số nào mà người thiết kế có thể lựa chọn và do đó chất lượng của đầu ra và hiệu suất của quá trình không còn bị giới hạn hoặc phụ thuộc vào sự nhạy bén của người vận hành nữa. Ví dụ, hệ máy lái hiện đại có thể được bổ sung thêm rất nhiều đầu vào, ví như đo gia tốc của con tàu mà giảm bớt lực bẻ lái cần dùng nhờ tiến hành hiệu chỉnh bánh lái sớm lên, do vậy giảm được sự mất mát tốc độ từ việc bẻ lái quá lớn. Một ví dụ rất quan trọng trong buồng máy là việc cấp nước và điều khiển quá trình cháy trong các nồi hơi hiện đại. Người đốt lò không thể duy trì mực nước hoặc tốc độ đốt lò tốt như một hệ tự động được thiết kế tốt. Nhờ độ nhạy cao của hệ thống điều khiển cấp nước, các nồi hơi hiện đại có thể được hoạt động ở nhiệt độ cao hơn với trống hơi nhỏ hơn, do đó hiệu suất cao hơn.

Với các quá trình mà kết quả của nó là các sản phẩm thì sử dụng các hệ thống tự động có thể cải thiện tính chắc chắn của sản phẩm vì tất cả các lượng không chắc nhỏ bé và các biến động trong sản phẩm gây ra bởi sai sót hoặc sự không chú ý của con người đều có thể được loại trừ, do vậy giảm bớt các sản phẩm kém chất lượng.

Khi hệ thống tự động điều khiển duy trì hoặc có hiệu suất, tính tin cậy và an toàn cao hơn các hệ hoạt động bằng tay thì ta có thể giảm số nhân viên vận hành. Giảm số nhân viên trên tàu không những làm giảm lương mà còn giảm các chi phí trợ giúp cho họ bao gồm giảm chi phí trang thiết bị phòng ở, không gian sinh hoạt, chỗ chứa đồ, thức ăn thức uống v.v.

Giảm chi phí bảo quản

Các quá trình được điều khiển với hiệu suất cao nhất có thể có mức mài mòn ít hơn, ít ngừng trệ hơn so với các hệ vận hành bằng tay, do vậy ít phải bảo dưỡng hơn. Điều đó có được là nhờ ứng suất và tải đặt trên hệ thống có điều khiển tự động nhỏ hơn so với ở hệ điều khiển bằng tay. Cũng có thể là chi phí bảo dưỡng cho hệ điều khiển sẽ vượt quá lượng giảm chi phí cho bảo dưỡng các thiết bị của quá trình công nghệ, nhưng hiếm khi như vậy. Và nếu cân nhắc đến việc giảm chi phí sửa chữa nhờ giảm các hư hỏng ở thiết bị do sự thiếu kinh nghiệm của người vận hành thì hệ tự động điều khiển bao giờ cũng có chi phí duy tu thấp hơn.

Tăng tính an toàn

Các thiết bị tự động hóa hoạt động chính xác không tạo ra các sai lệch mà người hay mắc phải như mở và điều tiết sai chiều, hoặc quay bánh lái sang phải trong khi được lệnh quay bánh lái sang trái. Nếu hệ thống tự động điều khiển liên tục nhận được các dữ liệu đúng đắn và tin cậy thì hệ tự động về nguyên tắc sẽ tin cậy hơn nhiều so với hệ không tự động. Các trục trặc xảy ra là vì chính các mạch điều khiển có thể có khả năng hư hỏng nhất định. Nếu tính an toàn của hệ thống tự động điều khiển giảm đi khi được tự động hóa thì phải xem xét kỹ lưỡng để phục hồi lại tính an toàn cho nó. Ở Mỹ, sẽ là bất hợp pháp nếu lắp đặt các hệ tự động hóa trên các tàu treo cờ Mỹ mà nó lại không an toàn bằng hệ điều khiển bằng tay mà hệ này thay thế.

1.1.2 Nhược điểm của tự động hoá.

Nếu trình độ người dùng thỏa mãn, thiết kế chế tạo hợp lý, có tính đến tính kinh tế, thì các hệ thống tự động điều khiển sẽ không có các nhược điểm. Các hệ thống tự động điều khiển chính xác đòi hỏi nhiều nỗ lực thiết kế hơn, kỹ năng người lao động cao hơn, thử nghiệm phức tạp hơn, chi phí huấn luyện và chi phí thiết bị cao hơn. Tuy nhiên nếu các chi phí cho tuổi thọ thiết bị mà không giảm đi nhờ tự động hóa thì có thể không nên áp dụng tự động hóa.

Cũng nên lưu ý rằng các hệ thống tự động điều khiển mà bị đầu tắt do người vận hành không biết cách khống chế nó, không thích hoặc không thể hiểu được nó hoạt động ra sao thì sẽ không thể nào mang lại hiệu quả mà người thiết kế mong có.

1.2 Các khái niệm cơ bản về điều khiển tự động

1.2.1 Tín hiệu

Tín hiệu (signal) là một hiển thị, như là điệu bộ hoặc ánh đèn màu, làm phương thức để truyền thông tin (communication). Tín hiệu có thể là thông điệp được truyền theo phương thức như hiển thị hoặc điệu bộ vừa nêu. Trong cơ khí, tín hiệu có thể là chuyển vị, là mức biến đổi của áp suất, nhiệt độ. Trong điện, tín hiệu có thể là một xung hoặc một sự thay đổi của các đại lượng điện như điện áp, dòng điện, hoặc từ trường mà sự thay đổi đó đại diện cho một thông tin đã quy chuẩn. Trong các lĩnh vực đời sống thực, tín hiệu có thể là âm thanh, hình ảnh hoặc thông điệp được truyền đi và nhận được qua điện báo, điện thoại, truyền thanh, truyền hình v.v.

Ví dụ: Thông tin về nhiệt độ cao hay thấp có thể truyền trong môi trường keo, khi một hộp keo được dùng để đo nhiệt độ, vì ta biết keo giãn nở ra khi nhiệt độ của nó cao, thu nhỏ lại khi nhiệt độ của nó giảm. Khi này, tín hiệu về nhiệt độ chính là sự giãn nở của khối keo trong một hộp.

1.2.2 Thông tin (information)

Thông tin là kiến thức, là hiểu biết có được từ nghiên cứu, kinh nghiệm hoặc được chỉ dẫn. Nó cũng có thể là hiểu biết về các sự kiện hoặc tình huống được thu thập hoặc nhận được từ giao tiếp. Hoặc nó là tập hợp các sự thật hoặc dữ liệu.

1.2.3 Truyền tin, giao tiếp (Communication)

Truyền tin, hay giao tiếp, là hoạt động hoặc việc truyền thông tin, hoặc là thông tin được truyền đi; hoặc nó là quá trình mà thông tin được trao đổi giữa các cá thể thông qua một hệ thống chung của các biểu tượng, ký hiệu hoặc thái độ.

1.2.4 Điều khiển (Control)

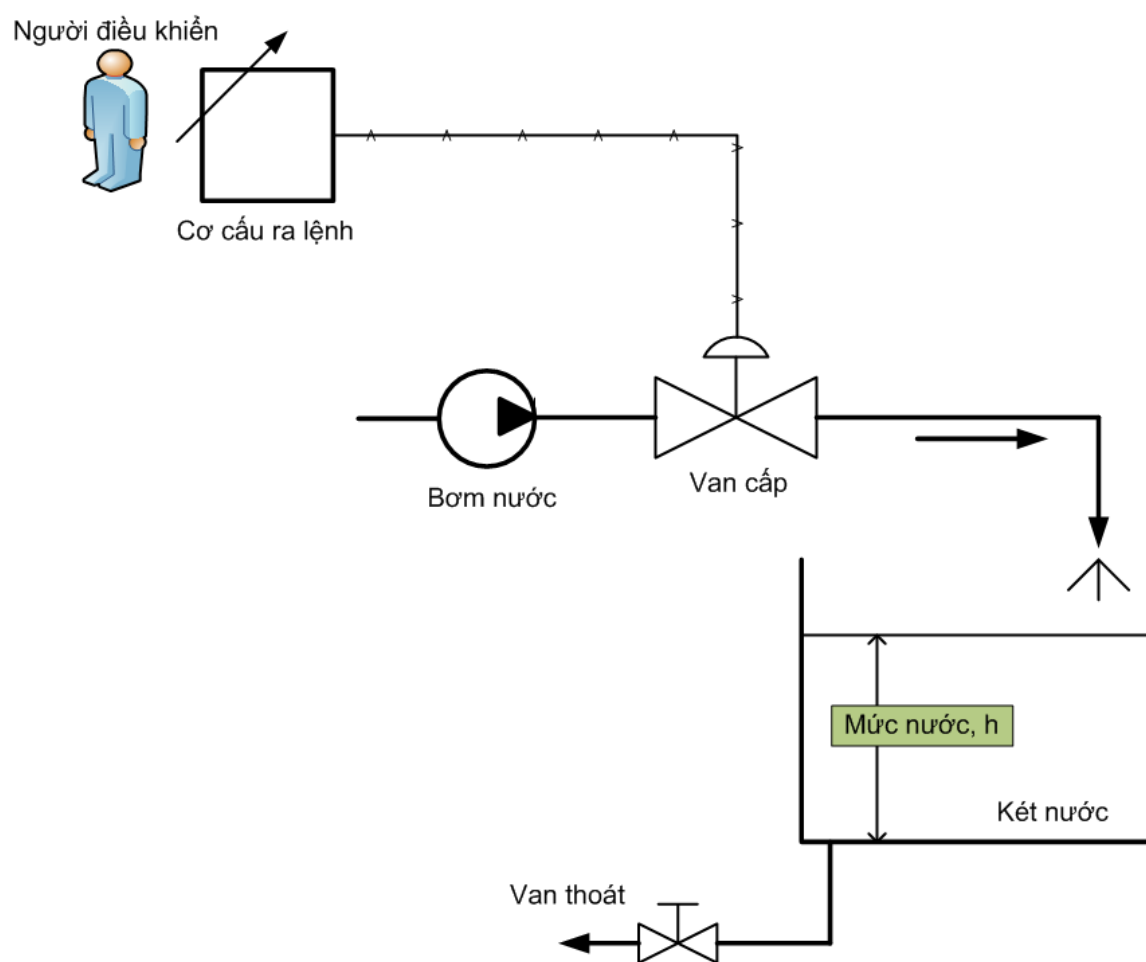
Điều khiển có nghĩa là ra lệnh, hướng dẫn, khống chế, điều chỉnh hoặc duy trì. Thuật ngữ “điều khiển” được dùng để bao hàm rất nhiều các hoạt động. Hiện thời, ta nên định nghĩa nó càng khái quát càng tốt, vì một hệ thống điều khiển cụ thể có thể thực hiện một hoặc nhiều các chức năng này.

Điều khiển có hai tác động quan trọng. Thứ nhất, điều khiển nghĩa là can thiệp vào hoặc tương tác với “cái” đang được điều khiển. Thứ hai, điều khiển nghĩa là có một “bộ điều khiển” (controller) và một cái gì đó để thực thi tác động điều khiển (bộ thực hiện - Actuator).

Mạch điều khiển (control loop) là một tập hợp các phần tử, chi tiết, thiết bị có quan hệ với nhau để thực hiện một chức năng điều khiển. Các thành phần cơ bản trong một mạch điều khiển gồm: cảm biến, thiết bị ra lệnh, thiết bị so sánh tính độ lệch, thiết bị thực hiện lệnh điều khiển và một đối tượng được điều khiển.

1.2.5 Điều khiển mạch hở, điều khiển bằng tay (Open loop, Manual control)

HÌNH 1-2 là sơ đồ một mạch điều khiển mạch hở, không có phản hồi. Mức nước trong két (h) là biến được điều khiển, nhưng nó lại không được đo, được theo dõi. Người điều khiển sẽ ra lệnh đóng, mở van. Các tác động nhiễu như độ mở van cấp thay đổi, độ mở van ra thay đổi v.v. làm cho mức nước trong két thay đổi. Nhưng, các nhiễu đó lại không được bù trừ tác động. Vậy, mạch điều khiển hở là mạch có tác động điều khiển hở, một chiều, không có tín hiệu phản hồi. Mạch điều khiển hở chỉ nên được dùng ở những nơi mà tác động nhiễu không làm thay đổi đáng kể giá trị của biến được điều khiển; Hoặc kết quả điều khiển hoàn toàn có thể dự đoán trước được.

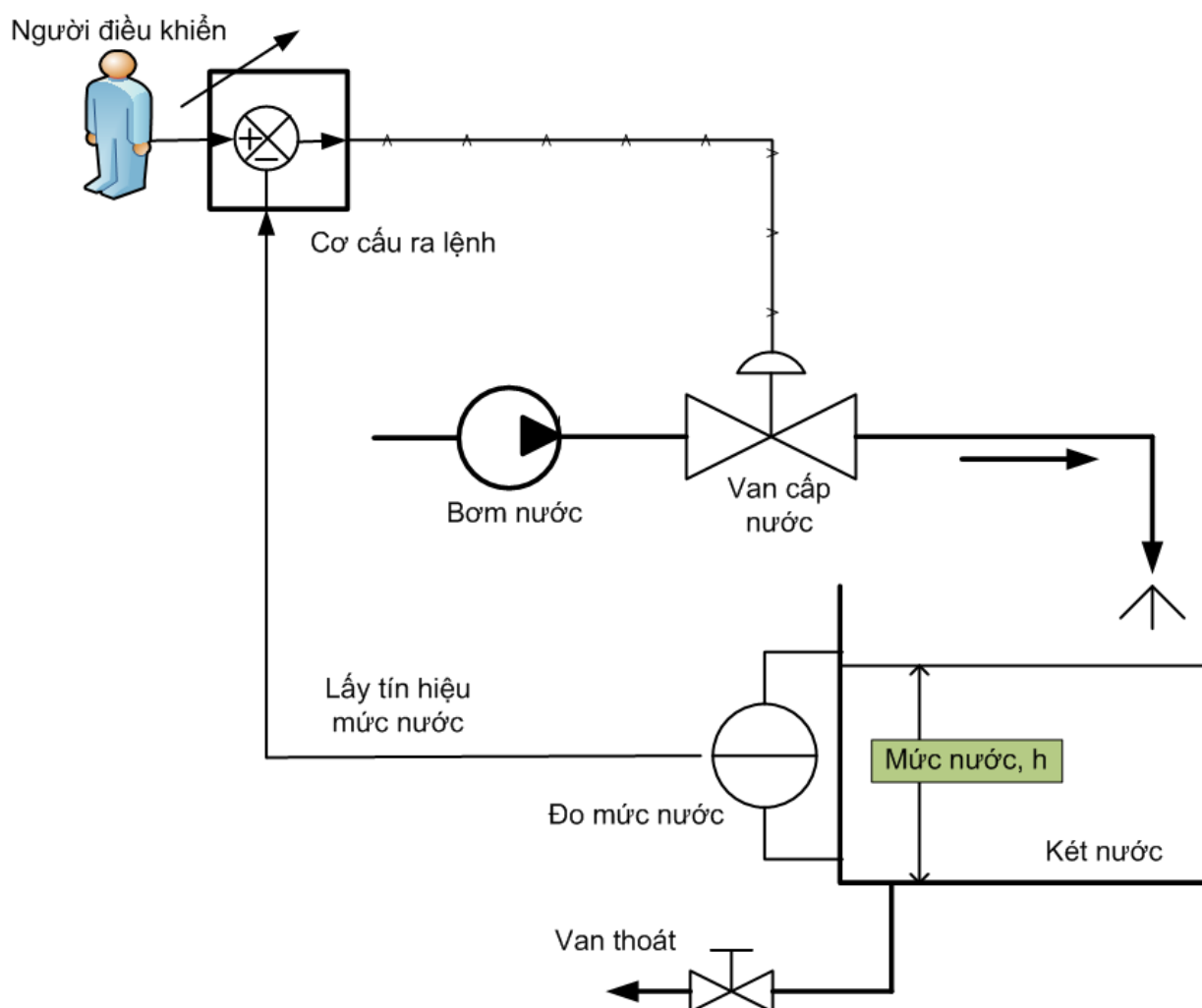


Hình 1-2: Một ví dụ về hệ thống điều khiển mạch hở, điều khiển mực nước (h) trong két

Điều khiển mạch hở chỉ có ích khi hệ thống được xác định tốt trong đó mối liên hệ giữa tác động đầu vào và trạng thái của kết quả có thể mô hình hóa bằng một biểu thức toán học. Ví dụ, có thể quyết định mức điện áp cấp vào một động cơ điện lai một tải cố định để quyết định tốc độ quay của động cơ đó. Nhưng nếu tải của động cơ là không dự đoán được thì tốc độ động cơ phụ thuộc nhiều cả vào tải và điện áp cấp, do vậy hệ điều khiển mạch hở không thể điều khiển tốt được tốc độ động cơ điện.

Bộ điều khiển mạch hở thường được dùng trong các quá trình đơn giản vì tính đơn giản và giá thành thấp của nó, đặc biệt trong các hệ không cần lắm đến phản hồi. ví dụ điển hình là máy giặt, vì thời gian của từng công đoạn giặt, xả, vắt có thể định trước bởi người dùng. Tuy nhiên, khi cần máy phải tự thay đổi quá trình giặt cho phù hợp với trọng lượng giặt, thậm chí loại vải được giặt thì phải cần đến hệ thống điều khiển phức tạp hơn, như điều khiển thích nghi (adaptive controller), có phản hồi (mạch kín), hoặc kết hợp v.v.

1.2.6 Điều khiển mạch kín (Close loop control, feedback control)



Hình 1-3: Hệ thống điều khiển mạch kín mực nước trong két (h)

So với sơ đồ trong **HÌNH 1-2**, hệ điều khiển mạch kín mực nước trong két, **HÌNH 1-3**, có thêm bộ phận đo mực nước thực tế (h) trong két, theo nguyên tắc cơ bản là nếu cần phải điều khiển cái gì thì ta phải đo cái đó trước. Từ đó, tín hiệu về mực nước thực trong két được đưa về bộ chế biến tín hiệu để so sánh với giá trị mong muốn về mực nước (h_r) trong két. Nếu $h_r - h > 0$, nghĩa là mực nước trong két thấp hơn mong muốn, vậy bộ chế biến tín hiệu sẽ phải gia công ra một tác động điều khiển để mở rộng thêm van cấp nước nhằm duy trì mực nước cao trở lại bằng với giá trị mong muốn. Và ngược lại, nếu $h_r - h < 0$. Vai trò

của người điều khiển lúc này chỉ là giám sát quá trình hoạt động, và đặt trước giá trị mục nước mong muốn (hr).

Nguyên lý điều khiển như vừa nêu trên được ứng dụng rất phổ biến trong công nghiệp, vì tính hiệu quả cao, đơn giản, giá thành thấp. Người ta thường gọi hoạt động điều khiển này là có phản hồi (feedback control).

Hệ thống điều khiển mạch kín lý tưởng có thể khử hết được các sai số, giảm nhẹ có hiệu quả các ảnh hưởng của của các lực có thể hoặc không có thể phát sinh trong quá trình hoạt động và tạo ra một đáp ứng trong hệ thống phù hợp với mong muốn của người sử dụng. Trong thực tế, không thể có hệ điều khiển lý tưởng như vậy vì có độ trễ trong các phép đo các sai số (độ lệch) và tính không hoàn hảo của các tác động điều khiển.

Các bộ điều khiển mạch kín (feedback controllers) có các ưu điểm sau đây so với các bộ điều khiển mạch hở (feedforward controllers):

- Khử được nhiễu
- Đảm bảo hoạt động được ngay cả khi mô hình điều khiển không chắc chắn, nghĩa là khi cấu trúc của mô hình không hoàn toàn giống với cấu trúc thực của đối tượng được điều khiển và các thông số của mô hình không chính xác.
- Có thể ổn định đối tượng được điều khiển không ổn định
- Giảm tính nhạy đối với các sự thay đổi của các đại lượng thuộc đối tượng được điều khiển.

1.2.7 Đối tượng được điều khiển (Controlled Process, Plant, Object)

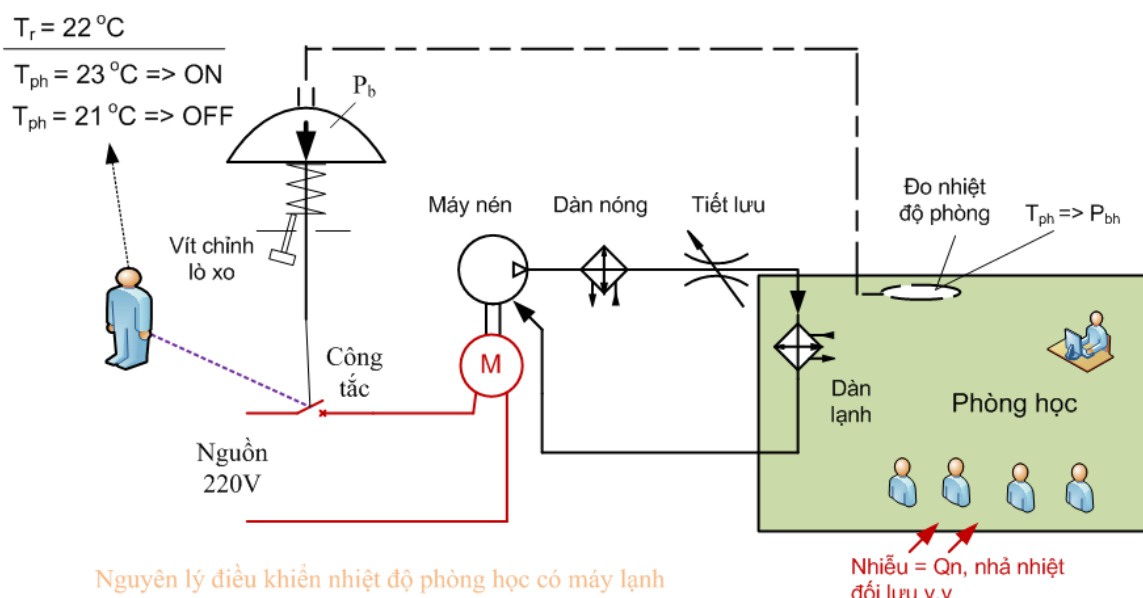
Đối tượng được điều khiển là một máy móc, thiết bị, quá trình, hoặc hệ thống mà nó có một số đại lượng đặc trưng, và các đại lượng đặc trưng này lại cần phải được điều khiển theo ý muốn của con người. Ví dụ như là quá trình thắp sáng một bóng đèn, sưởi nóng một căn phòng, hoặc lái xe trên đường. Đối tượng được điều khiển có thể là một quá trình vật lý, hóa học, cơ học v.v và chúng có thể tồn tại khắp mọi nơi trong vũ trụ.

Ví dụ 1:

HÌNH 1-3 – đối tượng được điều khiển là kết nước, với biến được điều khiển là mức nước (h).

Ví dụ 2:

Đối tượng được điều khiển có thể là một phòng học khi ta muốn điều khiển nhiệt độ trong phòng (T). Xem **HÌNH 1-4**. Tác động điều khiển là việc hâm nóng phòng khi nhiệt độ trong phòng (T) thấp, làm mát phòng học khi nhiệt độ trong phòng cao hơn mức mong muốn (Tr). Khi đó nhiệt độ trong phòng (T) là một đại lượng đặc trưng trong số nhiều đại lượng trong số nhiều đại lượng đặc trưng cho phòng học, mà nó (nhiệt độ không khí trong phòng, T) cần phải được điều khiển theo ý muốn của chúng ta.



Hình 1-4: Hệ thống điều khiển tự động nhiệt độ phòng học

1.2.8 Biến được điều khiển $y(t)$ (Controlled Variable)

Biến được điều khiển $[y(t)]$ là một đại lượng đặc trưng của đối tượng được điều khiển, nó được chọn, được đo và được điều khiển trực tiếp bởi một bộ điều khiển thích hợp.

Ví dụ:

Nhiệt độ không khí trong phòng học (T); Mức nước trong két (h).

Nhiệt độ trong phòng học là một biến được điều khiển, vì nó là một trong những đặc trưng của phòng học, mà người ta lại muốn nhiệt độ trong phòng khá điều hòa, làm cho người ngồi học và người dạy dễ chịu. Tuy nhiên, trong phòng học còn có nhiều đại lượng đặc trưng khác, như số người ngồi học, chất lượng giảng dạy v.v. mà tùy theo nhu cầu cụ thể mà ta có thể chọn thêm một vài đại lượng được điều khiển khác, đương nhiên lại phải có thêm bộ điều khiển phù hợp.

1.2.9 Bộ điều khiển (Controller)

Bộ điều khiển là một sự kết hợp của các phần tử (không nhất thiết chỉ là cơ khí) có hoạt động cùng nhau để cảm biến giá trị của đại lượng nào đó thuộc đối tượng được điều khiển và đưa ra các tác động để ra lệnh, hướng dẫn, khống chế, điều chỉnh hoặc duy trì giá trị của đại lượng đó.

Một ví dụ đơn giản, bộ điều khiển có thể là một hệ đo tốc độ tàu rồi điều chỉnh công suất tác dụng của động cơ chính để duy trì tốc độ tàu ở giá trị cụ thể nào đó mà ta định trước.

Bộ điều khiển tương tác với quá trình (đối tượng được điều khiển) theo hai cách. Thứ nhất là nó đo đạc và đánh giá biến nào đó của quá trình. Thứ hai, nó làm thay đổi một hoặc vài biến của quá trình, của đối tượng được điều khiển.

1.2.10 Phần tử đo, cảm biến (Measuring element, sensor):

Phần tử đo, cảm biến là thiết bị dùng để **cảm nhận (đo đạc)** giá trị của biến được điều khiển $y(t)$ và **biến đổi** giá trị đó thành tín hiệu chuẩn $c(t)$ để có thể dùng được ở các bộ phận tiếp theo của bộ điều khiển. Thông thường, tín hiệu này $c(t)$ được gửi tới phần tử so sánh, để so sánh với giá trị cho trước (r) nhằm tạo ra độ lệch $e(t)$.

Ví dụ:

Hộp keo kín hình trụ, có đáy và thành trụ rất cứng vững, nhưng có mặt đỉnh trụ là một màng kim loại có nếp gợn sóng. Nhiệt độ hộp keo tăng sẽ làm mặt đỉnh hình trụ này lồi lên trên. Mức lồi lên này (nhiều hay ít) chính là tín hiệu về nhiệt độ và nó tỷ lệ với mức tăng nhiệt độ hộp keo.

1.2.11 Tín hiệu cho trước (set point) [r]

Tín hiệu cho trước (set point) $[r]$ là thông số vào độc lập mà ta đặt cho bộ điều khiển, quyết định giá trị cân bằng của biến được điều khiển. Tín hiệu này còn được gọi là *giá trị cho trước - set point, giá trị mong muốn - desired value, tín hiệu chỉ huy - command value*.

1.2.12 Phần tử cho trước (Bộ tạo tín hiệu cho trước)

Phần tử cho trước (bộ tạo tín hiệu cho trước) là thiết bị được dùng để tạo ra giá trị tham chiếu (reference value, cho trước) cho biến được điều khiển. Thông thường, tín hiệu này được gửi tới phần tử so sánh để so sánh với giá trị cho trước. Độ lệch (sự sai khác – error, deviation) giữa hai giá trị này $e(t) = r - c(t)$ được gửi tới bộ chế biến tín hiệu (processing unit, computer) hoặc bộ điều khiển (controller).

1.2.13 Độ lệch (error, deviation)[e(t)]

Độ lệch, $e(t)$, là sự sai khác giữa giá trị cho trước và giá trị thực tại của biến được điều khiển, nó được tạo ra (kết quả) từ phần tử so sánh, $e(t) = r - c(t)$.

1-1

$$e(t) = r - c(t)$$

1.2.14 Phần tử so sánh, bộ cộng tín hiệu (Comparison element, summing point)

Phần tử so sánh, hay là bộ cộng tín hiệu, là một thành phần dùng để đánh giá mức sai khác giữa giá trị thực của biến được điều khiển với giá trị đặt trước và tạo ra một tín hiệu từ độ lệch này, $e(t)$.

1.2.15 Bộ chế biến tín hiệu (Processing unit, Computer v.v.)

Bộ chế biến tín hiệu (bộ điều khiển cơ bản) là một thành phần của bộ điều khiển dùng để phân tích độ lệch, rồi chế biến tín hiệu độ lệch này theo một quy luật nào đó để xuất ra tín hiệu dẫn động bộ thực hiện dẫn tới làm thay đổi biến tác động theo ý muốn của ta. Các hoạt động điều khiển, các chương trình điều khiển, hay các quy luật điều khiển được chế biến tại đây.

1.2.16 Bộ thực hiện (Actuator)

Bộ thực hiện nhận tín hiệu ra là tín hiệu tác động (actuating signal) từ bộ chế biến tín hiệu chính (bộ điều khiển cơ bản) rồi gia công và khuếch đại công suất cho tín hiệu này để gửi tới cơ cấu điều chỉnh để tác động lên khối lượng và dòng năng lượng của đối tượng được điều khiển.

1.2.17 Cơ cấu điều chỉnh (Adjusting mechanism, Adjusting organ)

Cơ cấu điều chỉnh tiếp nhận tín hiệu điều khiển từ bộ thực hiện và làm thay đổi khối lượng và dòng năng lượng của đối tượng được điều khiển. Thông thường, cơ cấu điều chỉnh là một bộ phận của đối tượng được điều khiển. Ví dụ, thanh răng và bơm cao áp của động cơ diesel.

1.2.18 Phần tử thực hiện cuối (Final control element)

Phần tử thực hiện cuối là một nhóm các bộ phận điều chỉnh nhận tín hiệu từ bộ chế biến tín hiệu, hoặc từ bộ điều khiển và làm thay đổi trực tiếp biến tác động. Như vậy, nó thường bao gồm bộ thực hiện và cơ cấu điều chỉnh.

1.2.19 Biến tác động $u(t)$ (Manipulated variable)

Biến tác động $u(t)$ là biến của quá trình (đối tượng được điều khiển), được bộ điều khiển thay đổi (gia công) nhằm làm thay đổi giá trị của biến được điều khiển. Đôi khi, nó được gọi là đầu vào (input), hoặc tác động vào điều khiển (control input) của đối tượng được điều khiển. Biến này chính là đầu ra của bộ điều khiển, hoặc nếu khâu trợ lực được sử dụng thì nó là đầu ra của khâu trợ lực (Actuator).

1.2.20 Tín hiệu tác động (Actuating signal)

Tín hiệu tác động là tín hiệu ra từ bộ xử lý, được gửi đến phần tử thực hiện. Đây là tín hiệu trung gian của biến tác động.

1.2.21 Nhiễu loạn (Disturbances)

Nhiễu loạn là các biến số $D(t)$ mà ta không điều khiển được của quá trình và chúng có ảnh hưởng đến giá trị của biến được điều khiển theo hướng ta không mong muốn. Có rất nhiều dạng nhiễu tác động lên hệ thống. Trong đó, tải của hệ thống là một nhiễu lớn nhất, chủ yếu của hệ.

1.2.22 Tải của hệ thống (Load)

Tải của hệ thống là phần năng lượng, vật chất tiêu thụ của hệ thống. Ví dụ, với phòng học máy lạnh thì tải là nguồn nóng phát ra từ người học. Với động cơ lai máy phát điện thì công suất điện tiêu thụ bởi các thiết bị điện là tải của hệ. Với diesel lai chân vịt thì công suất tiêu thụ trên trục chân vịt là tải. Đó chính là phần công suất cần thiết để làm một chân vịt quay được trong nước với tốc độ góc mong muốn.

1.2.23 Phân biệt biến số và thông số (variable vs. parameter)

Biến số (variable) là một đại lượng biến đổi được hoặc điều khiển được của một hệ thống, mà nó đang thay đổi theo thời gian. Như vậy, biến số là một đại lượng của quá trình, và là hàm của thời gian.

Thông số (parameter) là một đại lượng biến đổi được hoặc điều khiển được của một hệ thống, mà nó tạm thời được coi là không đổi, giá trị tương ứng của nó dùng để phân biệt những trạng thái riêng khác nhau của hệ thống đó. Như vậy thông số là một giá trị của một đại lượng ở một trạng thái. Nó có thể là một giá trị của một biến ở một thời điểm cụ thể.

Sự khác nhau giữa thông số và biến số là ở chỗ: ở một sự phân tích cho trước về một hệ thống, thì biến số được phép phụ thuộc vào thời gian, còn thông số thì không. Điều quan trọng là ở một phân tích cho trước, thông số không phụ thuộc vào thời gian, nó được giữ không đổi. Thông thường, giá trị cho trước là một thông số chứ không phải là biến số, vì bình thường nó được đặt ở một giá trị nào đó, rồi ta để mặc đó.

1.3 Các nguyên lý điều khiển cơ bản nhất

Trong điều khiển tự động cổ điển, có hai nguyên lý điều khiển cơ bản sau đây thường được ứng dụng trong thực tế, đó là điều khiển theo độ lệch và điều khiển theo bù trừ nhiễu.

1.3.1 Nguyên lý điều khiển theo độ lệch (feedback control)

Hệ thống điều khiển theo nguyên lý độ lệch được hoạt động như sau. Lấy ví dụ trên **HÌNH 1-3**. Biến được điều khiển (h) (mức nước trong két) thường xuyên được đo và chuyển tín hiệu tới bộ điều khiển. Tại đây, nó được so sánh với giá trị mong muốn (h_r) của biến được điều khiển (h) (mức nước), cho ra độ lệch $e(t) = h_r - h$. Bộ điều khiển sẽ căn cứ vào độ lệch này mà chế ra tín hiệu tác động điều khiển $u(t)$ để gửi tới cơ cấu thực hiện nhằm điều tiết mức cân bằng năng lượng / vật chất v.v. theo hướng duy trì biến được điều khiển về giá trị gần với giá trị cho trước. Giả sử mức nước trong két tăng lên cao hơn mức mong muốn (h_r), độ lệch $e(t) = h_r - h < 0$, khối chế biến tín hiệu sẽ gia công tín hiệu $u(t)$ làm đóng bớt van nước cấp lại. Do đó, mức nước trong két sẽ thấp xuống trở lại.

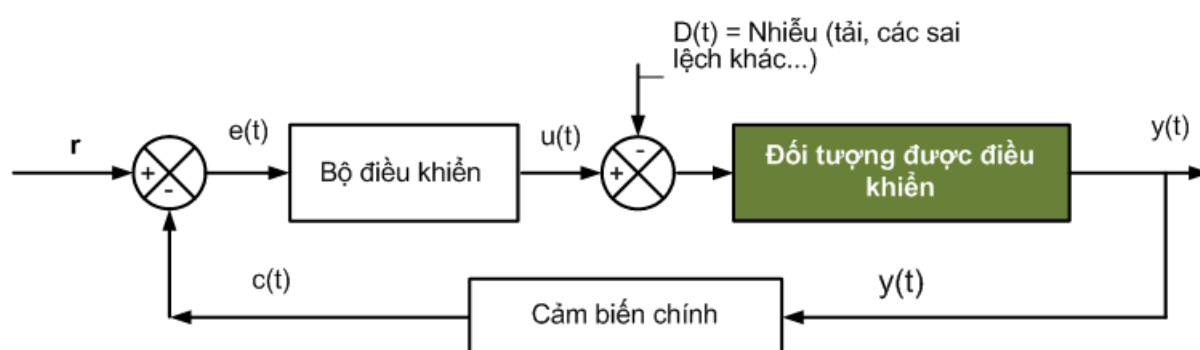
Như vậy, tổng quát, bộ điều khiển hoạt động theo nguyên lý độ lệch luôn đo giá trị thực của biến được điều khiển $y(t)$, rồi biến đổi giá trị này thành $c(t)$, rồi so sánh giá trị đó $c(t)$ với giá trị cho trước (r) để tìm ra độ lệch $e(t) = r - c(t)$. Khối chế biến tín hiệu điều khiển sẽ chế biến tín hiệu độ lệch $e(t)$ thành tín hiệu tác động $u(t)$ theo một quy luật nào đó, ví như tỷ lệ, $u(t) = K_p \times e(t)$, để tác động vào nguồn cấp / thoát năng lượng / vật chất cho hệ theo hướng làm cho hệ thống cân bằng năng lượng / vật chất trở lại, nhờ đó mà giá trị

thực của biến được điều khiển $y(t)$ có xu hướng phục hồi lại giá trị ban đầu, hoặc thay đổi được theo sự thay đổi của giá trị cho trước (r).

Nhận xét

Bộ điều khiển hoạt động theo tín hiệu độ lệch $e(t)$, vậy phải có $e(t)$ thì hệ mới hoạt động, mà muốn có độ lệch thì phải chờ cho có tác động thực của sự mất cân bằng năng lượng cấp / thoát của đối tượng được điều khiển, do vậy có tính trễ trong hoạt động điều khiển.

Do thường xuyên đo giá trị của biến được điều khiển cho hoạt động điều khiển, cho nên biến được điều khiển thường xuyên được giám sát và điều khiển khá kịp thời, cho nên không ra các sai lệch lớn giữa biến được điều khiển và giá trị mong muốn của nó, $e(t) = r - c(t)$. Vì vậy, bộ điều khiển này hoạt động khá tin cậy, nguyên lý cấu tạo đơn giản, đáp ứng khá tốt, và có thể dùng độc lập được.



Độ lệch $e(t) = r - c(t)$; Tác động điều khiển $u(t) = f[e(t)]$.

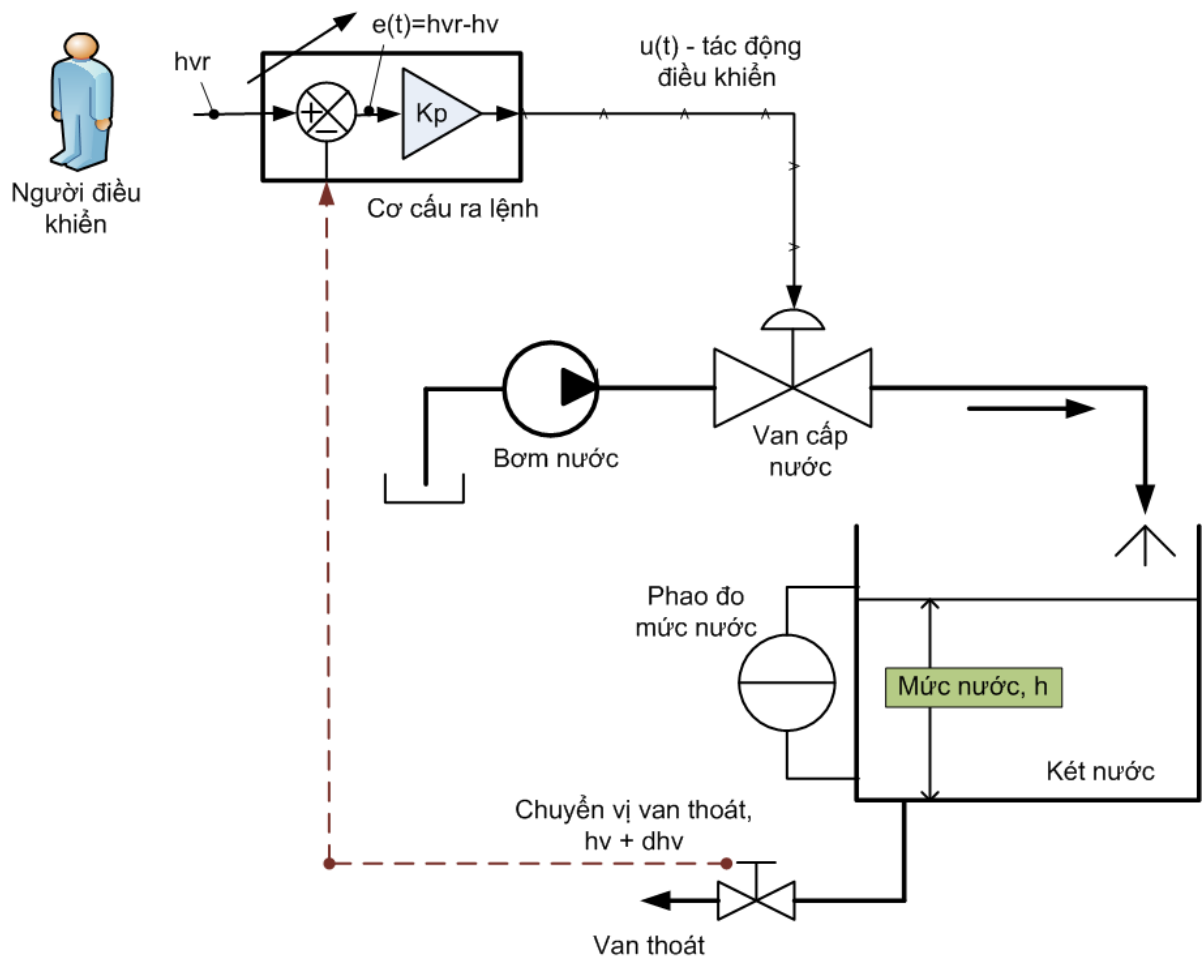
Hình 1-5: Sơ đồ khối minh họa một hệ điều khiển theo độ lệch (có phản hồi)

Sơ đồ khối của một hệ điều khiển theo độ lệch (có phản hồi) được thể hiện trên **HÌNH 1-5**. Trong đó, mạch cảm biến chính (đo và biến đổi chuẩn giá trị của biến được điều khiển) là mạch khép kín sơ đồ khối của hệ thống.

1.3.2 Nguyên lý điều khiển tiếp tới (bù trừ nhiễu - feedforward control)

Khác với nguyên lý điều khiển theo độ lệch, trong hệ điều khiển tiếp tới (bù trừ nhiễu) thì biến được điều khiển $y(t)$ không được đo và kiểm soát, nghĩa là không có phản hồi về giá trị của biến được điều khiển. Thay vào đó, hệ thống lại thường xuyên đo sự thay đổi của nhiễu $D(t)$, từ đó chế biến ra tín hiệu tác động điều khiển $u(t)$ làm thay đổi năng lượng / vật chất cấp trước khi biến được điều khiển kịp thay đổi giá trị thực của nó theo tác động của nhiễu. Do vậy mà giá trị thực của biến được điều khiển thường xuyên được duy trì

theo giá trị mà ta tưởng tượng nó đáng có. Đây là một dạng đặc biệt của điều khiển mạch hở.



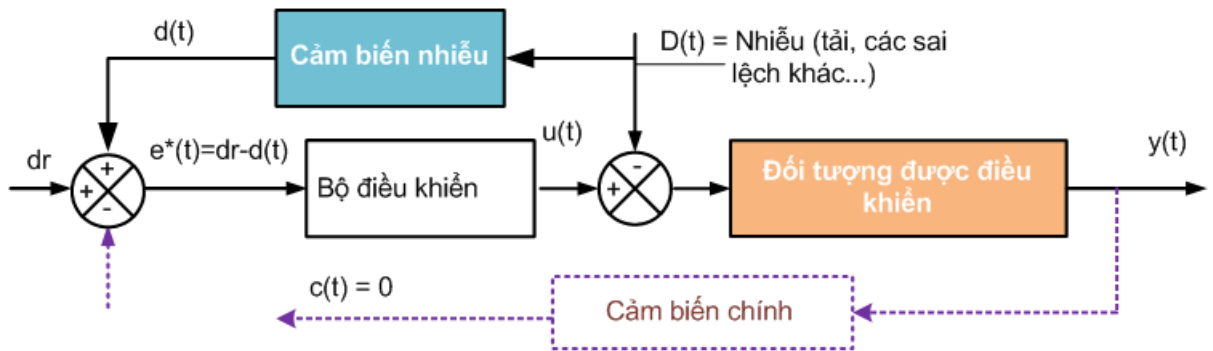
Hình 1-6: Minh họa về nguyên lý hoạt động của một hệ điều khiển bù trừ nhiễu

Ta xem xét ví dụ **HÌNH 1-6**. Biến được điều khiển là mực nước (h) thì không được đo. Bộ điều khiển đo thường xuyên một nhiễu là độ mở van thoát (h_v) chẳng hạn. Sau đó, độ mở van thoát (h_v) có thể được so sánh với giá trị đặt trước cho độ mở van thoát (h_{vr}), rồi cũng xuất ra độ lệch $e(t) = h_{vr} - h_v$ chỉ của độ mở van thoát, tức là của nhiễu. Từ đó ra quyết định điều khiển độ mở van cấp nước (h_c) sao cho mực nước (h) trong két không đổi.

Ở đây tiềm ẩn một nguy cơ. Giả sử van thoát tăng thêm độ mở tương đương với lượng tăng lưu lượng nước tiêu thụ là 10 l/s, thì mực nước trong két sẽ giảm xuống. Hệ điều khiển đưa ra quyết định điều khiển đón trước sự thay đổi mực nước (sẽ giảm) bằng cách tăng độ mở van cấp một lượng (dh_v) tương đương với 10 l/s. Như vậy, lượng nước trong két được cấp bù trước, cho nên mực nước (h) sẽ gần như không thay đổi. Vậy là việc điều khiển có tính đón đầu, rất nhanh, biến được điều khiển ít bị thay đổi (độ lệch nhỏ). Tuy nhiên do có sai số, cho nên giả sử lưu lượng nước cấp vào là 9,9 l/s (sai số 1%), thì giả như sau 3,600 s lượng thiếu hụt nước vào két sẽ là 3,600 (s) x 0.1 (l/s) = 360 lít. Nếu dung tích két là 360 lít thì như vậy sau một giờ két nước thành két rỗng!

Chính vì tính tích lũy sai số và không có cơ chế kiểm soát để duy trì giá trị biến được điều khiển nằm trong dải giới hạn an toàn, cho nên trong các hệ thống có nhiễu lớn thì ***bộ điều khiển hoạt động thuần túy theo bù trừ nhiễu không được hoạt động độc lập.***

Xem sơ đồ khối thể hiện nguyên lý hoạt động cơ bản của một hệ thống điều khiển kiểu bù trừ nhiễu trên **HÌNH 1-7**. Lưu ý rằng giá trị cho trước bây giờ là d_r , là của nhiễu, chứ không phải là của biến được điều khiển. Tác động điều khiển được gia công từ độ lệch của nhiễu $e^*(t)$.

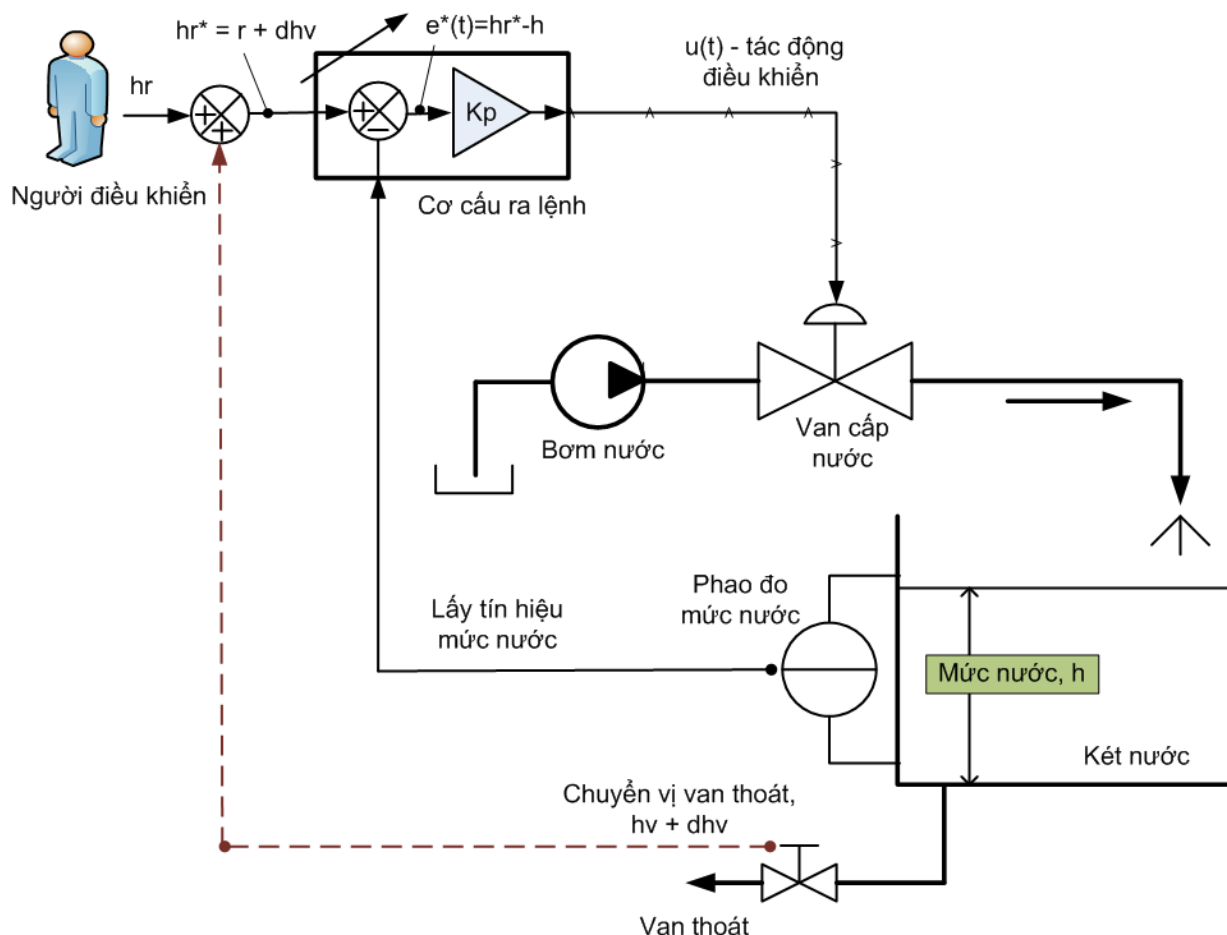


Độ lệch nhiễu $e^*(t) = d_r - d(t)$, $c(t) = 0$; Tác động điều khiển $u(t) = f[e^*(t)]$.

Hình 1-7: Sơ đồ khối của một hệ điều khiển hoạt động theo nguyên lý bù trừ nhiễu (feedforward control)

1.3.3 Bộ điều khiển nhiều xung (multi-element controller)

Để tích hợp được các ưu điểm của bộ điều khiển hoạt động theo nguyên lý bù trừ nhiễu như tính nhanh nhạy, tính điều khiển đón đầu và khả năng duy trì chính xác giá trị của biến được điều khiển khi tải của đối tượng được điều khiển thay đổi, người ta thường chỉ kết hợp hoạt động điều khiển bù trừ nhiễu vào với hoạt động điều khiển theo độ lệch, làm thành các bộ điều khiển nhiều xung (multi-element controller).



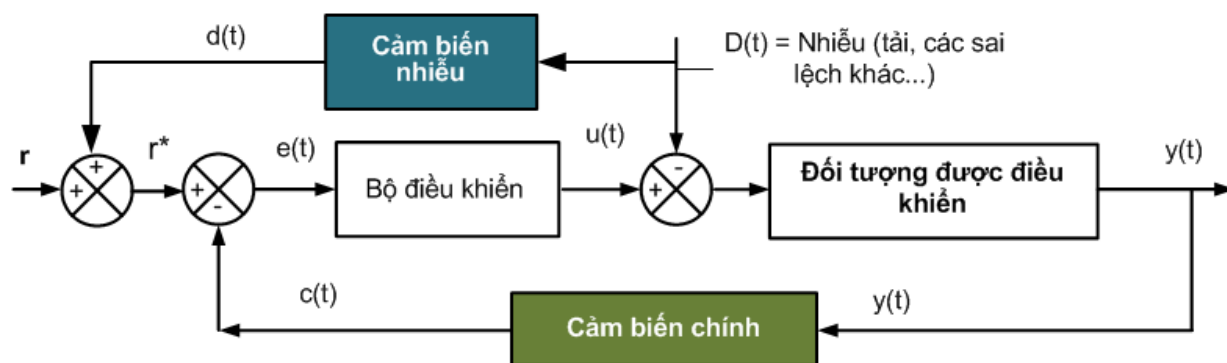
Hình 1-8: Hệ điều khiển mực nước hai xung, kết hợp độ lệch và bù trừ nhiễu

Ví dụ, xem **HÌNH 1-8**, nếu ta kết hợp độ lệch mực nước (xung chính) với một xung nhiễu là độ mở van thoát, ta có bộ điều khiển 2 xung. Nếu thêm một xung áp suất nước cấp nữa chẳng hạn, ta có bộ điều khiển 3 xung. Áp suất nước cấp thay đổi thì với cùng một độ mở van cấp, lưu lượng nước cấp cũng thay đổi theo. Mực nước sẽ bị ảnh hưởng. Vậy áp suất nước cấp là một xung nhiễu thứ hai.

Trong cách kết hợp như trên, biến được điều khiển được đo và được điều khiển chủ yếu bởi hoạt động điều khiển độ lệch. Các tín hiệu đo được từ nhiễu (độ mở van thoát, áp suất nước cấp) thường được đưa về một bộ cộng tín hiệu để bù trừ với giá trị đặt trước (r) của hoạt động điều khiển độ lệch, từ đó làm tăng cường hoạt động điều khiển của hoạt động theo độ lệch đủ bù tốt cho sự tác động của nhiễu đến biến được điều khiển.

Ví dụ, khi độ mở van thoát *tăng thêm* một lượng là (dhv), xung nhiễu (dhv) này sẽ cộng vào giá trị cho trước của mực nước (hr), thành ra $hr^* = hr + dhv$ cao lên, như vậy thì mực nước (h) đang bình thường bây giờ trở thành thấp nhiều hơn so với hr^* mới, độ lệch mới $[e^*(t) = hr^* - h]$ lớn lên nhiều so với độ lệch trước đó $[e(t) = hr - h]$. Do đó, bộ điều khiển theo độ lệch hoạt động tức thì, tác động điều khiển [ví dụ là tỷ lệ, $u(t) = K_p \times e^*(t)$] có cường độ lớn hơn, mực nước được bù trừ sớm hơn và nhanh hơn, đương nhiên là ổn định hơn.

Sơ đồ khối của một hệ điều khiển hai xung, kết hợp độ lệch và bù trừ nhiễu được minh họa trên **HÌNH 1-9**.



Độ lệch $e(t) = r + d(t) - c(t)$; Tác động điều khiển $u(t) = f[e(t)]$.

Hình 1-9: Sơ đồ khối thể hiện nguyên lý hoạt động của một hệ điều khiển 2 xung, kết hợp độ lệch và bù trừ nhiễu

1.4 Phân loại bộ điều khiển

Các bộ điều khiển trong các hệ cơ khí, công nghiệp v.v. có thể được phân loại bằng cách xét xem chúng có tự động hay không, theo vị trí lắp đặt các phần tử, theo chúng điều khiển cái gì, theo hàm toán mà chúng thực hiện, theo công chất được sử dụng v.v. Các cách phân loại này giúp các thành viên nhóm làm việc có thể liên lạc tốt với nhau, để hiểu về cùng một công việc chung.

Bộ điều khiển tự động có thể tự thực hiện một số các hoạt động điều khiển mà không cần sự tác động trực tiếp của con người.

Có thể tóm lược các cách phân loại trên như sau.

Theo mức tự động

- Tự động.
- Bán tự động.
- Bằng tay.

Theo vị trí đặt các phần tử

- Tại chỗ.

- Từ xa.
- Tập trung.
- Phân cụm.

Theo đại lượng được điều khiển

- Vị trí.
- Tốc độ.
- Quá trình.

Theo chức năng

- Mạch hở.
- Mạch kín.
- Liên hệ tới (bù trừ nhiều).
- Liên hệ ngược.
- Đa biến.
- Kế tiếp.
- Tương tự.
- Số hóa.

Theo hoạt động điều khiển được sử dụng

- Tỷ lệ (P)
- Vi phân (đạo hàm) (D)
- Tích phân (I)
- Kết hợp tỷ lệ, tích phân, vi phân (đạo hàm) (PI, PD, PID)

Theo công chất được sử dụng

- Khí nén.
- Thủy lực.
- Điện.
- Cơ.
- Điện tử.

1.5 Sơ đồ khối

Sơ đồ khối

Một hệ thống tự động điều khiển thường bao gồm nhiều phần tử kết nối với nhau. Để thể hiện các chức năng mà từng phần tử thực hiện trong hệ tự động người ta thường dùng một sơ đồ được gọi là *sơ đồ khối*.

Sơ đồ khối cũng chính là một sơ đồ dòng tín hiệu (signal flow diagram), là sự biểu diễn bằng các hình biểu tượng về tác về chức năng giữa các phần tử / chi tiết có trong hệ thống. Mỗi chức năng của một thành phần của hệ thống điều khiển được thể hiện bằng một khối có ký hiệu thông thường là một hình chữ nhật. Có thể có nhiều thành phần lại được gom lại thành một khối lớn. Ký hiệu bên trong các khối thường là hàm truyền dưới dạng ảnh Laplace. Đôi khi để thể hiện rõ hơn chức năng của một khối, người ta có thể ghi thêm vào nhiều chữ / ký tự khác. Mỗi tương quan về tín hiệu giữa các thành phần, cũng chính là giữa các khối thường được thể hiện bằng các mũi tên (đặc với một biến, hoặc rỗng với biến trạng thái) một chiều. Không dùng mũi tên hai chiều. ***Như vậy, sơ đồ khối là một dạng biểu diễn chức năng của các thành phần trong hệ điều khiển tự động và mối tương tác về tín hiệu giữa các thành phần này với nhau bằng một sơ đồ cơ bản gồm các khối và các mũi tên.***

Nhờ các sơ đồ khối chi tiết, ta có thể nhìn thấu chức năng của từng thành phần trong hệ, các mối tương tác, từ đó có thể hiểu được rõ nguyên lý hoạt động, nguyên lý điều chỉnh hệ thống.

Khác với biểu diễn toán học (mô hình toán học) của hệ, sơ đồ khối có ưu điểm nổi bật là thể hiện được rất thực dòng tín hiệu của các hệ thống thực. Mỗi khối chức năng là ký hiệu cho một phép toán áp dụng đối với tín hiệu vào của khối để tạo ra tín hiệu ra. Hàm truyền của từng phần tử thường được đặt trong một khối tương ứng có dạng hình chữ nhật, các khối này được nối với nhau bằng các mũi tên chỉ chiều lưu chuyển của tín hiệu.

Một sơ đồ khối chứa đựng các thông tin liên quan đến đáp ứng động lực học của hệ chứ không hề chứa đựng các thông tin liên quan đến cấu trúc vật lý của hệ. Thông thường có nhiều hệ thống vật lý khác nhau, chẳng liên quan gì với nhau lại có thể được biểu diễn bằng cùng một sơ đồ khối.

Cũng cần lưu ý rằng trong một sơ đồ khối thông thường nguồn năng lượng cấp cho hệ thống hoạt động lại không được thể hiện, và sơ đồ khối của một hệ thống nhất định lại có thể được biểu diễn bằng nhiều dạng khác nhau. Nghĩa là có nhiều sơ đồ khối khác nhau vẽ cho một hệ thống tùy thuộc vào quan điểm phân tích của người phân tích và lập sơ đồ khối.

Hình 1-10 cho thấy tín hiệu vào được thể hiện bằng mũi tên vào khối, tín hiệu ra bằng mũi tên ra khối. Như vậy mỗi mũi tên thể hiện một tín hiệu. Độ lớn của tín hiệu ra bằng tín hiệu vào nhân với hàm truyền trong khối.

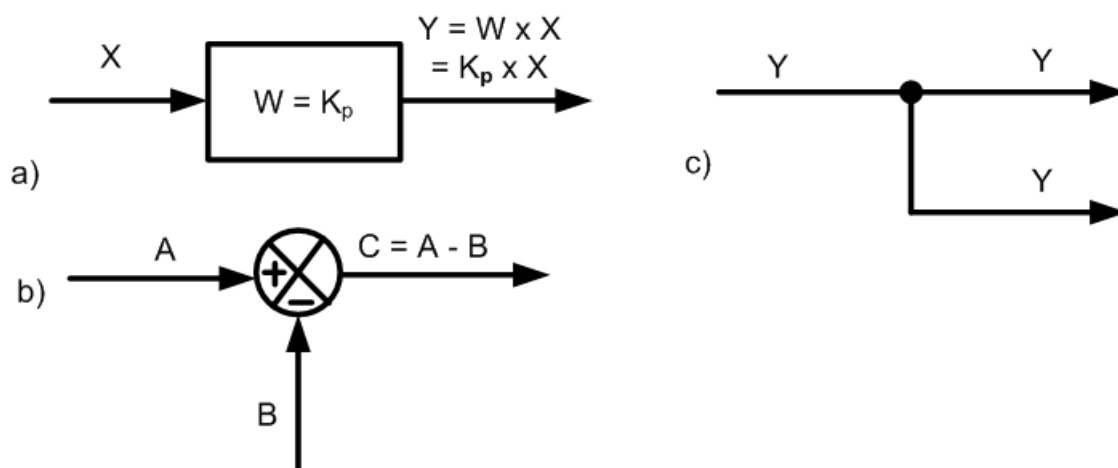
Các điểm đặc biệt trong sơ đồ khối

Trong các sơ đồ khối còn có hai điểm đặc biệt, điểm cộng tín hiệu và điểm rẽ nhánh.

Điểm cộng tín hiệu (điểm so sánh, Summing Point, Adding Point) được thể hiện bằng một vòng tròn có dấu chữ thập bên trong. Dấu cộng (+) hoặc trừ (-) cho mỗi mũi tên vào khối cho biết tín hiệu đó được cộng vào hoặc bớt đi khỏi khối. Có một điểm cực kỳ quan

trọng là các tín hiệu được cộng vào hoặc bớt đi khỏi khối phải có cùng kích thước, cùng bản chất vật lý và cùng đơn vị đo.

Điểm rẽ nhánh (Branch point) là một điểm mà từ đó tín hiệu từ một khối đi đồng thời tới nhiều khối khác hoặc tới các điểm cộng tín hiệu trong hệ thống. Các tín hiệu ra khỏi điểm rẽ nhánh luôn có cùng độ lớn với tín hiệu vào điểm rẽ nhánh. Tuy nhiên, trong thực tế để giữ được tính phân chia mà không làm giảm cường độ, tính chất của tín hiệu như trên, người ta phải thiết kế các mạch bù tín hiệu.



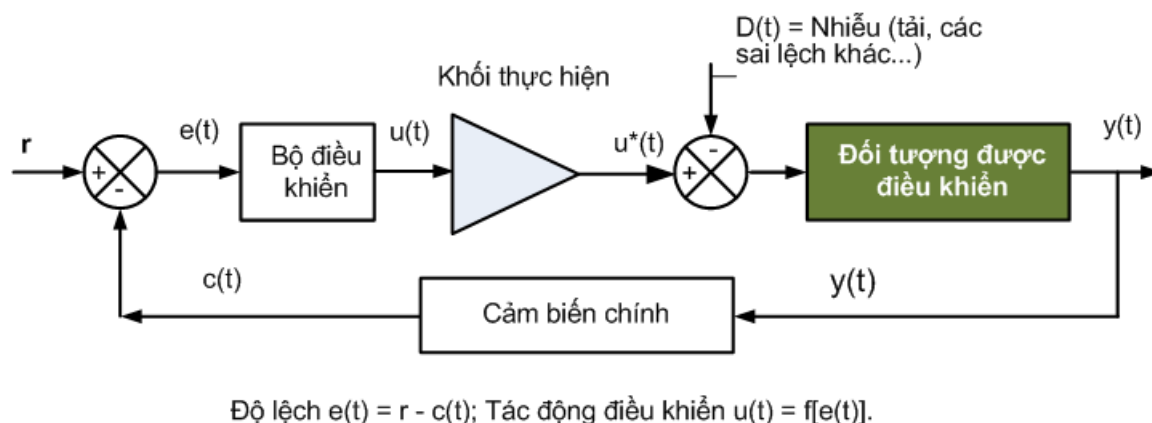
Hình 1-10: a- Một phần tử của sơ đồ khối ; b- Điểm cộng tín hiệu; c- Điểm rẽ nhánh.

Về cơ bản, hệ điều khiển phải có ít nhất các thành phần sau:

- Đối tượng được điều khiển
- Cảm biến biến được điều khiển
- Khối (điểm) so sánh
- Khối chế biến tín hiệu cơ bản (bộ điều khiển cơ bản)
- Khối tác động điều khiển

Trong phần lớn các hệ thống điều chỉnh cơ khí, có thể tìm ra một nhóm thiết bị vật lý như là van hoặc rơle nhiệt, mà ta có thể nhận dạng như là một trong 5 phần tử vật lý nói trên. Đôi khi, một chi tiết, thiết bị đơn lẻ lại đóng góp hoạt động vào hai hoặc nhiều thành phần của bộ điều khiển. Nhưng có khi vài ba chi tiết vật lý lại được kết hợp lại thành một trong năm thành phần được nhận dạng ở trên. Thiếu một trong năm thành phần nêu trên, hệ thống trở thành hệ mạch hở.

Sơ đồ khối đơn giản nhất của một hệ thống điều khiển tự động được minh họa trên [HÌNH 1-11](#).



Hình 1-11: Sơ đồ khối đơn giản của một hệ điều khiển tự động

Trong chương sau ta sẽ xem xét một số trường hợp cụ thể hơn với sơ đồ khối, giới thiệu một phương pháp xây dựng sơ đồ khối từ một hệ vật lý cụ thể, và cuối cùng là các kỹ thuật đơn giản hoá sơ đồ khối thu được.

1.6 Các yêu cầu cơ bản đối với hệ thống điều khiển.

Nói chung, hệ điều khiển tự động phải thỏa mãn các yêu cầu cơ bản sau:

- Thoả mãn các chỉ tiêu đặt ra
- Giá thành không quá cao
- Tương thích với các hệ thống khác mà nó phải làm việc chung
- Có thể sửa chữa được bởi người vận hành
- Đáp ứng môi trường

Về chức năng điều khiển cơ bản, hệ phải đáp ứng 3 yêu cầu cơ bản sau:

- Tính ổn định
- Độ lệch (sai số) động (deviation) cho phép
- Tốc độ đáp ứng (speed of response)

Ba yêu cầu này không độc lập với nhau. Làm giảm thời gian quá độ nói chung sẽ giảm tính ổn định và tăng nguy cơ dao động của hệ thống.

Giảm độ lệch cho phép sẽ làm tăng độ nhạy của hệ thống, và như vậy một sự sai lệch rất nhỏ bây giờ cũng có thể tạo ra phản ứng hiệu chỉnh rất lớn. Do vậy, độ ổn định của hệ thống lại bị giảm.

Kỹ sư khai thác phải có hiểu biết tốt về hệ thống, quyết định độ lệch cho phép, tính ổn định và đáp ứng của hệ thống là bao nhiêu.

1.7 Ví dụ và bài tập

Trong phần này ta sẽ cùng nhau xây dựng sơ đồ khối của một số hệ thống ví dụ, nhằm hiểu rõ chức năng của các hệ thống đó, và gán các thành phần trong hệ vào các khối chức năng cơ bản đã được định nghĩa ở phần trước.

1.7.1 Ví dụ HÌNH 1-4, hệ thống điều khiển nhiệt độ phòng học.

Dữ liệu:

- Gần đúng, ta cho quan hệ áp suất tuyệt đối hơi bão hòa công chất trong cảm biến p_{bha} phụ thuộc theo nhiệt độ phòng $T(C)$ như sau

1-2

$$p_{bha} \left(\frac{kgf}{cm^2} \right) = p_{bha@20C} + [dT(C) \times K_T \left(\frac{kgf}{cm^2 \cdot C} \right)]; \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Với

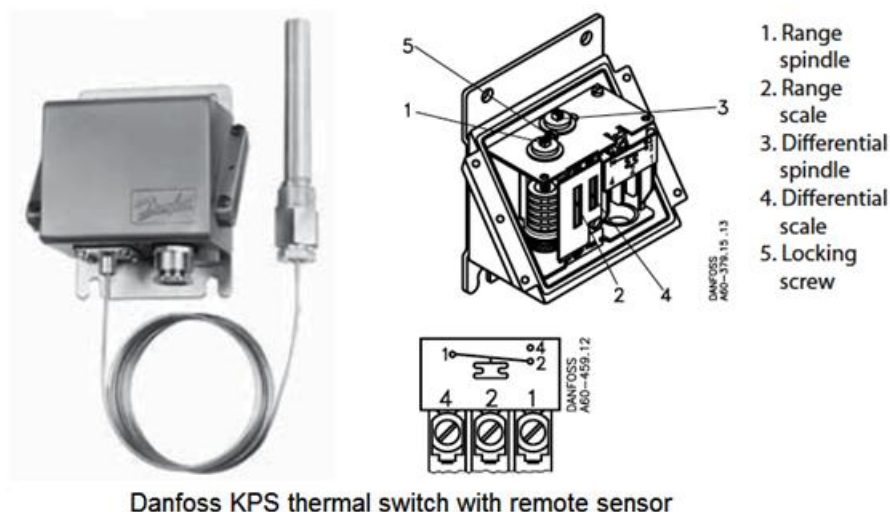
$$K_T = 0.1 \text{ kgf/cm}^2 \cdot C;$$

$$dT(C) = T(C) - 20(C); \quad p_{bha@20C} = 2 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right);$$

- Hệ số cứng lò xo đặt nhiệt độ cho trước, T_c là $K_{LX} = 1 \frac{kgf}{cm^2}$;
- Diện tích màng, $A_p = 1 (cm^2)$;
- Chiều dài ban đầu (tự do) của lò xo là 5 (cm);
- Độ nén ban đầu của lò xo là 1.2 (cm);



Hình 1-12: Thermostat trong động cơ



Hình 1-13: Rơ-le nhiệt với bầu cảm biến từ xa dùng khí của Danfoss

Lời giải

Đối tượng được điều khiển là phòng học. Nó bao gồm tường bao, trần nhà, bàn ghế, người học, người dạy, cửa sổ, cửa ra vào v.v. và các nhiễu loạn bên ngoài làm thay đổi nhiệt độ phòng không theo ý muốn của ta. Trong đó có rất nhiều đại lượng đặc trưng, nhưng ta chỉ đang quan tâm đặc biệt đến một đại lượng, đó là nhiệt độ không khí trong phòng (T).

Vậy với quyết tâm điều khiển nhiệt độ không khí trong phòng học (T), thì nhiệt độ không khí trong phòng là biến được điều khiển. Nó là một đại lượng đặc trưng của đối tượng được điều khiển, phòng học.

Để điều khiển nhiệt độ không khí trong phòng, ta bắt đầu bằng việc đo nhiệt độ không khí trong phòng (T), rồi sẽ xây dựng hệ điều khiển theo nguyên lý độ lệch. Ta có thể cảm biến nhiệt độ trong phòng bằng một bầu kim loại kín, có ống kim loại nhỏ nối thông với một hộp có màng đo áp, được chống đỡ bằng một lò xo. Trong cảm biến này, người ta nạp đầy một loại công chất có tính giãn nở cao theo nhiệt độ.

Các số liệu sau đây chỉ có tính chất minh họa để có khái niệm cơ bản về hoạt động của hệ thống mà ta xem xét.

Giả sử quan hệ áp suất tuyệt đối hơi bão hòa công chất (p_{bha}) trong cảm biến phụ thuộc nhiệt độ (T) theo

Theo biểu thức 1-2 ta có

$$p_{bha @ 22C} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = 2 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) + \left[\{22 - 20\}(C) \times 0.1 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2 \cdot C} \right) \right] = 2.2 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right);$$

Áp suất tương đối trong cảm biến ở nhiệt độ T (C) còn là

1-3

$$p_{bg} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = p_{bha} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) - p_a \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$p_{bg@22C} = 2.2 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) - 1.0 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) = 1.2 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right);$$

Nếu bỏ qua tổn thất nhiệt trên đường truyền từ bầu cảm biến đến màng thì Pbg đại diện cho nhiệt độ thực (T) của không khí trong phòng.

Áp suất Pbg tác dụng trên màng bộ cảm biến. Diện tích màng $A(\text{cm}^2) = 1 (\text{cm}^2)$. Vậy có lực $F_p (\text{kgf})$ đẩy xuống bằng

1-4

$$F_p (\text{kgf}) = A(\text{cm}^2) \times P_{bg} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$$

$$F_{p@22C} (\text{kgf}) = 1(\text{cm}^2) \times 1.2 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) = 1.2 (\text{kgf})$$

Như vậy nhiệt độ không khí trong phòng được đại diện bởi $F_p (\text{kgf})$.

Lò xo phía dưới màng là chi tiết tạo ra giá trị tham chiếu về nhiệt độ trong phòng (T_c). Ở trạng thái cân bằng, lực đẩy lên của lò xo F_{LX} sẽ phải cân bằng với lực F_p đẩy từ trên màng xuống. Khi đó độ lệch là “không”.

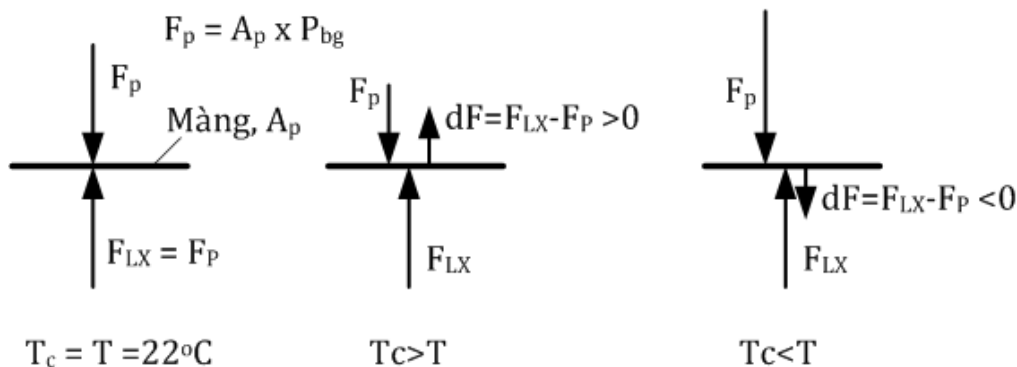
$$F_p (\text{kgf})@ 22C = F_{LX} (\text{kgf});$$

Nếu $K_{LX} = 1 (\text{kgf}/\text{cm})$, chiều dài ban đầu của lò xo là 5 (cm), vậy độ nén ban đầu của lò xo để có được trạng thái cân bằng lực giữa lực đại diện giá trị nhiệt độ cho trước (T_c) và lực đại diện cho nhiệt độ thực của không khí có trong phòng (T) là

$$dL_0(\text{cm}) = \frac{F_{LX}}{K_{LX}} = \frac{1.2(\text{kgf})}{1 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}}\right)} = 1.2 (\text{cm})$$

Vậy độ nén ban đầu của lò xo $dL_0 = 1.2 (\text{cm})$, đại diện cho nhiệt độ mong muốn trong phòng (T_c). Nếu ta tăng độ nén ban đầu này thì F_{LX} tăng lên, do đó nhiệt độ đặt trước trong phòng (T_c) tăng lên, theo biểu thức sau

$$T_c (^\circ\text{C}) \equiv F_{LX} (\text{kgf}) = K_{LX} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}}\right) \times dL_0 (\text{cm})$$



Bây giờ, nếu nhiệt độ trong phòng xuống 21C, áp suất trên màng Pbg sẽ là

$$p_{bha@21C} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) = 2 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) + \left[(21 - 22)(C) \times 0.1 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2 \cdot C}\right)\right] = 2.1 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right);$$

$$p_{bg@21C} = 2.1 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) - 1.0 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = 1.1 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right);$$

Và lực trên màng F_p sẽ là:

$$F_{p@21C}(\text{kgf}) = A(\text{cm}^2) \times P_b \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = 1(\text{cm}^2) \times 1.1 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = 1.1 (\text{kgf})$$

Bỏ qua ảnh hưởng của chuyển vị của màng đến sự thay đổi áp suất trên màng p_{bg} thì chuyển vị của màng xuống dưới (dz) sẽ là

1-5

$$dz_{@T}(cm) = \frac{\{F_{LX}(\text{kgf}) - F_p(\text{kgf})\}}{K_{LX} \left(\frac{\text{kgf}}{cm} \right)};$$

$$dz_{@21C}(cm) = \frac{\{1.2(\text{kgf}) - 1.1(\text{kgf})\}}{1.0 \left(\frac{\text{kgf}}{cm} \right)} = 0.1(\text{cm});$$

Nếu chuyển vị từ vị trí cân bằng lên trên 0.05(cm) là đủ để ngắt tiếp điểm, thì với chuyển vị $dz@21C=0.1(\text{cm})$, tiếp điểm đã được ngắt dứt khoát. Máy nén dừng.

Sau khi máy nén dừng, nhiệt độ trong phòng sẽ tăng lên do nhiệt bên ngoài truyền vào, do nhiệt từ người học phát ra v.v. Nếu nhiệt độ trong phòng lên cao hơn 23C, cảm biến sẽ cho áp suất trên màng cao hơn.

$$p_{bha@23C} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = 2 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) + [3(C) \times 0.1 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2 \cdot C} \right)] = 2.3 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right);$$

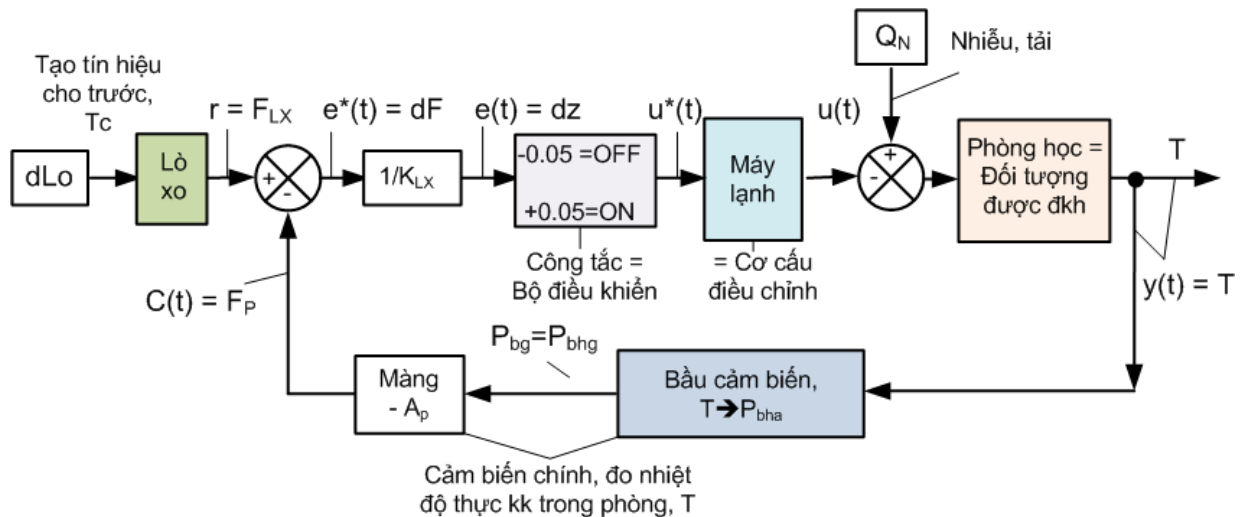
$$p_{bg@23C} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = p_{bha@23C} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) - p_a \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = 2.3 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) - 1.0 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = 1.3 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right);$$

Chuyển vị màng (xuống dưới) sẽ là

$$dz_{@23C}(cm) = \frac{\{1.2(\text{kgf}) - 1.3(\text{kgf})\}}{1.0 \left(\frac{\text{kgf}}{cm} \right)} = -0.1(\text{cm});$$

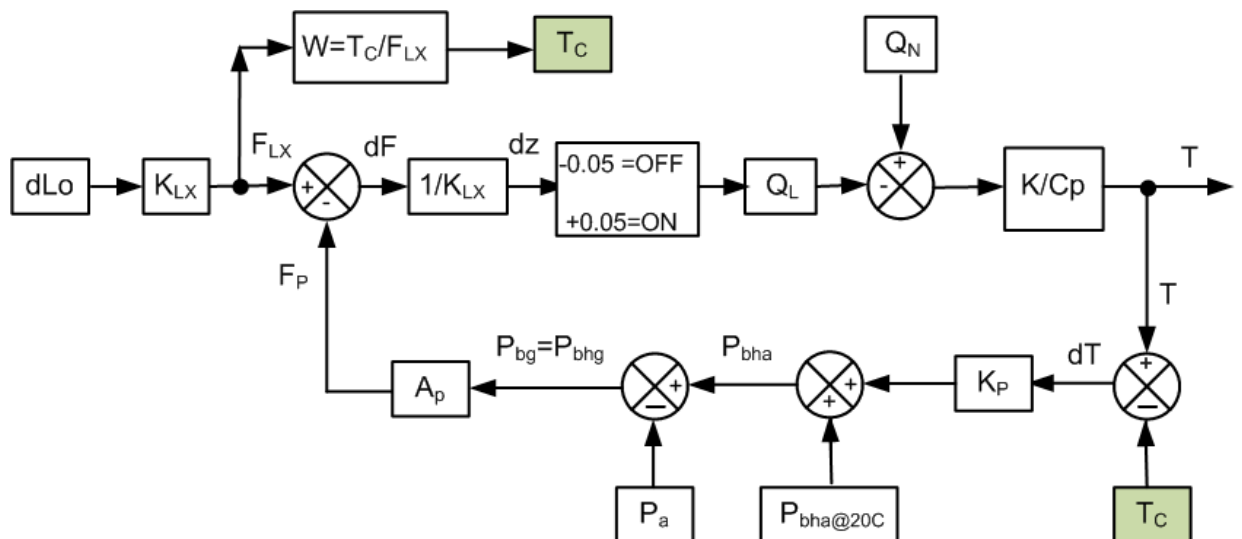
Tương tự, nếu chuyển vị xuống dưới cần thiết là 0.05 cm đã đủ để đóng kín tiếp điểm, thì với chuyển vị 0.1 tiếp điểm sẽ được đóng hoàn hảo. Máy nén chạy lại. Nhiệt độ trong phòng sẽ giảm xuống. Nếu T xuống 21C, máy nén lại ngắt. Như vậy hệ thống này hoạt động theo nguyên lý đóng – ngắt.

Mô hình toán của phòng học tính theo phương thức điều khiển nhiệt độ có thể xác định tối giản, gần đúng với hàm truyền $W_p = K/C_p$, với C_p là nhiệt dung riêng không khí. Còn Q_L là nhiệt lượng lạnh đưa vào phòng từ máy làm lạnh không khí. Q_N là tải nhiệt của phòng, là nhiệt lượng nóng, do người học trong phòng thải ra.



Hình 1-14: Sơ đồ khối thể hiện chức năng của các phần tử trong hệ điều khiển nhiệt độ phòng học.

HÌNH 1-15 là sơ đồ khối thể hiện chức năng của các phần tử chủ yếu trong hệ điều khiển tự động nhiệt độ không khí trong phòng học. **HÌNH 1-15** là sơ đồ khối thể hiện rõ hơn quá trình biến đổi, gia công tín hiệu trong hệ điều khiển này.



Hình 1-15: Sơ đồ khối thể hiện nguyên lý hoạt động của hệ thống điều khiển phòng học.

1.7.2 Bài tập:

Bài 1:

Nghiên cứu quan hệ biến đổi từ nhiệt độ không khí trong phòng học (T) thành lực trên màng cảm biến ở **HÌNH 1-15** và biểu thức 1-2, hãy thiết lập sơ đồ khối khai triển của

khối có hàm truyền $W = T_c/F_{LX}$ trên hình này sao cho thể hiện rõ được quá trình chuyển đổi từ lực lò xo thành nhiệt độ đặt trước (T_c) cho không khí trong phòng học.

Bài 2:

Hãy dựa trên **HÌNH 1-15** và dạng tuyến tính nhất của biểu thức **1-2** được thể hiện trong biểu thức **1-6** dưới đây,

1-6

$$p_{bha} \left(\frac{kgf}{cm^2} \right) = T(C) \times K_T \left(\frac{kgf}{cm^2 \cdot C} \right), \left(\frac{kgf}{cm^2} \right); \text{ với } K_T = 0.1 \left(\frac{kgf}{cm^2 \cdot C} \right)$$

Hãy xây dựng lại sơ đồ khối trên **HÌNH 1-15** sao cho thể hiện được quan hệ biến đổi $T \rightarrow p_{bha}$ và quan hệ biến đổi $F_{LX} \rightarrow T_c$ dựa trên biểu thức **1-6**.

Bài 3:

Sau khi hoàn tất bài 1, hãy xây dựng sơ đồ khối trong MATLAB SIMULINK và điền các dữ liệu để cho ra kết quả. Đưa ra nhận xét về kết quả có được.

Bài 4:

Sau khi hoàn tất bài 2, hãy xây dựng sơ đồ khối trong MATLAB SIMULINK và điền các dữ liệu để cho ra kết quả. Đưa ra nhận xét về kết quả có được.

=====

Tóm tắt

Trong chương này chúng ta đã tìm hiểu các khái niệm cơ bản nhất về các phần tử trong hệ thống điều khiển tự động, các định nghĩa của các thuật ngữ cơ bản dùng trong hệ thống. Sơ đồ khối là một hình thức biểu diễn và phân tích hoạt động của hệ thống.

Ta cũng đã xem xét khái niệm mạch điều khiển kín, mạch hở, và cùng với nó là các nguyên lý điều khiển cơ bản nhất: độ lệch, bù trừ nhiễu, kết hợp nhiễu xung.

Các hệ thống điều khiển tự động cũng đã được phân loại. Một hệ thống điều khiển đơn giản đã được phân tích và xây dựng sơ đồ khối nhằm hiểu rõ chức năng, hoạt động của mỗi phần tử và của hệ, mối tương quan giữa các phần tử, các bước phân tích và xây dựng ra một sơ đồ khối mô tả tương ứng một hệ thống thật.

=====

Câu hỏi ôn tập

- 1- Thế nào là đối tượng được điều khiển, biến được điều khiển, biến (giá trị) cho trước. Mối liên hệ giữa ba khái niệm này.
- 2- Phân biệt biến tác động, tín hiệu tác động trong hệ điều khiển.
- 3- Phần tử điều khiển cuối bao gồm những phần tử nào và chức năng của nó trong hệ điều khiển.
- 4- Thế nào là hệ điều khiển mạch hở, mạch kín, ứng dụng và ưu, nhược điểm của mỗi loại.
- 5- Hãy diễn giải các nguyên lý điều khiển cơ bản: theo độ lệch (mạch kín, phản hồi), bù trừ nhiễu (mạch hở), nhiễu xung. Hoạt động nào thường được dùng độc lập? Hoạt động nào được dùng hạn chế? Ưu, nhược điểm của từng hoạt động điều khiển này.
- 6- Trong bộ điều khiển nhiễu xung, xung biến được điều khiển được dùng thế nào? Các xung nhiễu thường được dùng làm gì nhằm nâng cao hiệu quả điều khiển.
- 7- Các bộ điều khiển được phân loại như thế nào?
- 8- Thế nào là sơ đồ khối của hệ thống điều khiển tự động, các điểm đặc biệt trong sơ đồ khối? Hãy lấy một ví dụ minh họa hệ điều khiển đơn giản và sơ đồ khối chức năng của hệ.

=====

Chương 2:

2 Biến đổi Laplace – Hàm truyền – Sơ đồ khối – Mô hình toán.

2.1 Phép biến đổi Laplace

2.1.1 Phép biến đổi Laplace

a. Biến phức

Một số phức bao gồm phần thực và phần ảo, cả hai phần này đều là hằng số. nếu phần thực và / hoặc phần ảo là biến theo thời gian thì số phức đó được gọi là biến phức. trong phép biến đổi Laplace, ta dùng ký hiệu “s” như là một biến phức; nghĩa là:

$$s = \sigma + j\omega$$

trong đó σ là phần thực còn ω là phần ảo.

b. Hàm phức

Một hàm phức, là hàm của biến phức s, có một phần thực và một phần ảo

$$F(s) = F_x + jF_y$$

trong đó:

- F_x và F_y là các đại lượng thực.
- Biên độ của $F(s)$ là $\sqrt{F_x^2 + F_y^2}$.
- Góc θ của $F(s)$ là $\theta = \tan^{-1}(F_y/F_x)$.

Góc này được đo ngược chiều kim đồng hồ từ trục thực dương.

c. Phép biến đổi Laplace

Giả sử ta có các định nghĩa sau:

$f(t)$ = một hàm theo thời gian sao cho $f(t) = 0$ với $t < 0$;

s = biến phức;

L = ký hiệu toán tử, cho biết rằng đại lượng đứng sau nó sẽ được biến đổi bởi tích phân Laplace $\int_0^{\infty} e^{-st} dt$;

$F(s)$ = Biến đổi (hoặc “ảnh”) Laplace của $f(t)$.

Khi đó, phép biến đổi Laplace của $f(t)$ được xác định bằng:

2-1

$$L[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dt[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

Quá trình biến đổi ngược để tìm hàm theo thời gian $f(t)$ từ ảnh Laplace $F(s)$ được gọi là *biến đổi Laplace ngược*. Ký hiệu toán học của phép biến đổi Laplace ngược là L^{-1} . Vậy,

2-2

$$L^{-1}[F(s)] = f(t)$$

2.1.2 Một số hàm cơ bản và ảnh Laplace của chúng

Hàm số mũ (exponential function)

Hàm số mũ được biểu diễn như sau:

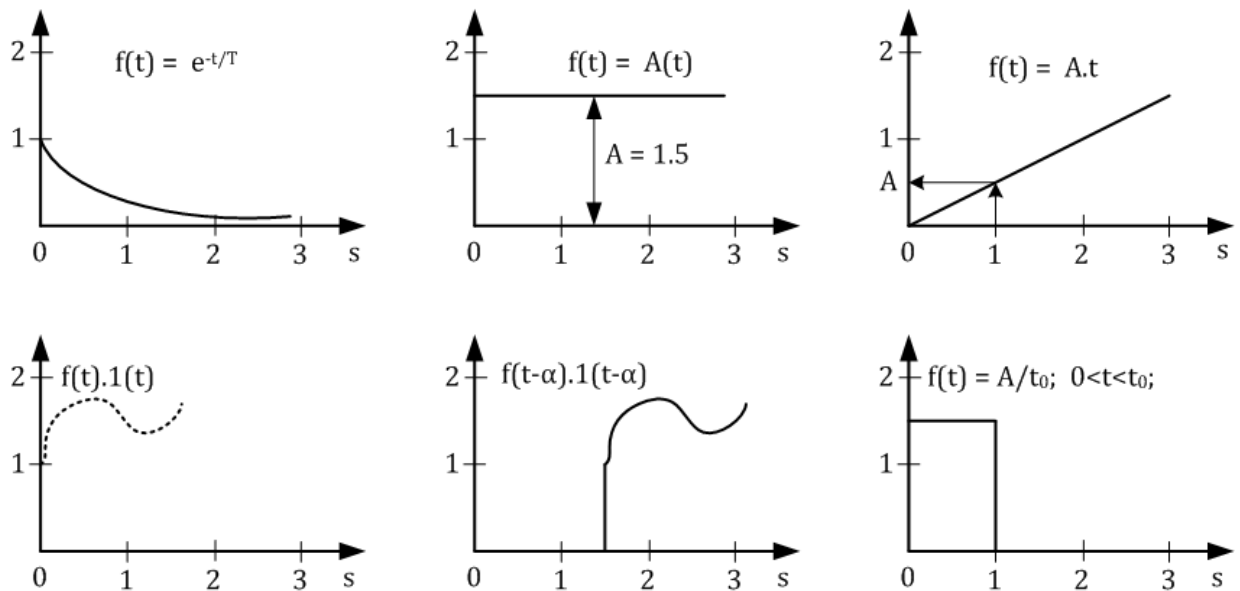
$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{với } t < 0 \\ Ae^{-\alpha t} & \text{với } t \geq 0 \end{cases}$$

trong đó α là hằng số.

Ảnh Laplace của hàm này có thể tính như sau

2-3

$$L[Ae^{-\alpha t}] = \int_0^{\infty} Ae^{-\alpha t} e^{-st} dt = A \int_0^{\infty} e^{-(\alpha+s)t} dt = \frac{A}{s + \alpha} ;$$



Hình 2-1: Hình dạng các hàm đầu vào cơ bản

Hàm bước (step function)

Hàm bước được biểu diễn như sau:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{với } t < 0 \\ A & \text{với } t \geq 0 \end{cases}$$

trong đó A là một hằng số. Ta có thể thấy đây là trường hợp đặc biệt của hàm Ae^{-at} với $a=0$. Hàm bước không xác định khi $t=0$. Ảnh Laplace của nó tính như sau:

2-4

$$L[A] = \int_0^{\infty} Ae^{-st} dt = \frac{A}{s} ;$$

Trường hợp riêng khi $A=1$ ta gọi hàm bước đó là hàm bước đơn vị, có dạng sau:

$$f(t) = 0 \text{ với } t < 0;$$

$$f(t) = 1 \text{ với } t > 0;$$

Ảnh Laplace của nó có dạng:

2-5

$$L[1(t)] = \int_0^{\infty} (1 \times e^{-st} dt) = \frac{1}{s} ;$$

Hàm dốc (Ramp Function)

Hàm dốc có dạng sau:

$$f(t) = 0 \quad \text{với } t < 0$$

$$A.t \quad \text{với } t \geq 0$$

Trong đó $A = \text{const}$. Ảnh Laplace của nó được xác định như sau:

2-6

$$L[At] = F(s) = \int_0^{\infty} Ate^{-st} dt = At \frac{e^{-st}}{-s} \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} \frac{Ae^{-st}}{-s} dt = \frac{A}{s} \int_0^{\infty} e^{-st} dt = \frac{A}{s^2}$$

Hàm Sin (Sinunoidal Function)

Hàm sin có dạng

$$f(t) = 0 \quad \text{với } t < 0$$

$$A \sin \omega t \quad \text{với } t \geq 0$$

Bằng cách viết lại hàm Sin dưới dạng hàm mũ tương đương:

2-7

$$\sin \omega t = \frac{1}{2j} (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t})$$

Ta sẽ tìm ảnh Laplace như sau

2-8

$$L[A \sin \omega t] = \frac{A}{2j} \int_0^{\infty} (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}) e^{-st} dt = \frac{A}{2j} \frac{1}{s - j\omega} - \frac{A}{2j} \frac{1}{s + j\omega} = \frac{A\omega}{s^2 - \omega^2}$$

Tương tự, ta có

2-9

$$L[A \cos \omega t] = \frac{A\omega}{s^2 + \omega^2}$$

Hàm trễ

Ta sẽ tìm ảnh Laplace của hàm trễ

2-10

$$f(t - \alpha) \cdot 1(t - \alpha)$$

trong đó $\alpha \geq 0$. Hàm này bằng 0 khi $t < \alpha$. Xem **HÌNH 2-1**.

Theo định nghĩa, phép biến đổi Laplace của $f(t - \alpha) \cdot 1(t - \alpha)$ sẽ như sau

2-11

$$L[f(t - \alpha) \cdot 1(t - \alpha)] = \int_0^{\infty} f(t - \alpha) \cdot 1(t - \alpha) e^{-st} dt$$

Bằng cách thế biến độc lập từ t sang τ , trong đó $\tau = t - \alpha$, ta có

$$\int_0^{\infty} f(t - \alpha) \cdot 1(t - \alpha) e^{-st} dt = \int_{-\alpha}^{\infty} f(\tau) \cdot 1(\tau) e^{-s(\tau+\alpha)} d\tau$$

Lưu ý rằng, trong tài liệu này ta luôn cho $f(\tau) \cdot 1(\tau) = 0 \quad \tau < 0$, do vậy ta có thể đổi cận dưới của tích phân từ $-\alpha$ về 0. Do vậy ta có,

$$\begin{aligned} \int_{-\alpha}^{\infty} f(\tau) \cdot 1(\tau) e^{-s(\tau+\alpha)} d\tau &= \int_0^{\infty} f(\tau) \cdot 1(\tau) e^{-s(\tau+\alpha)} d\tau = \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-st} \cdot 1(\tau) e^{-\alpha\tau} d\tau \\ &= e^{-\alpha s} \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-st} d\tau = e^{-\alpha s} F(s) \end{aligned}$$

Trong đó

$$F(s) = L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

Do vậy

2-12

$$L[f(t - \alpha) \cdot 1(t - \alpha)] = e^{-\alpha s} F(s), \quad \alpha \geq 0$$

Nghĩa là, ảnh Laplace của hàm $f(t)1(t)$ khi bị đẩy trễ đi một lượng là $\alpha \geq 0$ sẽ tìm được bằng cách nhân ảnh Laplace của hàm $f(t)$ là $F(s)$ với $e^{-\alpha s}$.

Hàm xung răng lược (Pulse function).

Hàm xung răng lược được mô tả như sau:

2-13

$$f(t) = 0 \text{ khi } t < 0, t_0 < t; \quad f(t) = \frac{A}{t_0} \text{ khi } 0 < t < t_0;$$

Trong đó A, t_0 là hằng số.

Có thể coi hàm này là cộng gộp của một hàm bước $\frac{A}{t_0} 1(t)$ bắt đầu khi $t \geq 0$ với một hàm bước $-\frac{A}{t_0} 1(t)$ bắt đầu khi $t \geq t_0$. Do vậy, $f(t) = \frac{A}{t_0} \cdot 1(t) - \frac{A}{t_0} \cdot 1(t - t_0)$.

Ảnh Laplace của nó sẽ tìm được như sau:

2-14

$$L[f(t)] = L[1(t)] - L\left[\frac{A}{t_0} \cdot 1(t - t_0)\right] = \frac{A}{t_0 s} - \frac{A}{t_0 s} e^{-st_0} = \frac{A}{t_0 s} (1 - e^{-st_0})$$

2.1.3 Các định lý cơ bản

2.1.3.1 Định lý Vi phân thực

Định lý vi phân thực được thể hiện như sau. Ảnh Laplace của đạo hàm của hàm $f(t)$ có dạng

2-15

$$L\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = sF(s) - f(0)$$

và có thể được chứng minh như sau.

Lấy tích phân Laplace của hàm $f(t)$ ta có

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = \frac{e^{-st}}{-s} \int_0^{\infty} - \int_0^{\infty} \left[\frac{df(t)}{dt}\right] \frac{e^{-st}}{-s} dt$$

Do vậy,

$$F(s) = \frac{f(0)}{s} + \frac{1}{s} L\left[\frac{df(t)}{dt}\right]$$

Cho nên đương nhiên

$$L\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = sF(s) - f(0)$$

Tương tự, với đạo hàm bậc hai, ta có

2-16

$$L\left[\frac{d^2 f(t)}{dt^2}\right] = s^2 F(s) - sf(0) - f'(0)$$

và đạo hàm bậc n

2-17

$$L\left[\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right] = s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - s^{n-2} \dot{f}(0) - \dots - s \overset{n-2}{\ddot{f}}(0) - \overset{n-1}{\tilde{f}}(0)$$

Lưu ý rằng theo định nghĩa phép biến đổi Laplace thuận thì mọi điều kiện đầu bằng không, cho nên ảnh Laplace của đạo hàm bậc n của $f(t)$ sẽ là $s^n F(s)$.

2-18

$$L\left[\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right] = s^n F(s)$$

Định lý tích phân thực.

Nếu $f(t)$ có thể biểu diễn theo hàm số mũ của e thì $\int f(t) dt$ có ảnh Laplace và được cho dưới dạng

2-19

$$L \left[\int f(t) dt \right] = \frac{F(s)}{s} + \frac{f^{-1}(0)}{s}$$

trong đó:

- $F(s)$ là ảnh Laplace của $f(t)$
- $f^{-1}(0) = \int f(t) dt_{@t=0}$, được lượng giá khi $t=0$.

Định lý này được chứng minh như sau:

$$\begin{aligned} L \left[\int f(t) dt \right] &= \int_0^\infty \left[\int f(t) dt \right] e^{-st} dt = \left[\int f(t) dt \right] \frac{e^{-st}}{-s} \Big|_0^\infty - \int_0^\infty f(t) \frac{e^{-st}}{-s} dt \\ &= \frac{1}{s} \int f(t) dt \Big|_{t=0} + \frac{1}{s} \int_0^\infty f(t) e^{-st} dt = \frac{f^{-1}(0)}{s} + \frac{F(s)}{s} \end{aligned}$$

Nếu các điều kiện đầu bằng không, ta có

2-20

$$L \left[\int f(t) dt \right] = \frac{F(s)}{s}$$

Định lí giá trị cuối.

Định lí giá trị cuối cho biết mối liên hệ giữa giá trị của hàm $f(t)$ ở trạng thái ổn định (cân bằng) với giá trị của $sF(s)$ tại lân cận $s=0$. Định lí này được áp dụng nếu tồn tại $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$, nghĩa là $f(t)$ nhận giá trị hữu hạn nào đó khi $t \rightarrow \infty$.

Định lí được phát biểu như sau:

Nếu $f(t)$ và $df(t)/dt$ có ảnh Laplace, nếu $F(s)$ là ảnh Laplace của $f(t)$ và nếu tồn tại $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$, thì

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$$

Để chứng minh định lí này, trong phương trình của ảnh Laplace của $df(t)/dt$ ta cho s tiến tới 0, hay

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^\infty \left[\frac{df(t)}{dt} \right] e^{-st} dt = \lim_{s \rightarrow 0} [sF(s) - f(0)]$$

Do $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-st} = 1$, cho nên ta có

$$\int_0^\infty \left[\frac{df(t)}{dt} \right] dt = f(t) \Big|_0^\infty = f(\infty) - f(0) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s) - f(0)$$

Từ đó ta có

2-21

$$f(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$$

Dựa vào định lí này ta có thể xác định được giá trị cân bằng ổn định của $f(t)$ từ giá trị của $sF(s)$ tại lân cận $s=0$.

Nhận xét:

Không nhất thiết phải luôn tìm ảnh Laplace như trên. Trong tự động, các hàm số mà ta thường khảo sát thường có một số dạng cơ bản, do vậy người ta đã lập ra được bảng nguyên hàm và ảnh Laplace của nó để ta tiện tra cứu. Ngoài ra các bạn có thể dùng các chương trình như MATLAB, MAPLE để tìm ảnh Laplace của các hàm khá dễ dàng.

2.1.4 Các tính chất cơ bản của phép biến đổi Laplace thuận (Bảng 2-1)

Bảng 2-1: Các tính chất của biến đổi Laplace

1	$L[Af(t)] = AF(s)$
2	$L[f_1(t) \pm f_2(t)] = F_1(s) \pm F_2(s)$
3	$L\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = sF(s) - f(0)$
4	$L\left[\frac{d^2f(t)}{dt^2}\right] = s^2F(s) - sf(0) - f'(0)$
5	$L\left[\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right] = s^n F(s) - \sum_{k=1}^n s^{n-k} \tilde{f}^{(k-1)}(0 \pm); \quad \tilde{f}^{(k-1)}(0 \pm) = \frac{d^{k-1}}{dt^{k-1}} f(t)$
6	$L\left[\int f(t) dt\right] = \frac{F(s)}{s} + \frac{[\int f(t) dt]_{t=0 \pm}}{s}$
7	$L\left[\int_0^t f(t) dt\right] = \frac{F(s)}{s}$

2.2 - Hàm truyền

2.2.1 Khái niệm hàm truyền:

Trong tự động điều khiển, hàm truyền thường được dùng để đặc trưng cho quan hệ vào-ra của các thành phần hay của các hệ thống vốn có thể mô tả được bằng các phương trình vi phân tuyến tính hệ số hằng.

Vậy, *hàm truyền* của một hệ thống phương trình vi phân tuyến tính hệ số hằng được định nghĩa là tỷ số giữa ảnh Laplace của đầu ra (hay hàm đáp ứng) chia cho ảnh Laplace của đầu vào (hay hàm tác động) với giả định là mọi điều kiện đầu đều bằng không.

2.2.2 Biểu thức tổng quát của hàm truyền:

Giả sử có một hệ thống tuyến tính hệ tĩnh (hệ số hằng) được mô tả bằng phương trình vi phân sau

2-22

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{y} + a_n y = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1} \dot{x} + a_m x; \quad n \geq m$$

Trong đó y là đầu ra, còn x là đầu vào. Ta có được hàm truyền của hệ thống này nhờ phép biến đổi Laplace cả hai vế của phương trình để có ảnh Laplace của đầu ra và đầu vào với giả định là mọi điều kiện đầu đều bằng không:

2-23

$$G(s) = \frac{L[y]}{L[x]} \Big|_{\text{điều kiện đầu}=0} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}$$

Với khái niệm hàm truyền ta có thể biểu diễn động lực học hệ thống bằng các phương trình đại số của s . Nếu số mũ cao nhất của s ở mẫu số của hàm truyền là n thì ta nói rằng hệ thống có bậc n .

2.2.1 Nhận xét về hàm truyền

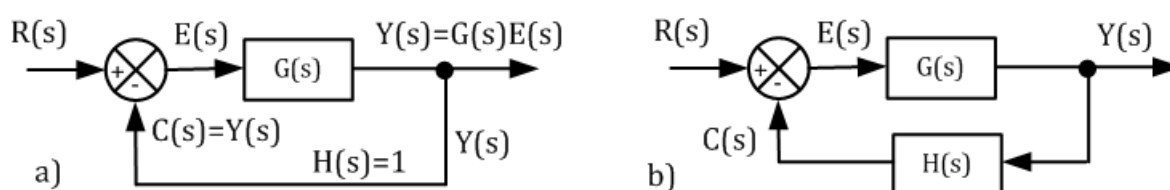
Các ứng dụng của hàm truyền bị giới hạn trong các hệ thống tuyến tính hệ số hằng (nghĩa là các thông số của hệ không thay đổi theo thời gian) và được sử dụng thường xuyên trong phân tích các hệ thống dạng này.

- 1- Hàm truyền của một hệ thống là một mô hình toán học chứa đựng phương thức biểu diễn bằng phương trình vi phân mối liên hệ của biến đầu ra đối với biến đầu vào.
- 2- Hàm truyền chính là một thuộc tính của một hệ thống, độc lập với cường độ và bản chất của đầu vào (hay biến tác động).
- 3- Hàm truyền bao gồm các phần tử cần thiết để thể hiện mối liên hệ của đầu vào đối với đầu ra. Tuy nhiên, nó không cho ta biết bất kỳ thông tin nào về cấu trúc vật lý của hệ thống mà nó mô tả. Nghĩa là, hàm truyền của rất nhiều hệ thống vật lý khác nhau lại hoàn toàn giống nhau.
- 4- Nếu ta biết được hàm truyền của một hệ thống, ta có thể nghiên cứu đầu ra hay đáp ứng của hệ thống đối với một loạt dạng đầu vào khác nhau nhằm hiểu rõ bản chất của hệ thống.
- 5- Nếu ta không thể tìm được hàm truyền của một hệ thống bằng các phép mô tả toán học thông dụng, ta có thể tìm hàm truyền của hệ bằng thực nghiệm, bằng cách áp dụng một số các tín hiệu vào cho trước rồi nghiên cứu đáp ứng đầu ra của hệ thống. Khi đã tìm được, hàm truyền này thể hiện các đặc trưng động lực học của hệ thống, khác với mô tả vật lý của hệ.

2.3 Xây dựng và biến đổi sơ đồ khối

2.3.1 Sơ đồ khối của mạch kín.

HÌNH 2-2 giới thiệu một sơ đồ khối của mạch kín. Tín hiệu ra, hay là biến được điều khiển $Y(s)=G(s).E(s)$ theo định nghĩa về hàm truyền. Tín hiệu $Y(s)$ sẽ được hồi tiếp về điểm so sánh, thông qua khối cảm biến và thành một tín hiệu $C(s)$ là đại diện cho $Y(s)$. Tín hiệu ra $E(s)$ từ điểm so sánh là kết quả cộng đại số của hai tín hiệu vào: cho trước (hay tham chiếu) $R(s)$ và hồi tiếp $C(s)$. Vậy, $E(s) = R(s) - C(s)$. Như vậy, quan hệ giữa các tín hiệu, chức năng của từng khối được thể hiện rất rõ ràng trên sơ đồ khối. Trong một sơ đồ khối sẽ có nhiều khối, điểm so sánh (cộng tín hiệu) và các điểm rẽ nhánh.



Hình 2-2: Sơ đồ khối của mạch kín (có phản hồi)

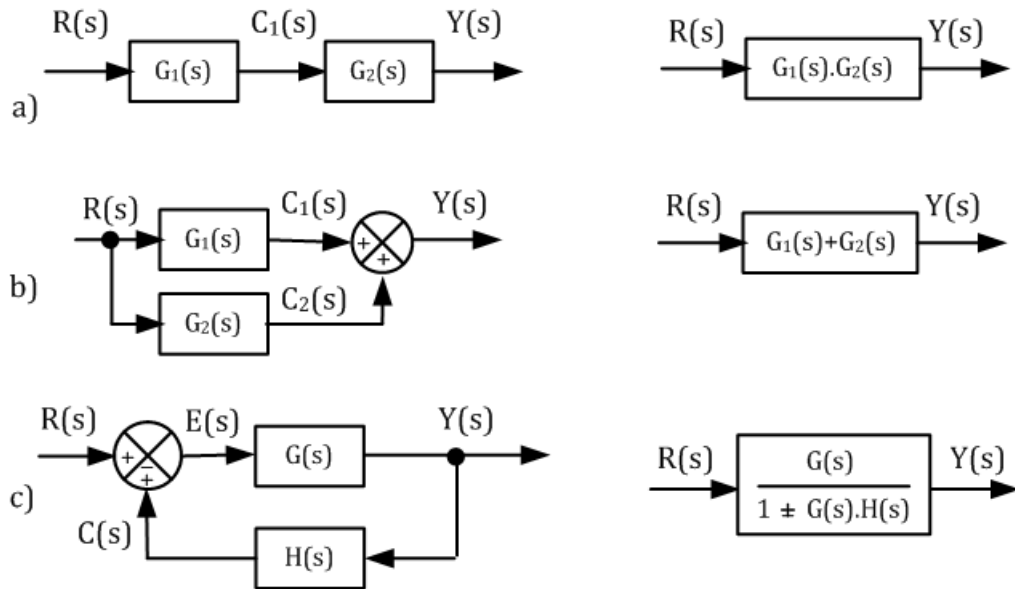
Biến được điều khiển khi được đưa về điểm so sánh phải có cùng dạng tín hiệu, bản chất vật lí, đơn vị đo với tín hiệu vào cho trước nhờ các chuyển đổi cần thiết. Ví dụ trong **HÌNH 2-2**, nếu $R(s)$ có dạng là lực, áp suất hay điện áp đại diện cho nhiệt độ cho trước (nhiệt độ ta muốn có), còn $Y(s)$ là nhiệt độ cần được điều khiển, vậy trước khi $Y(s)$ được gửi về điểm so sánh để cộng hoặc trừ với $R(s)$ tạo ra tín hiệu độ lệch $E(s)$, nó cần phải được chuyển đổi thành một đại lượng $C(s)$ có tính chất giống với $R(s)$ thông qua khối cảm biến có hàm truyền $H(s)$, $C(s)=H(s).Y(s)$.

2.3.2 Hàm truyền của hai khâu mắc nối tiếp

Hai khâu nối tiếp có hàm truyền $G_1(s)$ và $G_2(s)$, xem **HÌNH 2-3 A**. Theo định nghĩa hàm truyền, ta có

2-24

$$C_1(s) = G_1(s)R(s); \quad Y(s) = G_2(s)C_1(s); \quad \rightarrow \quad \frac{Y(s)}{R(s)} = G_1(s)G_2(s);$$



Hình 2-3: Rút gọn các khối nối tiếp, song song và có phản hồi

2.3.3 Hàm truyền của hai khâu mắc song song

Hai khâu mắc song song như trên **HÌNH 2-3 B**, tín hiệu ra của hai khâu đi vào điểm cộng tín hiệu. Khi đó ta có

$$Y(s) = C_1(s) + C_2(s);$$

$$C_1(s) = G_1(s)R(s); \quad C_2(s) = G_2(s)R(s)$$

2-25

$$Y(s) = G_1(s)R(s) + G_2(s)R(s) \quad \rightarrow \quad \frac{Y(s)}{R(s)} = G_1(s) + G_2(s);$$

Tương tự, nếu có n khâu mắc song song thì hàm truyền tổng của các khâu mắc song song sẽ là

2-26

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \sum_{i=1}^n G_i(s)$$

2.3.4 Hàm truyền mạch hở và hàm truyền mạch cấp tới.

Theo **HÌNH 2-3 c**. Tỷ số của tín hiệu hồi tiếp C(s) chia cho tín hiệu độ lệch E(s) được gọi là hàm truyền mạch hở (*open loop transfer function*):

2-27

$$\text{Hàm truyền mạch hở} = \frac{Y(s)}{E(s)} = G(s)H(s)$$

Tỷ số của đầu ra Y(S) chia cho tín hiệu độ lệch tác động E(s) được gọi là *hàm truyền mạch tiếp tới (Feedforward transfer function)*:

2-28

$$\text{Hàm truyền mạch tiếp tới} = \frac{Y(s)}{E(s)} = G(s)$$

Nếu hàm truyền khâu hồi tiếp $H(s) = 1$, thì hàm truyền mạch hở bằng với hàm truyền mạch tiếp tới.

2.3.5 Hàm truyền mạch kín (Closed-loop transfer function).

Nếu sơ đồ như **HÌNH 2-3c** được rút gọn thành một khối, với đầu vào là $R(s)$, đầu ra $Y(s)$, hàm truyền của khối mới sẽ được xác định như sau. Từ điểm cộng tín hiệu ta có

$$E(s) = R(s) \mp C(s) \quad \text{với} \quad C(s) = H(s)Y(s) \rightarrow E(s) = R(s) \mp H(s)Y(s)$$

Từ khối chính với hàm truyền $G(s)$ ta có

$$Y(s) = G(s)E(s)$$

Thế $E(s)$ từ công thức trên vào ta có

$$Y(s) = G(s)R(s) \mp G(s)H(s)Y(s)$$

$$Y(s)[1 \pm G(s)H(s)] = G(s)R(s)$$

Cuối cùng ta có

2-29

$$\text{Hàm truyền mạch kín} = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 \pm G(s)H(s)}$$

Hàm truyền này thể hiện mối liên hệ giữa đáp ứng động lực học của mạch kín đối với động lực học của mạch hở và mạch tiếp tới.

Từ phương trình này, $Y(s)$ được xác định theo

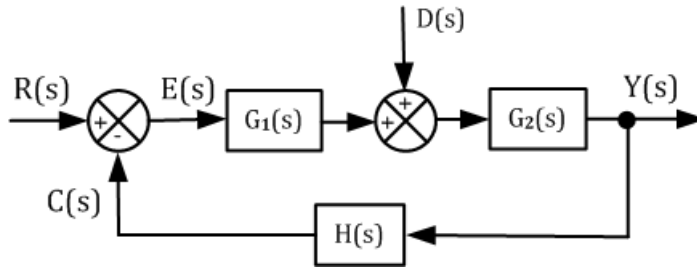
2-30

$$Y(s) = \frac{G(s)}{1 \pm G(s)H(s)} R(s)$$

Vậy, đáp ứng đầu ra của hệ điều khiển mạch kín phụ thuộc cả vào hàm truyền của mạch kín và bản chất của tín hiệu đầu vào.

2.3.6 Hàm truyền của mạch kín đối với nhiễu.

HÌNH 2-4 cho thấy một hệ mạch kín có nhiễu tác động. Trong hệ tuyến tính này có hai đầu vào, tín hiệu cho trước $R(s)$ và nhiễu $D(s)$. Ta có thể xét tác động của từng nhiễu lên đầu ra một cách độc lập bằng cách coi nhiễu còn lại có giá trị không. Tác động đồng thời của cả hai đầu vào tới đầu ra sẽ được xét bằng cách cộng hai tín hiệu ra đối với hai đầu vào độc lập.



Hình 2-4: Sơ đồ khối mạch kín có nhiễu $D(s)$

Như vậy khi xét chỉ tác động của nhiễu $D(s)$ lên đầu ra $Y(s)$, ta có thể coi hệ đang làm việc với đầu vào tham chiếu $R(s)=0$, và ta có thể xét đáp ứng của hệ chỉ đối với nhiễu thôi. Khi đó đầu vào hệ là $D(s)$, các khâu trong tuyến phản hồi có $H(s)$ và $G_1(s)$, đáp ứng đầu ra là $Y_D(s)$ và hàm truyền có dạng

2-31

$$\frac{Y_D(s)}{D(s)} = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

Tương tự, khi xét chỉ tác động của tín hiệu cho trước $R(s)$ tới đầu ra, ta coi nhiễu $D(s)=0$, khi đó đáp ứng đầu ra là $Y_R(s)$ và hàm truyền có dạng

2-32

$$\frac{Y_R(s)}{R(s)} = \frac{G_1(s)G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

Đáp ứng của hệ đối với tác động đồng thời của hai đầu vào $R(s)$ và $D(s)$ sẽ là tổng của hai đáp ứng của hệ đối với từng đầu vào riêng rẽ. Nghĩa là

2-33

$$Y(s) = Y_R(s) + Y_D(s) = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} [G_1(s)R(s) + D(s)]$$

Từ các phương trình này ta rút ra một vài kết luận sau:

- 1- Nếu $|G_1(s)H(s)| \gg 1$ và $|G_1(s)G_2(s)H(s)| \gg 1$, thì hàm truyền $[\frac{Y_D(s)}{D(s)}] \rightarrow 0$, nghĩa là nhiễu hầu như không có tác động lên đầu ra của hệ thống. Đây chính là một trong số ưu điểm của mạch kín (có phản hồi).
- 2- Nếu $|G_1(s)G_2(s)H(s)| \gg 1$ thì ta có thể bỏ qua 1 ở mẫu số của công thức hàm truyền đối với tín hiệu cho trước $Y_R(s)/R(s)$. Khi đó $[Y_R(s)/R(s)] \rightarrow 1/H(s)$, cho nên $Y_R(s)/R(s)$ trở lên độc lập với $G_1(s)$, $G_2(s)$ và tỷ lệ nghịch với hàm truyền khâu phản hồi $H(s)$. Do đó các sự thay đổi của $G_1(s)$ và $G_2(s)$ không ảnh hưởng đến hàm truyền của mạch kín $Y_R(s)/R(s)$. Đây chính là một ưu điểm khác của mạch kín (có phản hồi). Ta có thể thấy rằng khi hàm truyền của khâu phản hồi $H(s) = 1$, mạch phản hồi có xu hướng cân bằng đầu ra với đầu vào của hệ.

2.3.7 Thủ tục vẽ một sơ đồ khối.

Để vẽ được một sơ đồ khối cho một hệ thống, trước tiên chúng ta tìm cách viết được các phương trình mô tả đáp ứng động lực học của từng phần tử trong hệ. Sau đó lấy các ảnh Laplace của các phương trình này với giả định các điều kiện đầu bằng không, rồi đặt mỗi phương trình ảnh Laplace vào một khối riêng. Cuối cùng, ghép các phần tử vào một sơ đồ khối hoàn chỉnh.

Sau đây là một ví dụ. Một mạch RC như trong **hình 2-5a**. Các phương trình của mạch này là

$$i = \frac{e_i - e_0}{R}$$

$$e_0 = \frac{\int i dt}{C}$$

Ảnh Laplace của các phương trình trên với điều kiện đầu bằng không có dạng

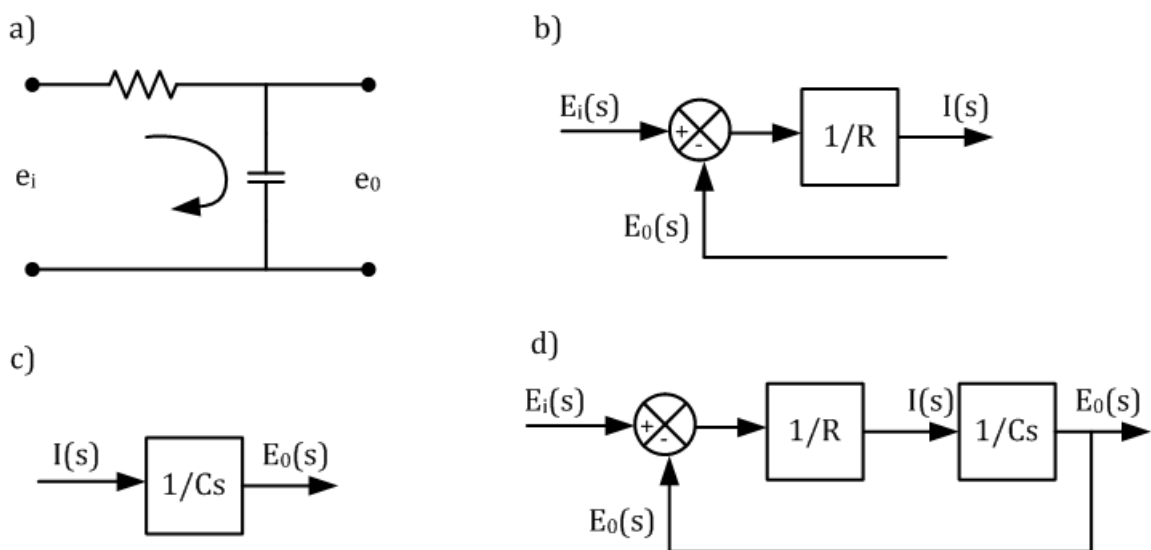
2-34

$$I(s) = \frac{E_i(s) - E_0(s)}{R}$$

2-35

$$E_0(s) = \frac{I(s)}{C \cdot s}$$

Phương trình **2-34** thể hiện hoạt động cộng tín hiệu, tương ứng là sơ đồ khối như **HÌNH 2-5 B**. Phương trình **2-35** biểu diễn cho sơ đồ **HÌNH 2-5 c**. Khi ráp nối hai sơ đồ này lại, ta có được **HÌNH 2-5 D** là sơ đồ khối tổng thể của hệ thống.



Hình 2-5: Thủ tục vẽ một sơ đồ khối. Mạch R-C

2.3.8 Rút gọn sơ đồ khối.

Cần lưu ý rằng các khối chỉ được ráp nối tiếp nhau nếu tín hiệu ra của một khối không bị ảnh hưởng bởi các khối sau nó. Nếu có hiệu ứng qua lại giữa các bộ phận thì cần phải kết hợp các bộ phận đó thành một khối đơn.

Các khối không bị hiệu ứng tải có liên hệ nối tiếp với nhau có thể được thay thế bằng một khối đơn có hàm truyền bằng tích các hàm truyền của các khối riêng biệt, $G=G_1.G_2$.

Các khối mắc song song nhau có thể được thay bằng một khối có hàm truyền bằng tổng các hàm truyền của các khối riêng biệt. $G=G_1+G_2...$

Một sơ đồ khối gồm nhiều mạch vòng kín có thể được rút gọn dần từng bước nhờ sử dụng các quy tắc của đại số sơ đồ khối, xem **Bảng 2-2** kèm theo. Việc rút gọn sơ đồ khối giúp ta đơn giản hoá được các phép biến đổi toán học phức tạp và tiện cho việc tìm đáp ứng của hệ thống. Tuy nhiên càng rút gọn thì phương trình mô tả hệ thống càng trở thành rối rắm và không còn dễ phân tích quan hệ giữa các khối nữa, các điểm dị biệt mới xuất hiện.

Bảng 2-2: Các quy tắc cơ bản rút gọn sơ đồ khối

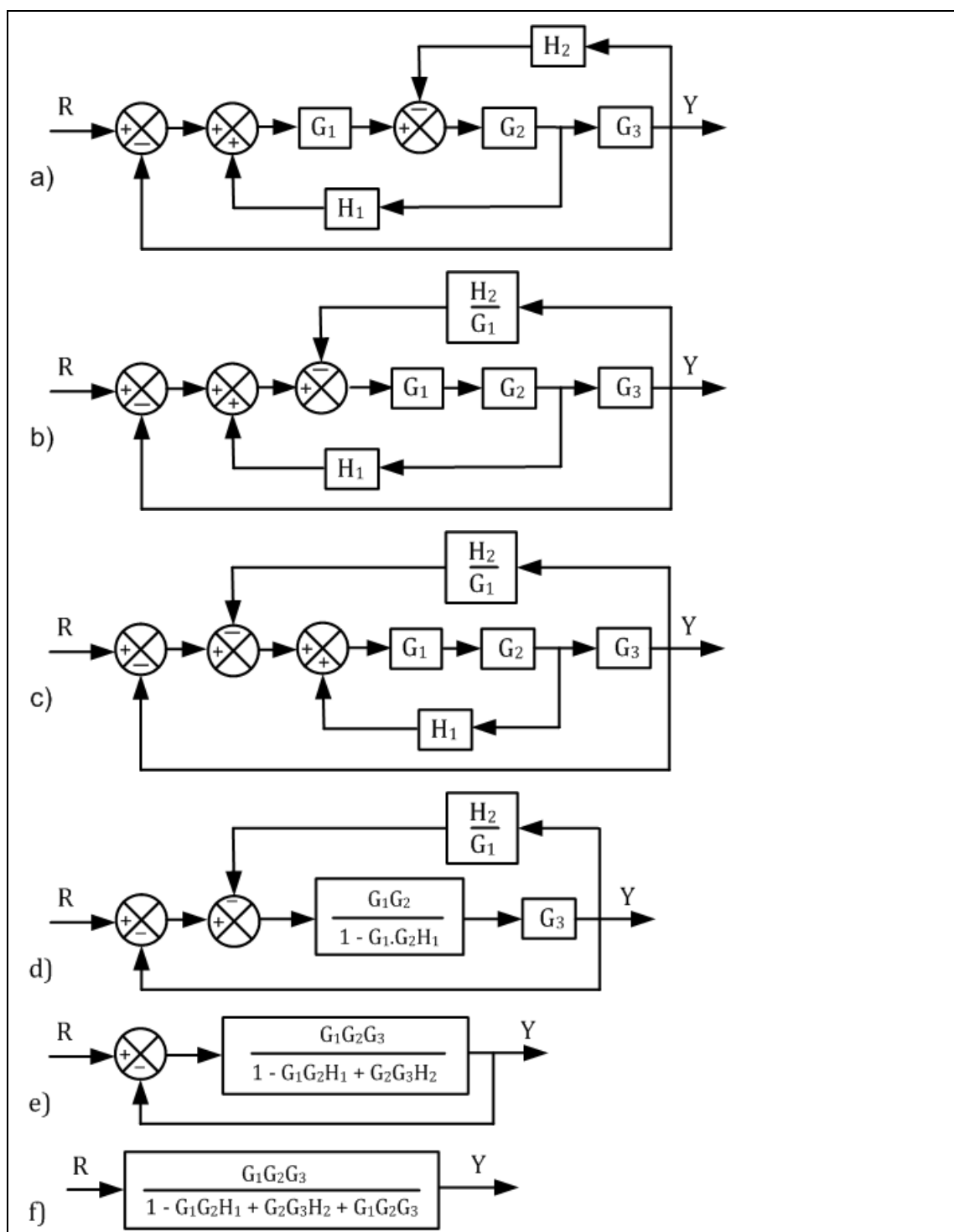
Các quy tắc rút gọn sơ đồ khối	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		

Khi rút gọn sơ đồ khối cần nhớ rằng:

- 1- Tích của các hàm truyền trong mạch chính (cấp tới) phải được giữ không đổi.
- 2- Tích các hàm truyền trong mạch vòng kín cũng phải được giữ không đổi.

Hình 2-6: Một ví dụ minh họa về việc rút gọn sơ đồ khối



Ví dụ 2-1

Xem xét hệ thống như trong **HÌNH 2-6(A)**. Rút gọn sơ đồ khối này.

Đời điểm so sánh thứ ba lên trước khâu G_1 , áp dụng quy tắc 6, **Bảng 2-2**, ta có sơ đồ như **HÌNH 2-6 (B)**. Chuyển điểm so sánh thứ 3 lên trước khâu G_1 , áp dụng quy tắc 1, ta có

HÌNH 2-6 (C). Loại bỏ mạch vòng có khâu G_1, G_2 , áp dụng các quy tắc 4 và 13, cho ta **HÌNH 2-6 (D)**. Loại bỏ mạch vòng có H_2/G_1 ta có được sơ đồ **HÌNH 2-6 (E)**. Cuối cùng, rút gọn mạch vòng kín còn lại cho ta **HÌNH 2-6 (F)** và chỉ còn 1 khối duy nhất.

Ta có nhận xét rằng tử số của hàm truyền rút gọn của mạch kín $Y(s)/R(s)$ chính là tích của các hàm truyền của các khâu trong mạch tiếp tới (mạch thẳng chính). Còn mẫu số của $Y(s)/R(s)$ bằng

2-36

$$(1 - \text{tổng của các tích các hàm truyền của các mạch vòng kín bộ phận}) = 1 - (G_1G_2H_1 - G_2G_3H_2 - G_1G_2G_3)$$

Phản hồi dương cho ta dấu âm (-) trước các tích trong mẫu số.

2.4 Thiết lập mô hình toán cho các hệ thống động lực học

Trong phần này ta sẽ xem xét việc thiết lập mô hình toán và các mô phỏng trong máy tính cho các hệ thống động lực học. Khi nghiên cứu về tự động điều khiển, ta cần phải có khả năng thiết lập được mô hình toán của các hệ thống động lực học và có thể phân tích được các đặc tính động lực học của hệ. Một mô hình toán của một hệ thống động lực học được hiểu là một hệ các phương trình có thể mô tả được các thuộc tính động lực học của hệ một cách khá chính xác. Với mỗi hệ thống cho trước ta có không chỉ một mô hình toán duy nhất, mà tùy thuộc vào cách phân tích hệ thống và quan điểm của người phân tích ta sẽ có nhiều mô hình toán khác nhau. Trong phần này, ta chỉ tìm cách thiết lập các mô hình toán thể hiện được quan hệ của đầu ra đối với đầu vào của một hệ.

2.4.1 Các khái niệm cơ bản.

Các mô hình toán của hệ động lực

Bước đầu tiên trong phân tích hệ thống động lực học là tìm ra được mô hình toán của nó. Điều quan trọng là tìm được một mô hình thích hợp, vừa phải. Mô hình toán của một hệ có thể được thiết lập ở nhiều dạng khác nhau. Tùy thuộc vào hệ cụ thể và vào trường hợp cụ thể, mô hình toán học này có thể tốt hơn mô hình toán học khác. Ví dụ trong điều khiển tối ưu, ta nên dùng mô hình toán trạng thái (State-space model) cho hệ. Còn khi phân tích đáp ứng quá độ hay đáp ứng tần số của các hệ thống tuyến tính hệ số hằng, một đầu vào, một đầu ra thì mô hình dưới dạng hàm truyền lại có nhiều thuận tiện hơn. Khi đã có được mô hình toán cho một hệ, ta có thể dùng nhiều công cụ phân tích và máy tính để phân tích và tổng hợp hệ thống.

Sử dụng mô hình trạng thái lại rất thích hợp cho các hệ có nhiều đầu vào, nhiều đầu ra (MIMO) và ứng dụng được nhiều công cụ thiết kế hệ thống nhờ máy tính.

Tính đơn giản và tính chính xác

Ta có thể nâng cao tính chính xác của mô hình toán của hệ nhờ tăng tính phức tạp của chúng lên. Song, khi đó ta có thể phải dùng đến hàng trăm phương trình toán để mô tả một hệ thống, việc tính toán sẽ cực kỳ phức tạp. Vậy, cần phải cân nhắc giữa tính đơn giản và tính chính xác của các kết quả phân tích của một mô hình toán. Nhìn chung, chỉ nên dùng

một mô hình vừa phải cho một hệ với một tình huống cụ thể. Không có mô hình nào đáp ứng tốt cho mọi tình huống diễn ra trong hệ cả. Vậy, tính đơn giản vẫn là mục tiêu nên được ưu tiên.

Các hệ tuyến tính

Một hệ được gọi là tuyến tính nếu nó thỏa mãn tính xếp chồng, hay còn gọi là tính độ lập tuyến tính. Nguyên lý xếp chồng nói rằng đáp ứng được tạo ra bởi tác động đồng thời của hai hàm kích thích khác nhau là tổng của hai đáp ứng riêng rẽ của hệ đối với từng kích thích một. Vậy, với hệ tuyến tính, ta có thể tính đáp ứng của hệ với nhiều kích thích vào khác nhau bằng cách xem xét lần lượt từng đáp ứng của hệ đối với từng kích thích vào. Sau đó cộng các kết quả lại ta có đáp ứng chung của hệ. Như vậy ta có được một đáp ứng phức tạp từ nhiều đáp ứng đơn giản hơn nhiều.

Các hệ phi tuyến

Hệ là phi tuyến khi nó không thỏa mãn tính xếp chồng. Vậy, với hệ phi tuyến, đáp ứng của hệ với hai đầu vào cùng lúc không thể được đánh giá bằng cách xử lý đáp ứng của hệ đối với từng đầu vào riêng rẽ sau đó cộng gộp hai đáp ứng lại để có kết quả cuối cùng. Sau đây là một vài ví dụ về hệ phi tuyến.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + x = A \sin \omega t;$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (x^2 - 1) \frac{dx}{dt} + x = 0;$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + x + x^3 = 0;$$

Mặc dầu có rất nhiều quan hệ vật lý được mô tả bằng các phương trình tuyến tính, nhưng hầu hết các quan hệ đó không phải là tuyến tính. Nghiên cứu kỹ các hệ này cho thấy rằng thậm chí đối với các hệ được coi là tuyến tính cũng chỉ thực sự tuyến tính trong một phạm vi hoạt động hữu hạn thôi.

Xử lý các mô hình phi tuyến thường rất phức tạp. Người ta thường thay thế các mô hình phi tuyến bằng mô hình tuyến tính tương đương cho việc tính toán được đơn giản hơn. Mô hình tương đương này chỉ thỏa mãn tính tuyến tính trong một phạm vi hoạt động nhất định. Khi hệ đã được tuyến tính hóa, ta có thể sử dụng rất nhiều công cụ tuyến tính để phân tích và thiết kế hệ thống.

Tuyến tính hóa các hệ phi tuyến

Trong công nghệ điều khiển, điểm làm việc bình thường của hệ thống có thể là ở xung quanh một điểm cân bằng và các tín hiệu có thể được coi là các tín hiệu độ lệch nhỏ xung quanh điểm cân bằng. Vậy, nếu hệ được coi là làm việc xung quanh điểm cân bằng, và nếu các tín hiệu liên quan là các tín hiệu nhỏ, thì ta có thể lấy gần đúng một hệ phi tuyến bằng một hệ tuyến tính tương đương trong một phạm vi hoạt động hữu hạn. Hệ tuyến tính tương đương như vậy có vai trò rất quan trọng trong công nghệ điều khiển.

2.4.2 Tuyến tính hóa các mô hình toán học phi tuyến.

Có rất nhiều công cụ và phương pháp tuyến tính hóa khác nhau được dùng trong điều khiển. Sau đây ta chỉ xem xét một phương pháp đơn giản dựa vào chuỗi khai triển Taylor xung quanh điểm làm việc để thiết lập mô hình toán tuyến tính tương đương.

Để có được mô hình toán tuyến tính thay cho một hệ phi tuyến, ta xem như các biến của hệ chỉ biến thiên nhỏ xung quanh giá trị cân bằng. Giả sử ta có một hệ có đầu vào là $x(t)$ và đầu ra là $y(t)$. Quan hệ giữa đầu ra với đầu vào có dạng

2-37

$$y = f(x)$$

Nếu các giá trị tại các điểm làm việc tương ứng là (x^*, y^*) , vậy phương trình (2-37) có thể được khai triển thành chuỗi Taylor xung quanh điểm làm việc này như sau

2-38

$$y = f(x) = f(x^*) + \frac{df}{dx}_{@x=x^*} (x - x^*) + \frac{1}{2!} \frac{d^2f}{dx^2}_{@x=x^*} (x - x^*)^2 + \dots$$

Trong đó, $\frac{df}{dx}_{@x=x^*}$, $\frac{d^2f}{dx^2}_{@x=x^*}$ là các đạo hàm tương ứng được xác định tại $x = x^*$. Nếu độ lệch $(x - x^*)$ là nhỏ, ta có thể bỏ qua các thành phần bậc cao của $(x - x^*)$. Vậy phương trình (2-38) có thể được viết lại thành

2-39

$$y = y^* + K(x - x^*)$$

Trong đó

$$y^* = f(x^*); \quad K = \frac{df}{dx}_{@x=x^*}$$

Và phương trình (2-39) được viết thành

2-40

$$y - y^* = K(x - x^*)$$

Từ phương trình này ta thấy $(y - y^*)$ tỷ lệ với $(x - x^*)$. Phương trình (2-40) là mô hình toán tuyến tính tương đương của phương trình (2-37) ở gần điểm làm việc $x = x^*$ và $y = y^*$.

Nếu hệ tuyến tính có đầu ra phụ thuộc vào hai hoặc nhiều biến đầu vào, x_1 và x_2 như sau

2-41

$$f = f(x_1, x_2)$$

ta có thể tuyến tính gần đúng hệ này theo khai triển Taylor xung quanh các điểm làm việc bình thường x_1^*, x_2^* . Phương trình (2-41) có thể viết thành:

2-42

$$y = f(x_1^*, x_2^*) + \left[\frac{\partial f}{\partial x_1} (x_1 - x_1^*) + \frac{\partial f}{\partial x_2} (x_2 - x_2^*) \right] + \dots$$

Trong đó các đạo hàm riêng được đánh giá tại $x_1 = x_1^*, x_2 = x_2^*$. Tại lân cận các điểm làm việc ta có thể bỏ qua các thành phần bậc cao. Mô hình toán tuyến tính của hệ phi tuyến (2-41) xung quanh các điểm làm việc bình thường có thể được viết thành

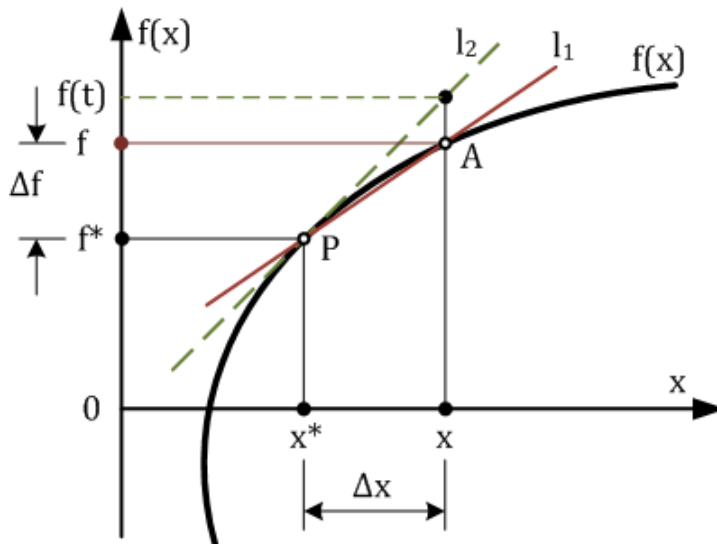
2-43

$$y - y^* = K_1(x_1 - x_1^*) + K_2(x_2 - x_2^*)$$

Trong đó,

$$y^* = f(x_1^*, x_2^*); K_1 = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Big|_{x_1=x_1^*, x_2=x_2^*}; K_2 = \frac{\partial f}{\partial x_2} \Big|_{x_1=x_1^*, x_2=x_2^*};$$

Mô hình tuyến tính dạng này chỉ phù hợp đúng cho lân cận các điểm làm việc bình thường. Cách xa điểm tuyến tính hóa thì sai số rất lớn. Nếu các biến thay đổi quá nhiều xung quanh điểm làm việc thì ta cần dùng các kỹ thuật tuyến tính hóa dạng khác để thiết lập mô hình tuyến tính tương đương.



Hình 2-7: Một biểu diễn hình học cho phép tuyến tính hóa đơn giản

HÌNH 2-7 minh họa cho phép tuyến tính hóa hàm một biến $f(x)$, trong đó f là hàm không tuyến tính của biến độc lập x . Giả sử hệ thống thường làm việc tại điểm P: (x^*, f^*) , có thể coi là điểm làm việc ổn định v.v. Giả sử điểm A: (x, f) là một điểm làm việc điển hình khác của hệ. Ta kẻ đoạn thẳng (l_1) đi qua P và A. Vậy, ta định nghĩa:

2-44

$$\Delta x(t) = x(t) - x^* \text{ và } \Delta f(t) = f(t) - f^*;$$

Trong đó, (t) là biến thời gian trong các hệ động lực học. Δx và Δf là các số gia tương ứng của x và f . Lưu ý rằng dấu $(*)$ biểu thị thông số tại điểm thường xuyên làm việc của hệ. Nếu Δx và Δf cực nhỏ thì đoạn (l_1) chuyển thành đoạn thẳng (l_2) , mà nó được xác định là tiếp tuyến (biểu diễn của đạo hàm) của đường cong $f(x)$ tại điểm P. Ta gọi độ dốc của đường tiếp tuyến (l_2) này là m , vậy

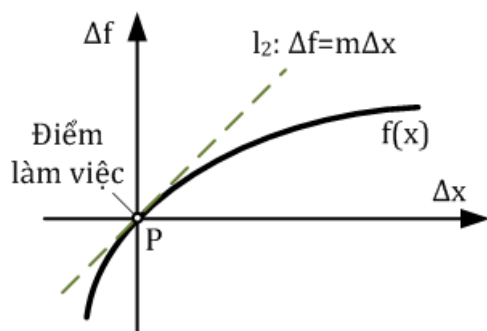
$$m = \frac{df}{dx}_{@x=x^*}$$

Như vậy, m chính là đạo hàm df/dx tại điểm thường làm việc P. Kết quả là phương trình của đường tiếp tuyến (l_2) có thể được viết thành

2-45

$$f - f^* = m(x - x^*) \rightarrow \Delta f = m \cdot \Delta x$$

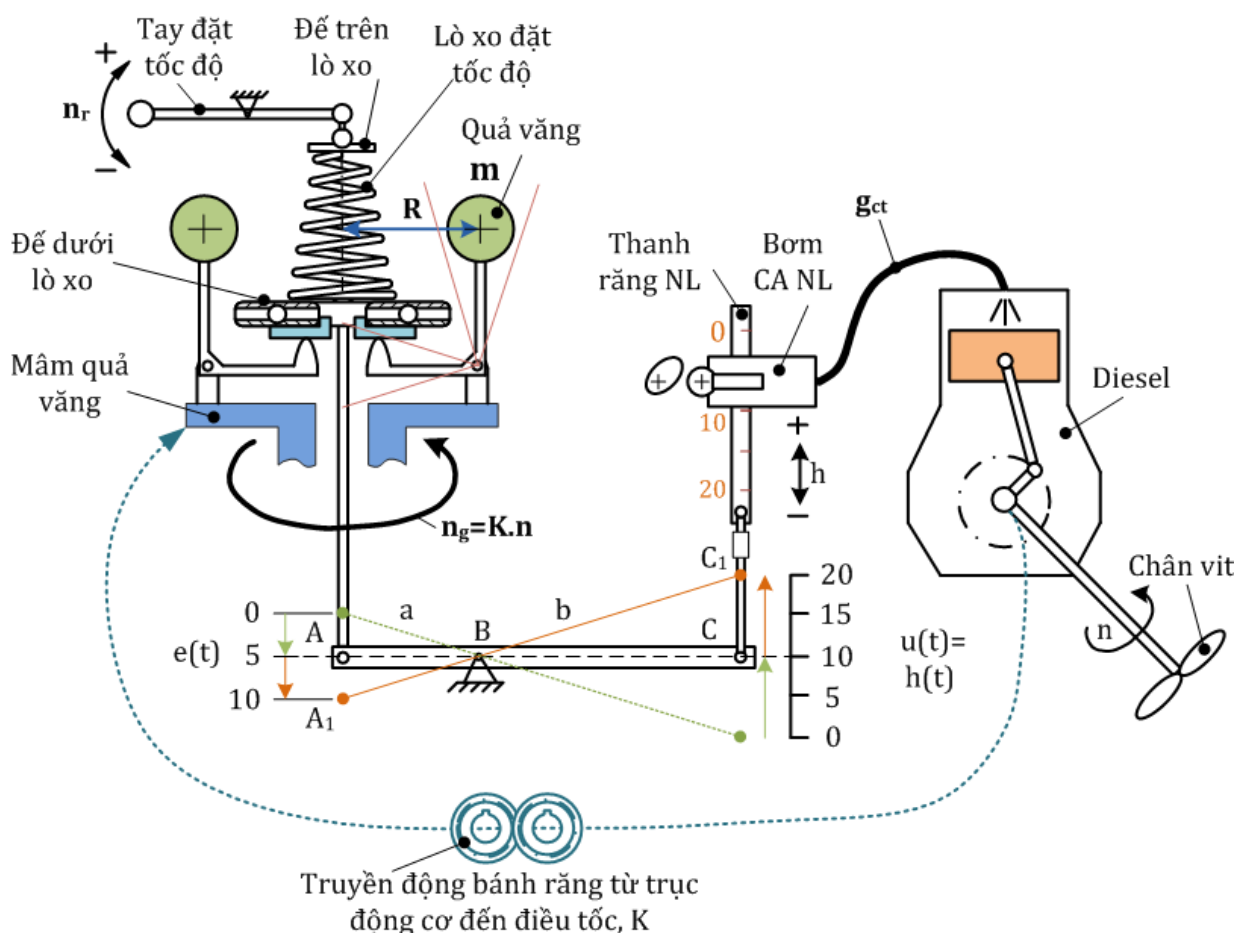
Do vậy, nếu ta chuyển tọa độ thành Δx và Δf thì biểu thức **2-45** mô tả một đoạn thẳng (l_2) , có độ dốc m , đi qua điểm gốc tọa độ mới là P, như trong **HÌNH 2-8**.



Hình 2-8: Gần đúng tuyến tính (l_2) của hàm phi tuyến $f(x)$ tương đối trong hệ trục tọa độ mới Δx và Δf .

2.4.3 Ví dụ lập mô hình toán hệ động lực

Trong các hệ thống tàu thủy, hệ điều khiển tốc độ quay của trục động cơ diesel, lai chân vịt hoặc lai máy phát điện là rất phổ biến. Sau đây ta xem xét một hệ điều khiển vòng quay diesel chính lai trực tiếp chân vịt, có dùng một bộ điều tốc cơ khí tác động trực tiếp. Xem .



Hình 2-9: Hệ thống điều khiển tự động vòng quay diesel lai trực tiếp chân vít tàu thủy

Tóm tắt hoạt động của hệ như sau. Động cơ diesel lai trực tiếp chân vít biến bước hoặc chân vít định bước với ly hợp, hoặc một máy phát điện. Vòng quay của động cơ là một trong hai biến quyết định công suất của một động cơ có chuyển động trực quay tròn,

2-46

$$N(W) = M(N.m) \times \omega\left(\frac{1}{s}\right) = M(N.m) \times \frac{\pi}{30} \times n\left(\frac{v}{p}\right).$$

Do vậy, việc điều khiển tốc độ quay của trục động cơ là rất thiết thực. Gần đúng, mô men trên trục động cơ là hàm của vị trí thanh răng nhiên liệu (h) của bơm cao áp cấp nhiên liệu vào động cơ. Động cơ truyền chuyển động quay cho mâm quả văng, do vậy là cho quả văng ly tâm, thông qua một hệ thống truyền động bánh răng. Khi quả văng quay nó sản sinh ra lực ly tâm (F_{LT}^*) tại các quả văng, ta cho là có 2 quả văng như trên hình, lực ly tâm này có xu hướng kéo ra ngoài làm các quả văng có xu hướng ly tâm.

2-47

$$F_{LT}^*(kgf) = 2.m(kg).R(m).\omega^2(s^{-2})$$

Hoặc, khi tính theo $n(v/p)$

2-48

$$F_{LT}^*(kgf) = 2.m(kg).R(m).\left[\frac{\pi}{30}\right]^2 n^2(s^{-2})$$

Tuy nhiên, do chỉ dùng các số liệu có tính minh họa nên để đơn giản trong tính toán và dễ hiểu, ta coi F_{LT} chỉ tỷ lệ với vòng quay theo

2-49

$$F_{LT}^*(kgf) = 2 \cdot m(kg) \cdot R(m) \cdot \frac{\pi}{30} n(s^{-2}) = K_{LT} \cdot n \left(\frac{v}{p}\right); \text{ với } K_{LT} = 2mR \frac{\pi}{30}$$

Do quả văng gắn với một cần chữ L, cho nên lực ly tâm này chuyển thành lực một lực hướng từ dưới lên, đẩy vào đế dưới vòng bi chặn, do vậy là vào đế dưới lò xo đặt tốc độ. Để giữ quả văng ở vị trí cân bằng (quả văng quay nhưng có vết quay thẳng đứng như trên hình) lò xo đặt tốc độ phải tạo ra được một lực căng (F_{LX}) đẩy từ trên xuống hông cân bằng với lực ly tâm (F_{LT}) của quả văng. Để cho đơn giản trong tính toán, ta cho hai nhánh L dài bằng nhau, cho nên

2-50

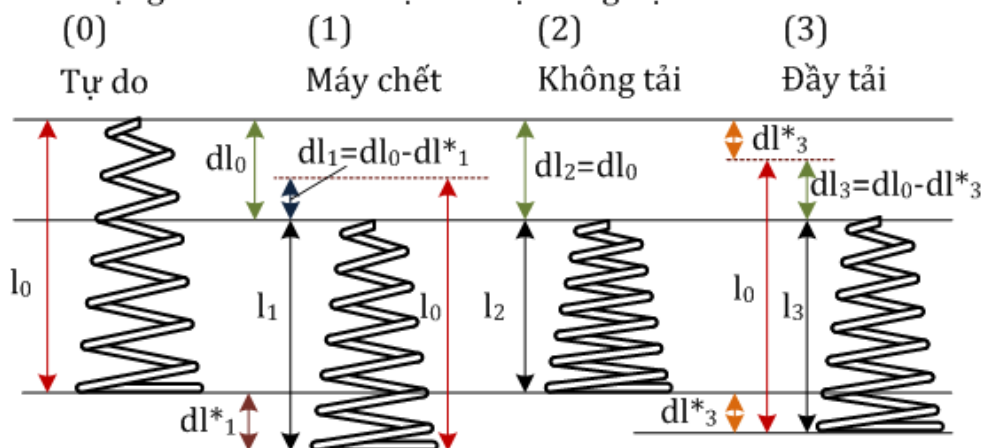
$$F_{LT} = F_{LX}^*$$

Như vậy, vòng bi chặn là nơi mà các lực này đối chọi nhau. Ta có thể thay đổi sức căng lò xo (F_{LX}) bằng cách thay đổi độ nén ban đầu của lò xo dl , thông quay tay đặt tốc độ. Lực lò xo đặt tốc độ được tính theo

2-51

$$F_{LX}(kgf) = K_{LX} \left(\frac{kgf}{mm}\right) \cdot dl(mm)$$

Các trạng thái của lò xo đặt tốc độ trong bộ điều tốc cơ khí khi:



Hình 2-10: Các trạng thái của lò xo đặt tốc độ trong một bộ điều tốc cơ khí

Giả sử ta đặt trước độ nén cho lò xo là (dl_0), tương ứng ta có (F_{LX0}). Khi động cơ chưa quay, lò xo đặt tốc độ luôn đè cho vấu quả văng xuống dưới, tỳ vào mâm quả văng, do vậy hai quả văng cụp hết cỡ vào trong. Đế dưới lò xo ở vị trí thấp nhất, vị trí (1) HÌNH 2-10. Điểm A của thanh ABC nằm ở vị trí (A_0) thấp nhất, đẩy cho điểm C lên vị trí cao nhất (C0). Do vậy, thanh răng nhiên liệu của bơm cao áp ở vị trí cao nhất ($h_{max} > 20$ vạch), sẵn sàng cấp mức nhiên liệu cao nhất vào buồng đốt động cơ. Độ nén thực tế của lò xo chỉ là $dl_1 = dl_0 - dl^*_{1}$.

Khi động cơ được khởi động, trục động cơ bắt đầu quay được bằng nguồn gió nén bên ngoài, các quả văng cũng tức thì quay theo, với tốc độ ($n_g = K \cdot n$). Lực ly tâm bắt đầu xuất hiện và các quả văng bắt đầu văng xa tâm. Do thanh răng nhiên liệu ở vị trí max cho nên lúc

đầu lượng nhiên liệu cấp vào động cơ là max, động cơ sinh công và tăng tốc độ. Sau đó, quả văng kéo nhiên liệu giảm đi và ổn định ở vị trí như trên hình, tương ứng chế độ không tải. Giả định, thanh răng nhiên liệu nhận vị trí $h_0 = 10 \text{ mm}$ (vạch). Tại trạng thái này, để dưới lò xo chuyển về vị trí cân bằng, lò xo chỉ còn bị nén khoảng $dl_2 = dl_0$.

Lúc này, nếu ta đóng ly hợp cho chân vịt quay, hoặc chuyển bước chân vịt từ “0” lên (H/D_{\max}), hoặc cho động cơ nhận tải định mức, thì vòng quay động cơ tức thì giảm xuống. Quả văng bị cụp vào, điểm (A) bị di chuyển xuống dưới và cuối cùng ổn định ở (A_1) để cho (C) lên (C_1) làm tăng ($h_0=10 \text{ mm}$) \rightarrow ($h_f=20 \text{ mm}$). Như vậy, từ không tải đến đầy tải, động cơ đã phải dùng thêm lượng nhiên liệu tương ứng $h_e = h_f - h_0 = 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$. Ta gọi (h_e) là phần thanh răng có ích, tương ứng là lượng nhiên liệu có ích. Gần đúng, ta có coi hiệu suất động cơ tính theo

$$\eta_e = \frac{h_e}{h_f} \times 100(\%) = \frac{h_f - h_0}{h_f} \times 100(\%)$$

Trong trường hợp này

$$\eta_e = \frac{h_e}{h_f} \times 100(\%) = \frac{h_f - h_0}{h_f} \times 100(\%) = \frac{20 - 10}{20} \times 100(\%) = 50(\%)$$

Giá trị này là lý tưởng. Các động cơ thực có giá trị hiệu suất có ích thấp hơn, khoảng từ 25%-45% tùy vào tuổi, kiểu loại và tình trạng kỹ thuật của động cơ.

Lưu ý rằng, do phải tăng thêm lượng nhiên liệu tương đương $h_e = 10 \text{ mm}$ cho nên nếu $b/a = BC/BA = 2$ thì $A - A_1 = 5 \text{ mm}$, tức là để dưới lò xo phải nhích xuống dưới, giãn lò xo ra một đoạn dl_3 . Vậy, thực tế lò xo chỉ còn bị nén một lượng là dl_3 :

$$dl_3 = dl_0 - dl_3^*$$

Như vậy, lực căng lò xo giảm, tức là tốc độ đặt trước giảm, và vòng quay động cơ cũng giảm đi một lượng tương ứng để cho lực ly tâm quả văng cân bằng được với giá trị lực lò xo mới F_{LX3} . Động cơ làm việc có sai tĩnh dương.

Bây giờ, ta sẽ lập các biểu thức cần thiết thể hiện quá trình điều khiển vừa mô tả trên, từ đó xây dựng các khối chức năng và sơ đồ khối thể hiện hoạt động và mối tương tác giữa các thành phần trong hệ.

Số liệu:

- Khối lượng quả văng: $m=0.955 \text{ kg}$
- Bán kính quay quả văng: $R = 0.05 \text{ m}$
- Vòng quay không tải: $n_{0g} = n = 550 \text{ v/p}$ ($K=n_g/n = 1$)
- Vòng quay đầy tải: $n_f = 500 \text{ v/p}$
- Chiều dài lò xo tự do: $l_0 = 200 \text{ mm}$
- Độ cứng lò xo: $K_{LX} = 0.1 \text{ kgf/mm}$

1- Tính lực ly tâm quả văng khi máy chạy không tải, F_{LT0} (kgf), theo công thức [2-49](#)

$$K_{LT}(kgf/\frac{v}{p}) = 2 \times m(kg) \times R(m) \times \frac{\pi}{30} (\frac{s^{-2}}{v/p}) = 2 \times 0.955 \times 0.05 \times \frac{\pi}{30} = 0.01 (kgf/\frac{v}{p})$$

$$F_{LT0}(kgf) = K_{LT} \left(\frac{kgf}{\frac{v}{p}} \right) \times n_0 \left(\frac{v}{p} \right) = 0.01 \times 550 = 5.5 (kgf)$$

2- Tính độ nén ban đầu của lò xo dl_0 (mm)

Khi động cơ chạy không tải ổn định, $n_0 = 550$ (v/p), thì

$$F_{LT0}(kgf) = F_{LX0}(kgf) = \times dl_0(mm) \rightarrow dl_0(mm) = \frac{F_{LT0}(kgf)}{K_{LX}(\frac{kgf}{mm})}$$

Vậy

$$dl_0(mm) = \frac{5.5(kgf)}{0.1(\frac{kgf}{mm})} = 55(mm)$$

3- Tính chuyển vị của e(t) khi máy chạy từ không tải sang đầy tải

Do $h_e = h_f - h_0 = 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$ và $b/a = 2$ cho nên

$$e(t) = AA_1 = \frac{h_e}{b/a} = \frac{10}{2} = 5(mm)$$

=====

Tóm tắt

.....

Bài tập

1- Theo **HÌNH 2-6 A**, hãy rút gọn sơ đồ khối này theo hướng chuyển điểm rẽ nhánh tín hiệu từ mạch chính vào khâu H_1 về trước khâu G_3 .

2- Rút gọn sơ đồ khối sau đây:

=====

Chương 3

3 Các hoạt động điều khiển cơ bản và các bộ điều khiển cơ bản

3.1 On-off

3.2 P

3.3 I

4

4 Xử lý tín hiệu tương tự

4.1 Khái niệm chung

Xử lý tín hiệu là các công việc mà ta tiến hành với tín hiệu nhằm biến đổi chúng về các dạng nhất định thích hợp với hoạt động của các phần tử khác trong hệ điều khiển. Nếu các tín hiệu này được chế biến theo luật tương tự, ta gọi công việc này là xử lý tín hiệu tương tự. Nếu công việc chế biến tín hiệu tuân theo luật số hóa, ta gọi đó là xử lý tín hiệu số hóa.

Chương này sẽ giới thiệu khái quát một số kỹ thuật xử lý tín hiệu tương tự dùng trong các hệ thống điều khiển. Sau khi xem xét chương này, bạn sẽ có được một số kiến thức về:

- Mạch cầu Wheatstone và các ứng dụng của nó trong việc đo điện trở, điện dung.
- Ứng dụng mạch cầu Wheatstone trong đo lường.
- Phân tích nguyên lý cơ bản của bộ khuếch đại thuật toán, ứng dụng bộ khuếch đại thuật toán trong việc xây dựng các mạch điều khiển, chế biến tín hiệu thông dụng...

4.2 Các nguyên lý chế biến tín hiệu tương tự.

Thiết bị cảm ứng đo lường một biến bằng cách chuyển đổi thông tin về biến đó thành thành một tín hiệu phụ thuộc trong môi trường điện, khí nén, thủy lực v.v. Những bộ biến đổi này lợi dụng những quy luật, hiện tượng có sẵn trong tự nhiên. Công việc chế biến tín hiệu còn biến đổi tín hiệu ra từ các phần tử cảm biến thành các tín hiệu thích hợp, cả về dải giá trị lẫn môi chất truyền tin, để giao diện tốt với các phần tử còn lại trong hệ thống.

Trong các phần trước ta cũng đã xem xét một số phần tử chế biến tín hiệu gió nén, thủy lực... Trong phần này ta sẽ tập trung vào các hình thức chuyển đổi tín hiệu điện. Ngoài ra mỗi thiết bị xử lý tín hiệu này chính là một phần tử cũng có hàm truyền đạt thể hiện sự liên hệ giữa tín hiệu ra với tín hiệu vào của nó. Thông thường các quá trình này cũng sẽ

được tuyến tính hoá, hoặc ngay trong quá trình thiết lập chúng, người ta cũng đã chú trọng lựa chọn các quá trình có các quan hệ vào – ra gần tuyến tính rồi.

Ta có thể phân nhóm các thiết bị chế biến tín hiệu thành một số nhóm chung như sau.

4.2.1 Thay đổi cường độ tín hiệu

Ví dụ phổ biến nhất là khuếch đại hay giảm khuếch đại cường độ tín hiệu. Ngoài ra, việc phối hợp trở kháng, đặc tính thay đổi tín hiệu theo tải, đáp ứng tần số của thiết bị cũng là những yếu tố cần xem xét trong quá trình chuyển đổi này.

4.2.2 Tuyến tính hoá

Nhà thiết kế các mạch điều khiển có rất ít các lựa chọn tuyến tính giữa đầu vào – ra của các biến. Hầu hết các quá trình chuyển đổi tín hiệu đều không tuyến tính. Ngay cả khi ta đã tuyến tính hoá chúng, chúng cũng chỉ tuyến tính trong một dải giá trị nhất định. Cách thức tuyến tính hoá hiệu quả nhất là chuyển tín hiệu đo được vào máy tính rồi sử dụng các phần mềm để chuyển đổi tín hiệu.

4.2.3 Chuyển đổi dạng tín hiệu

Do nhu cầu, ta có thể phải chuyển đổi tín hiệu từ dạng điện sang khí nén, thuỷ lực, lực, chuyển vị và ngược lại. Ngoài ra ngay trong cùng một môi trường truyền dẫn, ta cũng còn cần phải chuyển đổi dạng tín hiệu. Ví dụ, ta cần chuyển đổi điện áp thành dòng điện để truyền tín hiệu đi xa, rồi ở đầu nhận ta lại chuyển đổi tín hiệu dòng trở về điện áp để điều khiển. Lý do là điện áp phụ thuộc nhiều vào tải, còn dòng điện thì không, tuy nhiên dòng điện dễ bị khử đi do các hiện tượng đấu tắt (chạm mát). Việc chuyển đổi tín hiệu số-tương tự và tương tự-số cũng rất cần thiết trong các giao diện với máy tính trong điều khiển hiện đại.

4.2.4 Lọc và phối hợp trở kháng

Các tín hiệu nhiễu như tần số lưới, các quá trình đóng ngắt các thiết bị ... cũng có tác động không mong muốn đáng kể đến các quá trình điều khiển. Do vậy cần đến các bộ lọc thông thấp hay thông cao để khử nhiễu. Ngoài ra, việc phối hợp trở kháng giúp cho các tín hiệu vào, ra các thiết bị được chuyển đổi chính xác hơn.

4.2.5 Khái niệm nạp tải

Có một điểm cần đặc biệt lưu ý khi phân tích các mạch tương tự là hiện tượng nạp tải của một mạch điện bởi một mạch khác, khi đó nó tạo ra các lượng không chắc trong phép đo và xử lý tín hiệu. Ví dụ cụ thể là nếu ta có một **mạch hở** là một nguồn điện áp, khi đó nó có một điện áp, chẳng hạn là V_x . **Mạch hở** là một mạch mà không có gì nối vào giữa hai đầu cực ra của mạch. Khi ta đấu một điện trở R_L vào hai đầu ra của nguồn hở, nguồn này trở thành mạch kín, điện áp tại hai đầu nguồn sụt xuống một lượng, còn là V_y , $V_y < V_x$. Giá trị điện trở R_L khác nhau cho ta các lượng sụt áp khác nhau.

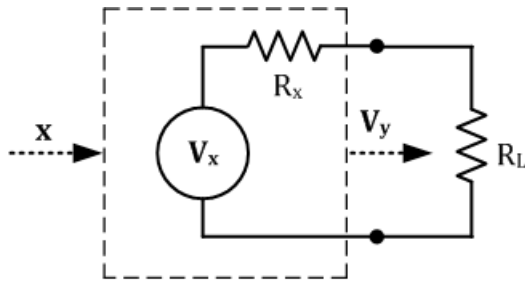
Khi phân tích các hiệu ứng nạp tải, người ta thường ứng dụng định lý Thévenin. Định lý này phát biểu rằng giữa hai cực ra của bất kỳ phần tử nào cũng có thể được xem như là một đoạn mạch tương đương gồm một nguồn điện áp được mắc nối tiếp với một trở kháng ra tương đương. Đoạn mạch như vậy thường được gọi là **mạch Thévenin tương đương**.

HÌNH 4-1 là một ví dụ cụ thể khi tính hiện tượng nạp tải. Giả sử ta có một phần tử có đầu vào là x , cho ra tín hiệu ra là điện áp V_x , và ta sẽ nối một điện trở R_L vào hai cực ra của mạch này. Khi đó, đoạn mạch này được biến đổi Thevenin như là gồm một nguồn điện V_x mắc nối tiếp với điện trở tương đương R_x (trở kháng ra). Khi điện trở ngoài R_L (tải) được mắc nối tiếp vào hai cực, một dòng điện chạy sẽ qua mạch và có sự sụt áp trên R_x . Khi đó, điện áp ra V_y khi có tải sẽ là

4-1

$$V_y = V_x \left(1 - \frac{R_x}{R_L + R_x} \right)$$

Như vậy điện áp xuất hiện ở hai đầu tải ngoài (R_L) bị giảm xuống một lượng bằng lượng sụt áp trên điện trở trong (R_x) của phần tử vừa xét, $V_y < V_x$. Tải thay đổi thì V_y thay đổi và độ sụt áp thay đổi theo.

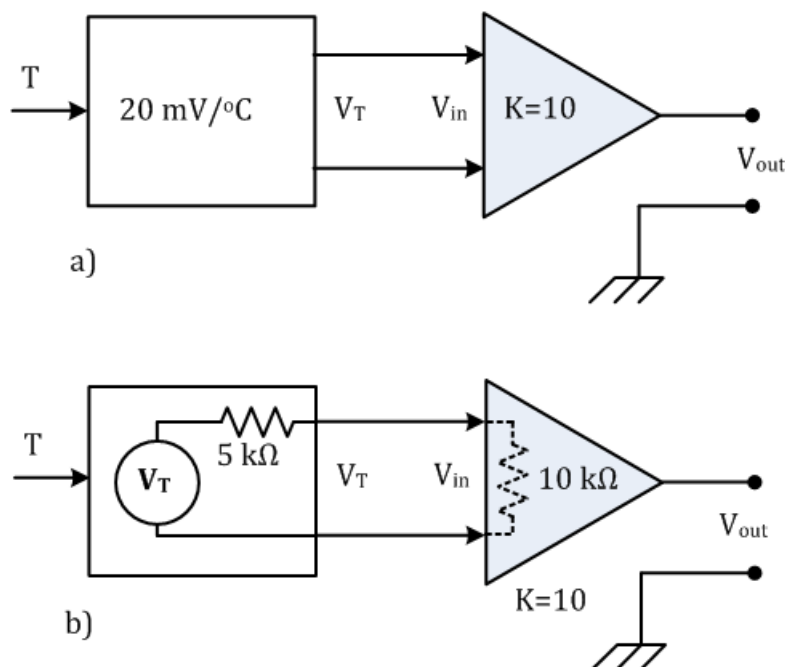


Hình 4-1: Mạch Thevenin tương đương của một cảm biến cho thấy hiện tượng nạp tải

Nhìn vào phương trình (4-1) ta thấy rằng có thể giảm bớt hiện tượng nạp tải cho phần tử này nhờ tăng R_L lên lớn hơn R_x nhiều lần, $R_L \gg R_x$.

Ví dụ 4.1

Một bộ khuếch đại thuật toán cho ra một điện áp gấp 10 lần điện áp giữa hai cực vào (V_{in}). Trở kháng đầu vào của bộ khuếch đại là $10\text{ k}\Omega$. Một cảm biến cho ra điện áp tỷ lệ với biến thiên nhiệt độ theo hàm truyền là $20\text{ mV}/^\circ\text{C}$. Cảm biến có trở kháng là $5\text{ k}\Omega$. Nếu nhiệt độ cần đo là $50\text{ }^\circ\text{C}$ thì điện áp ra bộ khuếch đại là bao nhiêu.



Hình 4-2: Nếu bỏ qua hiệu ứng nạp tải thì có thể có các sai số trăm trọng ở đầu ra của mạch và ở hệ số độ lợi (K).

Giải:

HÌNH 4-2 (A) thể hiện sơ bộ cách bố trí thiết bị này. Điện áp ra của cảm biến khi không tải xác định theo hàm truyền của nó là $V_T = (20 \text{ mV}/^\circ\text{C}) \cdot 50^\circ\text{C} = 1,0\text{V}$. Vì bộ khuếch đại lý tưởng có hàm truyền là 10, vậy điện áp ra bộ khuếch đại là $V_{out} = 10V_{in} = (10) \cdot 1,0 = 10 \text{ V}$. Nhưng giá trị này không đúng thực tế vì chưa tính đến tải.

HÌNH 4-2 (B) thể hiện sự phân tích đúng đắn mạch này. Theo đó ta thấy có sụt áp trên điện trở ra của cảm biến, do vậy điện áp thực ra khỏi cảm biến giảm và điện áp ra của bộ khuếch đại sẽ phải tính theo công thức (4-1)

$$V_{in} = V_T \left(1 - \frac{5\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega} \right)$$

Trong đó, $V_T = 1,0\text{V}$, vậy $V_{in} = 0,67\text{V}$, nên điện áp ra thực tế của bộ khuếch đại là $V_{out} = 10 \times (0,67\text{V}) = 6,7 \text{ V}$.

4.3 Các mạch thụ động.

Các mạch thụ động đã từng được dùng nhiều trong công nghiệp do tích đơn giản và thực dụng của chúng. Ngày nay các mạch thụ động thường được thay thế bằng các mạch chủ động tương đương. Tuy nhiên một số ứng dụng thực tế của các mạch thụ động vẫn còn được sử dụng, ví dụ mạch phân áp, mạch cầu Wheatstone, mạch lọc v.v. trong phần này ta chỉ xem xét một số mạch thụ động điển hình.

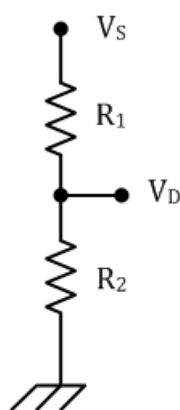
4.3.1 Mạch phân áp (Divider Circuits)

Một mạch phân áp đơn giản như trong **HÌNH 4-3** thường được dùng để biến đổi sự biến thiên điện trở thành biến thiên điện áp. Điện áp ra V_D được tính theo công thức tính sụt áp như sau

4-2

$$V_D = \frac{R_2 V_s}{R_1 + R_2}$$

Trong đó V_s = Điện áp cấp vào; R_1 và R_2 = các phần điện trở. Cả R_1 hoặc R_2 đều có thể là điện trở cảm biến có điện trở biến thiên theo một đại lượng cần đo nào đó.



Hình 4-3: Mạch phân áp đơn giản dùng để biến đổi sự biến thiên điện trở thành biến thiên điện áp

Khi sử dụng mạch phân áp cần phải lưu ý đến những điểm sau:

1. Sự biến thiên của V_D theo R_1 hoặc R_2 là không tuyến tính. Ngay cả khi điện trở đo biến thiên tỷ lệ với đại lượng được đo thì điện áp ra cũng không biến thiên tuyến tính theo điện trở.
2. Trở kháng đầu ra hiệu dụng của mạch này là sự đấu nối song song của hai điện trở R_1 và R_2 . Trở kháng này không lớn, do vậy phải cân nhắc đến sự nạp tải.
3. Dòng điện sẽ chạy thường xuyên qua cả hai điện trở, do vậy công suất điện sẽ bị tiêu tốn trên cả hai, gồm cả cảm biến. Do vậy cần xem xét đến công suất định mức của cả hai: điện trở và cảm biến.
4. Sự tiếp xúc giữa lưỡi gạt và điện trở sẽ sinh ra muội bám, gây ra điện trở bổ sung.
5. Thang đo không liên tục vì phụ thuộc vào tỷ số điện trở cho một vòng dây quấn.

Ví dụ 4.2

Giả sử mạch phân áp trên **HÌNH 4-3** có $R_1 = 10,0 \text{ k}\Omega$ và $V_s = 5,00\text{V}$. Nếu R_2 là biến trở cảm biến có điện trở biến thiên từ $4,00 \text{ k}\Omega$ - $12,0 \text{ k}\Omega$ khi đại lượng được đo biến thiên trong một dải tương ứng. Hãy xác định:

- Điện áp V_D nhỏ nhất và lớn nhất.
- Dải biến thiên của trở kháng đầu ra.
- Dải công suất tiêu tán trên cảm biến R_2 .

Giải:

- a) Theo công thức **4-2**, khi $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$ ta có

$$V_D = \frac{(5\text{V})(4\text{k}\Omega)}{10\text{k}\Omega + 4\text{k}\Omega} = 1.43\text{V}$$

Khi $R_2 = 12 \text{ k}\Omega$ ta có

$$V_D = \frac{(5\text{V})(12\text{k}\Omega)}{10\text{k}\Omega + 12\text{k}\Omega} = 2.73\text{V}$$

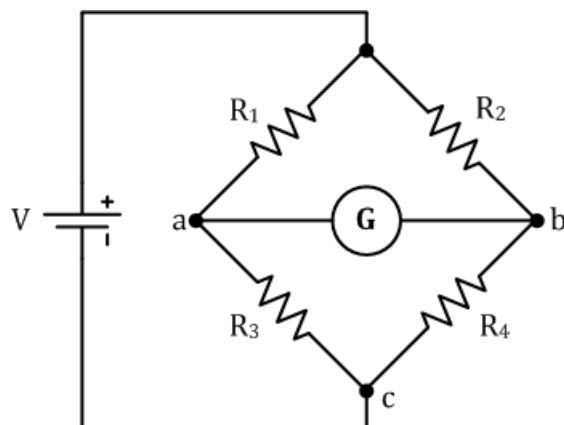
Vậy điện áp biến thiên từ 1.43V tới 2.73V .

- Dải biến thiên trở kháng đầu ra xác định bằng cách lấy giá trị của R_1 song song với R_2 và thay $R_{2\min}$ vào phép tính ta có trở kháng nhỏ nhất, còn thay $R_{2\max}$ vào, ta có trở kháng ra lớn nhất. Vậy kết quả là trở kháng biến thiên từ min là $2.86 \text{ k}\Omega$ tới max là $5.45 \text{ k}\Omega$.
- Công suất tiêu tán qua cảm biến này xác định theo công thức $P(W) = V^2/R_2$, thế $R_{2\min}$ và $R_{2\max}$ vào ta có được công suất tiêu tán từ 0.51 tới 0.62mW .

4.3.2 Cầu Wheatstone (Bridge)

Các mạch cầu thường được dùng để chuyển đổi những biến thiên trở kháng thành biến thiên điện áp. Một trong những lợi thế của mạch cầu khi được dùng như vừa nêu là mạch có thể được thiết kế sao cho điện áp được tạo ra sẽ biến thiên quanh giá trị không. Có nghĩa là việc khuếch đại có thể được dùng để tăng mức điện áp đối với độ nhạy cảm cao với sự biến thiên của trở kháng. Ứng dụng khác của mạch cầu là để đo lường tính chính xác một trở kháng.

4.3.2.1 Cầu Wheatstone dòng 1 chiều (DC)



Hình 4-4: Một mạch cầu Wheatstone DC cơ bản

Mạch cầu đơn giản nhất nhưng cũng phổ biến nhất là mạch cầu DC wheatstone như vẽ ở **HÌNH 4-4**. Ta có thể thấy giữa hai đầu nguồn cấp là hai nhánh cầu, R_1 nối tiếp R_3 và R_2 nối tiếp R_4 . Mạch này được dùng trong các ứng dụng chế biến tín hiệu có một bộ cảm biến thay đổi trở kháng theo sự thay đổi của biến quá trình. Rất nhiều kiểu hoán cải từ mạch cầu cơ bản này được dùng cho các ứng dụng cụ thể khác nhau. Ở **HÌNH 4-4**, vật có kí hiệu là G là phần tử dò điện áp, được dùng để so sánh điện thế giữa các điểm a và b của mạch. Trong hầu hết các ứng dụng hiện đại, bộ dò điện áp là một bộ khuếch đại có trở kháng đầu vào rất cao. Trong một số trường hợp một von kế cực nhạy có trở kháng khá nhỏ được dùng trong mạch, đặc biệt là với mục đích định chuẩn và làm dụng cụ đo các đại lượng nhỏ.

Trong phân tích đầu tiên này, ta giả thiết là trở kháng của phần tử dò là vô cùng, nghĩa là ta có một mạch hở.

Trong trường hợp này, lượng chênh lệch điện thế, ΔV giữa các điểm a và b đơn giản là:

4-3

$$\Delta V = V_a - V_b$$

Trong đó: V_a là điện thế tại điểm a so với c, V_b là điện thế tại điểm b so với c.

Các giá trị V_a , V_b bây giờ có thể được tìm ra với lưu ý rằng V_a chính là phần điện áp nguồn cấp phân chia ra giữa R_1 và R_3

4-4

$$V_a = \frac{VR_3}{R_1 + R_3}$$

Tương tự, V_b là phần điện áp sụt trên R_4

4-5

$$V_b = \frac{VR_4}{R_2 + R_4}$$

Trong đó V là điện áp nguồn cấp.

Nếu bây giờ ta kết hợp các phương trình (4-3), (4-4) và (4-5), thì lượng chênh lệch điện áp có thể được viết là

4-6

$$\Delta V = V_a - V_b = \frac{VR_3}{R_1 + R_3} - \frac{VR_4}{R_2 + R_4}$$

Sau khi biến đổi, biểu thức này được rút gọn thành

4-7

$$\Delta V = V \frac{R_3 R_2 - R_1 R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}$$

Phương trình (4-7) cho biết độ chênh lệch điện thế qua phần tử dò là hàm của điện áp nguồn cấp và giá trị điện trở ra sao. Vì có một hiệu số ở tử số của phương trình (4-7), nên rõ ràng là sẽ có một kết hợp của các điện trở để cho tử số bằng không, và do vậy điện áp chênh lệch giữa hai đầu của phần tử dò (G) bằng không. Đó chính là một điểm không (null). Rõ ràng là sự kết hợp này được xác định từ phương trình (4-7) có quan hệ

4-8

$$R_3 R_2 = R_1 R_4$$

Phương trình (4-8) chỉ ra rằng khi nào một cầu wheatstone được lắp ráp và các điện trở được chỉnh để cho phần tử dò ở điểm không, thì các giá trị điện trở phải thoả mãn phương trình cân bằng trên (4-8). Bất chấp điện áp nguồn dao động hoặc thay đổi, điểm không vẫn được duy trì. Các phương trình (4-7) và (4-8) giải thích sự ứng dụng của các cầu Wheatstone trong các ứng dụng điều khiển quá trình khi có sử dụng các phần tử dò có trở kháng vào cao.

Ví dụ (4-3)

Nếu một cầu wheatstone như ở hình (HÌNH 4-4) có điểm không khi $R_1=1000\Omega$, $R_2=842\Omega$ và $R_3=500\Omega$, hãy tìm giá trị R_4 .

Giải:

Vì cầu đang ở điểm không, nên ta tìm R_4 khi dùng phương trình (4-8):

$$R_3 R_2 = R_1 R_4$$

$$R_4 = \frac{R_3 R_2}{R_1} = \frac{(500\Omega)(842\Omega)}{1000\Omega} = 421\Omega$$

Ví dụ (4-4)

Các điện trở trong một mạch cầu được cho trước với $R_1=R_2=R_3=120\Omega$, $R_4=121\Omega$. Nếu điện áp nguồn là 10.0 vôn, hãy tìm độ chênh lệch điện áp.

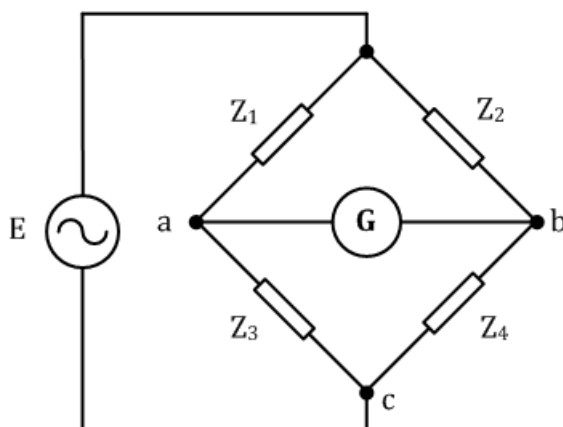
Giải:

Giả sử trở kháng phần tử dò rất cao, ta tìm độ chênh điện áp theo

$$\Delta V = V \frac{R_3 R_2 - R_1 R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}$$

$$\Delta V = (10V) \frac{(120\Omega)(120\Omega) - (120\Omega)(121\Omega)}{(120\Omega + 120\Omega)(120\Omega + 121\Omega)} = -20.8(mV)$$

4.3.2.2 Cầu Wheatstone dùng dòng xoay chiều (AC)



Hình 4-5: Mạch cầu xoay chiều AC

Khái niệm về mạch cầu Wheatstone ta vừa xem xét có thể được ứng dụng cả với trở kháng giống như với điện trở. Khi đó, cầu được thể hiện như trong **HÌNH 4-5**, và có nguồn xoay chiều kích thích, thông thường là nguồn tín hiệu điện áp hình sin. Cách phân tích mạch cầu AC tương tự như với mạch cầu DC, với trở kháng (Z) thay cho các trở (R). Điện áp độ lệch trong cầu được tính như sau

4-9

$$\Delta E = E \frac{Z_3 Z_2 - Z_1 Z_4}{(Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)} = \text{Điện áp lệch AC}$$

Trong đó, E = điện áp nguồn kích thích hình sin, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 là các trở kháng của cầu.

Cầu cân bằng thì $\Delta E = 0$. Vậy từ phương trình (4-9) ta có điều kiện trở kháng sau đây phải thỏa mãn

4-10

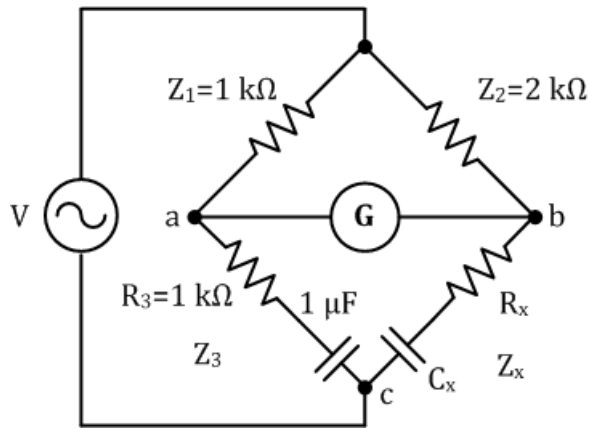
$$Z_3 Z_2 = Z_1 Z_4$$

Điều kiện này tương tự như điều kiện (4-8) cho cầu điện trở DC.

Có một vài lưu ý khi sử dụng mạch cầu AC đó là điều kiện “cân bằng” (4-10) có thể bị nhạy với pha của tín hiệu kích thích. Nếu điều đó xảy ra, ta phải tạo được một điểm “cân bằng” cho cả tín hiệu đồng pha lẫn tín hiệu lệch pha 90° trước khi áp dụng công thức (4-10).

Ví dụ (4-5)

Một cầu AC sử dụng trở kháng như trong **HÌNH 4-6**. Hãy tìm giá trị của R_x và C_x khi cầu cân bằng (null).



Hình 4-6: Mạch cầu ac cho ví dụ (4-5)

Bài giải

Vì cầu cân bằng, cho nên ta có

$$Z_3 Z_2 = Z_1 Z_x$$

Hoặc

$$R_2 \left(R_3 - \frac{j}{\omega C} \right) = R_1 \left(R_x - \frac{j}{\omega C_x} \right)$$

4-11

$$R_2 R_3 - j \frac{R_2}{\omega C} = R_1 R_x - j \frac{R_1}{\omega C_x}$$

Phần thực và phần ảo phải thỏa mãn độc lập điều kiện cân bằng (**4-10**), do vậy

$$R_x - \frac{R_2 R_3}{R_1} = 0 \rightarrow R_x = \frac{(2 \text{ k}\Omega)(1 \text{ k}\Omega)}{1 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ k}\Omega$$

Và

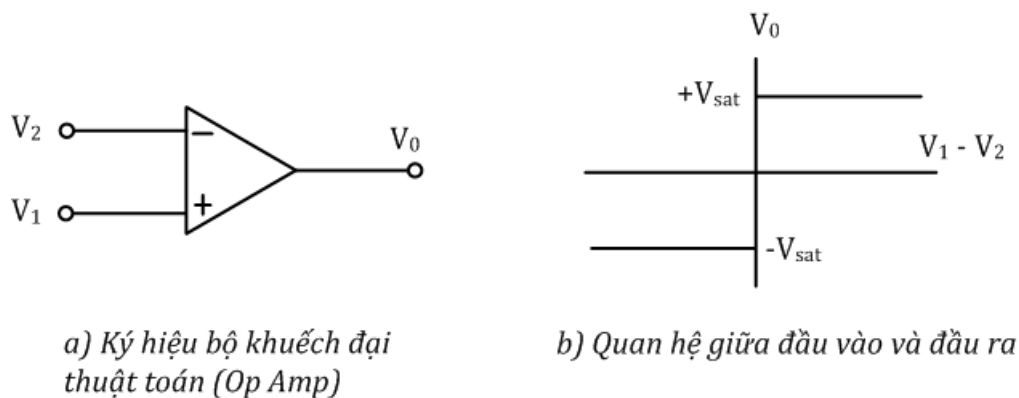
$$C_x = C \frac{R_1}{R_2} \rightarrow C_x = (1 \mu F) \frac{1 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega} = 0.5 \mu F$$

4.4 Mạch khuếch đại thuật toán (Operational Amplifier- Op Amp)

Mạch khuếch đại thuật toán (Op Amp) là một mạch tổ hợp có chức năng khuếch đại và xử lý tín hiệu điện, dùng rộng rãi trong công nghệ điều khiển các quá trình công nghiệp. Có rất nhiều nhà sản xuất khác nhau, nhưng các mạch thuật toán đều có một số thuộc tính hoạt động cơ bản tương tự nhau, được dùng chung trong thiết kế các mạch điều khiển.

4.4.1 Tính chất của bộ khuếch đại thuật toán

Bộ khuếch đại thuật toán đơn lẻ cực kỳ đơn giản và là một bộ khuếch đại điện tử vô dụng. **HÌNH 4-7 (A)** là ký hiệu quy ước của nó, với hai cực vào được xếp là cực không đảo (+) và cực đảo (-), và một cực ra. Quan hệ giữa đầu ra với đầu vào của nó cũng rất đơn giản, ta sẽ mô tả nó như là mạch lý tưởng ngay sau đây.



a) Ký hiệu bộ khuếch đại thuật toán (Op Amp)

b) Quan hệ giữa đầu vào và đầu ra

Hình 4-7: Ký hiệu và đặc tính lý tưởng của bộ khuếch đại thuật toán

4.4.2 Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng.

Để mô tả hoạt động của một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, ta ký hiệu điện áp vào cực không đảo là V_1 , còn vào cực đảo là V_2 , điện áp tại cực ra là V_0 . Lý tưởng mà nói, nếu $V_1 - V_2$ có giá trị dương ($V_1 > V_2$), thì V_0 bão hoà dương. Nếu $V_1 - V_2$ âm ($V_2 > V_1$), thì V_0 bão hoà âm như mô tả trên **HÌNH 4-7 (b)**. Lưu ý rằng điện áp tại cực đảo *dương hơn* điện áp tại cực vào không đảo thì điện áp ra *bão hoà âm*. Bộ khuếch đại lý tưởng này có hệ số khuếch đại không xác định vì với nhiều độ lệch điện áp giữa hai cực vào V_1 và V_2 khác nhau ta vẫn có cùng một giá trị điện áp ra bão hoà.

Các tính chất khác của bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng là:

- Có trở kháng cao vô cùng giữa hai cực vào.
- Trở kháng ra bằng không.

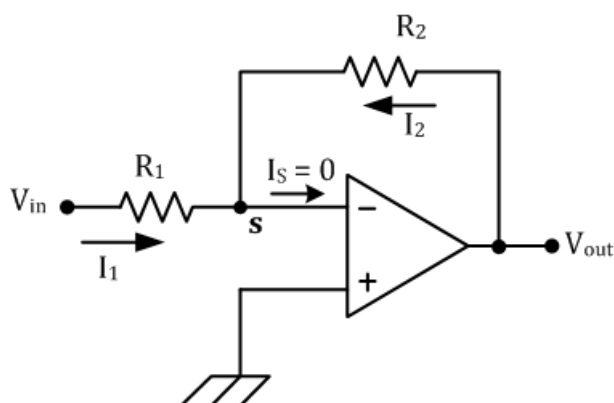
Như vậy, căn bản mà nói, bộ khuếch đại thuật toán là một thiết bị chỉ có hai trạng thái đầu ra: $+V_{sat}$ và $-V_{sat}$. Trong thực tế, thiết bị này luôn được dùng với một mạch khuếch đại.

Mạch khuếch đại này cho phép ta có rất nhiều quan hệ lý thú giữa điện áp ra với điện áp vào của nó.

Bộ khuếch đại đảo lý tưởng dùng bộ khuếch đại thuật toán

Để xét xem bộ khuếch đại thuật toán được dùng ra sao, ta xem mạch trên **HÌNH 4-8**. Điện trở R_2 được dùng để cấp tín hiệu phản hồi về cực đảo của bộ khuếch đại, còn R_1 nối thông điện áp vào (V_{in}) tới điểm nối chung (s). Điểm nối chung này được gọi là điểm cộng (so sánh) tín hiệu. Ta thấy, nếu không có phản hồi và cực vào (+) nối đất, điện áp ra sẽ bão hoà âm khi $V_{in} > 0$ và điện áp ra sẽ bão hoà dương khi $V_{in} < 0$. Khi có phản hồi, điện áp ra sẽ được hiệu chỉnh đến giá trị sao cho:

- a- Điện áp tại điểm công tín hiệu bằng điện áp vào cực (+) của bộ khuếch đại, khi đó bằng không.
- b- Không có dòng điện chạy qua giữa các cực vào của bộ khuếch đại, vì giả định là trở kháng giữa chúng lớn vô cùng.



Hình 4-8: Bộ khuếch đại đảo dùng mạch khuếch đại thuật toán

Khi đó, tổng các dòng điện tại điểm công tín hiệu phải bằng không

4-12

$$I_1 + I_2 = 0$$

trong đó, I_1 = dòng qua trở R_1 , I_2 = dòng qua trở R_2

Vì điện áp tại điểm công tín hiệu được giả định là bằng không, theo định luật Ôm ta có

4-13

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = 0$$

Từ phương trình (4-13), ta có thể viết đáp ứng ra của bộ khuếch đại như sau

4-14

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

Dưới dạng ảnh Laplace

4-15

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -K_p; \quad K_p = \frac{R_2}{R_1}$$

Vậy, mạch như trong **HÌNH 4-8** là một **bộ khuếch đại đảo** với độ lợi là R_2/R_1 có pha dịch đi 180° (đảo) so với tín hiệu vào. Thiết bị này có thể làm bộ **giảm khuếch đại** nếu ta chọn $R_2 < R_1$.

Ví dụ này gợi ý cho chúng ta hai quy tắc sau có thể áp dụng để phân tích các hoạt động lý tưởng của bất kỳ mạch khuếch đại thuật toán nào. Trong hầu hết các trường hợp, phân tích như vậy sẽ cho ta hàm truyền của mạch với sai số rất nhỏ.

Hai quy tắc phân tích mạch khuếch đại thuật toán:

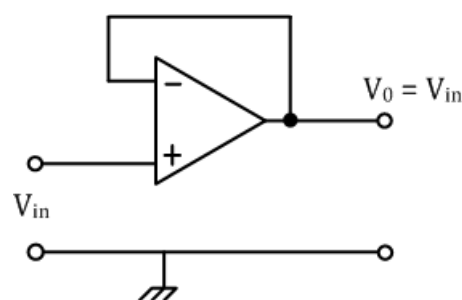
Quy tắc 1: Giả định rằng không có dòng điện chạy qua các cực vào của bộ khuếch đại thuật toán, đó là các cực đảo và cực không đảo.

Quy tắc 2: Giả định rằng không có lượng chênh lệch điện áp nào giữa các cực vào của bộ khuếch đại, nghĩa là $V_+ = V_-$.

Các bộ khuếch đại thuật toán thực tế có các hiệu ứng không lý tưởng như trở kháng giữa các cực vào là hữu hạn, điện áp ra không đáp ứng tức thì theo điện áp vào, độ lợi hữu hạn giữa đầu ra với đầu vào, trở kháng đầu ra khác không v.v. Tuy nhiên, trong hầu hết các ứng dụng hiện đại, các yếu tố này có thể bỏ qua khi thiết kế các mạch khuếch đại thuật toán.

4.4.3 Một số ứng dụng của các bộ khuếch đại thuật toán

4.4.3.1 Bộ khuếch đại lặp điện áp

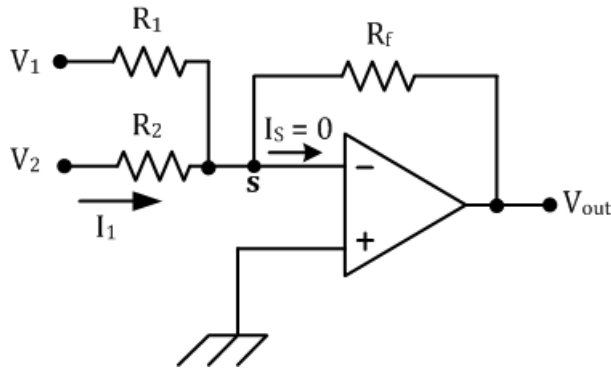


Hình 4-9: Bộ khuếch đại thuật toán lặp tín hiệu điện áp

Bộ khuếch đại thuật toán lặp điện áp có độ lợi là 1 đơn vị nhưng trở kháng đầu vào rất cao. Trở kháng đầu vào cao cần thiết cả cho chính bộ khuếch đại thuật toán, nó cần cỡ hơn

100 MOhm. Điện áp ra biến thiên theo điện áp vào, trong dải từ điện áp ra bão hòa âm đến điện áp ra bão hòa dương. Dòng điện ra được giới hạn bởi dòng ngắn mạch của bộ khuếch đại thuật toán, còn trở kháng ra thường nhỏ hơn 100 Ohm. Độ lợi bằng 1 nên ta có thể dùng nó như là một bộ chuyển đổi trở kháng, từ trở kháng đầu vào rất cao thành ra có trở kháng đầu ra thấp, trong khi điện áp không đổi.

4.4.3.2 Bộ khuếch đại thuật toán đảo cộng tín hiệu (the op amp summing amplifier)



Hình 4-10: Bộ khuếch đại thuật toán đảo cộng tín hiệu (op amp summing amplifier)

Một ứng dụng khá phổ biến của mạch khuếch đại thuật toán là để cộng hoặc trừ hai hoặc nhiều tín hiệu tại đầu vào và khuếch đại kết quả đó lên. **HÌNH 4-10** là một ví dụ bộ khuếch đại thuật toán đảo, cộng hai tín hiệu đầu vào V_1 và V_2 . Khi này ta có thể coi đáp ứng đầu ra V_{out} là cộng gộp của hai đáp ứng riêng rẽ của hệ với từng đầu vào riêng rẽ, V_1 và V_2 .

$$V_{out 1} = -\frac{R_f}{R_1} V_1$$

$$V_{out 2} = -\frac{R_f}{R_1} V_2$$

Vậy hàm truyền của hệ là

4-16

$$V_{out} = V_{out 1} + V_{out 2} = -\frac{R_f}{R_1} (V_1 + V_2)$$

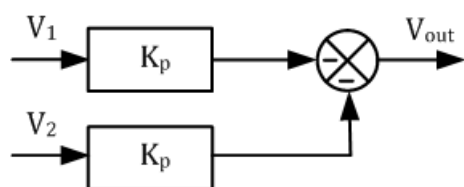
Dưới dạng ảnh Laplace

$$V_{out 1}(s) = -K_p V_1(s); \text{ với } K_p = \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_{out 2}(s) = -K_p V_2(s); \text{ với } K_p = \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_{out}(s) = V_{out 1}(s) + V_{out 2}(s)$$

Sơ đồ khối của hệ có dạng như trên HÌNH...



Hình 4-11: Sơ đồ khối của bộ khuếch đại thuật toán đảo cộng [HÌNH 4-10](#)

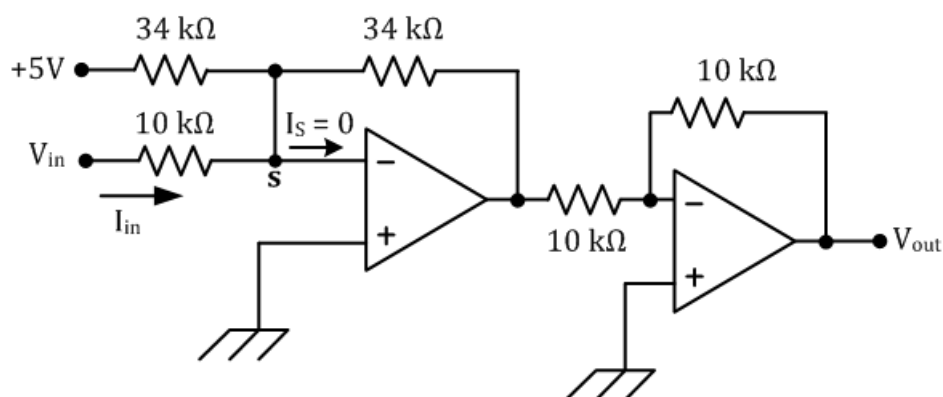
Ví dụ (4-6)

Hãy xây dựng một mạch khuếch đại thuật toán để tạo ra một điện áp ra có quan hệ với điện áp vào theo công thức sau

$$V_{out} = 3.4V_{in} + 5$$

Bài giải

Có nhiều cách xây dựng sơ đồ mạch khác nhau. Ta có thể dùng một bộ khuếch đại cộng tín hiệu với V_{in} ở một đầu vào, và 5V ở đầu vào còn lại. Độ lợi phải chọn là 3.4 và 1 cho hai nhánh tương ứng. Xem [HÌNH 4-12](#). Trong đó còn bao gồm một bộ đảo tín hiệu, có độ lợi (-1), nối kế tiếp sau bộ khuếch đại cộng đảo. Do vậy, tín hiệu ra cuối cùng là không đảo. Các điện trở chỉ phải chịu dòng cỡ (mA) là được.



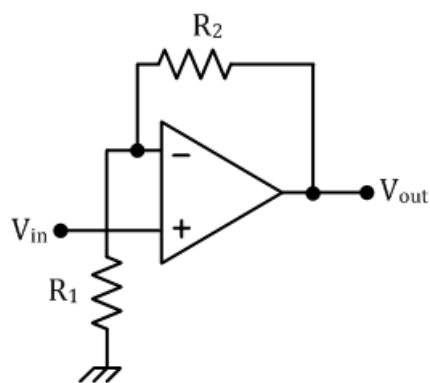
Hình 4-12: Minh họa cho ví dụ (4-6)

4.4.3.3 Bộ khuếch đại thuật toán không đảo

Bộ khuếch đại không đảo có thể được xây dựng từ bộ khuếch đại thuật toán như trên [HÌNH 4-13](#). Ta xác định độ lợi của của hệ bằng cách cộng các dòng điện tín hiệu vào tại điểm cộng (s), với thực tế là điện áp tại điểm công tín hiệu (s) cũng là V_{in} sao cho không có sự chênh lệch điện áp giữa các cực vào của bộ khuếch đại thuật toán (quy tắc 2).

$$I_1 + I_2 = 0$$

Trong đó, I_1 là dòng qua R_1 , I_2 là dòng qua R_2 . Sử dụng định luật Ohm ta có



Hình 4-13: Bộ khuếch đại thuật toán không đảo

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{in} - V_{out}}{R_2} = 0$$

Do vậy

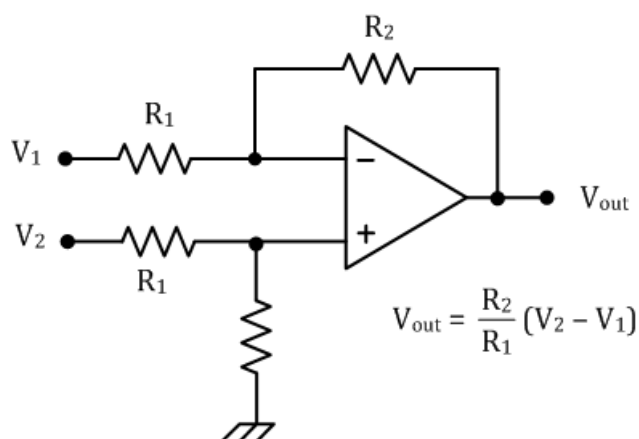
4-17

$$V_{out} = \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] V_{in}$$

4-18

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = K_p; \quad K_p = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

4.4.3.4 Bộ khuếch đại thuật toán độ lệch



Hình 4-14: Bộ khuếch đại thuật toán độ lệch

Ta có thể coi đây gồm hai bộ khuếch đại, khuếch đại 2 tín hiệu vào riêng biệt, kết quả chung là cộng gộp hai kết quả của từng V_{out} đối với từng đầu vào V_{in} riêng rẽ, theo luật xếp chồng của các hệ tuyến tính.

4-19

$$V_{out} = V_{out1} + V_{out2} = \frac{R_f}{R_1} (V_2 - V_1)$$

4.4.3.5 Bộ khuếch đại thuật toán tích phân (I)

HÌNH 4-15 là cấu hình của một bộ tích phân dùng bộ khuếch đại thuật toán, trong đó mạch phản hồi có 1 tụ điện (C). Dùng quy tắc phân tích mạch lý tưởng và các định luật cơ bản về dòng đi qua điện trở và tụ điện, ta có dòng tổng vào điểm cộng (s) là

4-20

$$\frac{V_{in}}{R} + C \frac{dV_{out}}{dt} = 0$$

Do vậy

4-21

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt$$

Dưới dạng ảnh Laplace, áp dụng định lý tích phân thực,

$$V_{out}(s) = -\frac{1}{RCs} V_{in}(s);$$

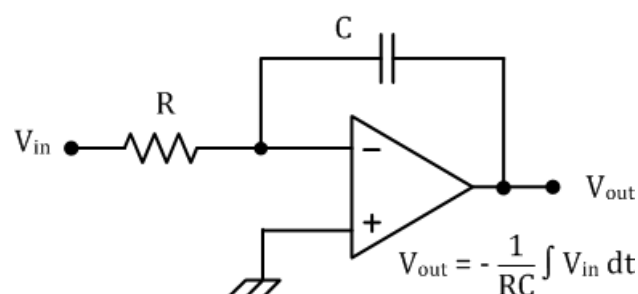
4-22

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -\frac{1}{RCs} = -\frac{1}{T_i s}; \text{ với } T_i = RC$$

Nếu $V_{in} = K$ thì

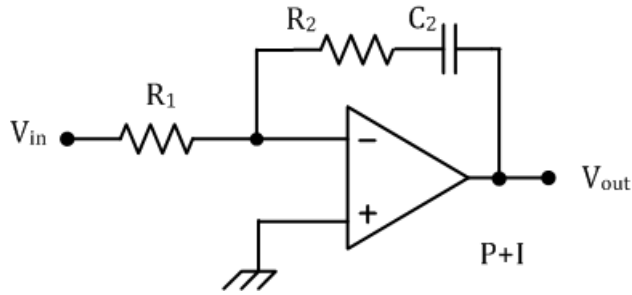
$$V_{out} = -\frac{K}{RC} t$$

Đó là một hàm dốc.



Hình 4-15: Bộ khuếch đại thuật toán tích phân (I)

4.4.3.6 Bộ khuếch đại thuật toán tỷ lệ cộng tích phân (PI)



Hình 4-16: Bộ khuếch đại thuật toán tỷ lệ cộng tích phân (PI)

Trong sơ đồ này, ta phải tìm trở kháng tương đương của đoạn mạch có R_2 mắc nối tiếp với tụ C_2 . Điện áp sụt trên đoạn mạch này bằng $(V_{out} - 0)$, là tổng của sụt áp trên trở R_2 và của điện áp thành lập trên tụ. Theo quy tắc cơ bản trong mạch điện có tụ ta có

4-23

$$V_{out} = I_2 R_2 + \frac{1}{C_2} \int I_2 dt$$

Lấy ảnh Laplace biểu thức này, cũng sử dụng định lý tích phân thực ta có

$$V_{out}(s) = I_2(s) R_2 + \frac{1}{C_2 s} I_2(s)$$

4-24

$$\frac{V_{out}(s)}{I_2(s)} = Z_2(s) = R_2 + \frac{1}{C_2 s}$$

Do vậy

4-25

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -\frac{Z_2(s)}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2 C_2 s}\right)$$

4.4.3.7 Tổng hợp một số ứng dụng cơ bản của bộ khuếch đại thuật toán

Trong các hàm và sơ đồ sau, ta có thể mắc nối tiếp một bộ khuếch đại thuật toán đảo nữa (có R_3 và R_4) ngay sau mạch khuếch đại thuật toán hoạt động điều khiển cơ bản để có được kết quả cuối cùng là hàm không đảo.

Bảng 4-1: Tổng hợp một số ứng dụng tạo hoạt động điều khiển cơ bản dựa trên các bộ khuếch đại thuật toán

S T T	Hoạt động điều khiển	Hàm truyền $G(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$	Mạch khuếch đại thuật toán

1	P	$\frac{R_4 R_2}{R_3 R_1}$	
2	I	$\frac{R_4 R_2}{R_3 R_1 C_2 s}$	
3	PD	$\frac{R_4 R_2}{R_3 R_1} (R_1 C_1 s + 1)$	
4	PI	$\frac{R_4 R_2}{R_3 R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2 C_2 s}\right)$	
5	PID	$\frac{R_4 R_2 (R_1 C_1 s + 1)(R_2 C_2 s + 1)}{R_3 R_1 R_2 C_2 s}$ Hoặc	
	PID	Hoặc $\frac{R_4 R_2}{R_3 R_1} \left(\frac{(R_1 C_1 + R_2 C_2)}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2 s} + R_1 C_1 s \right)$	

Tóm tắt

Trong chương này ta đã xem xét các cách thức cơ bản để xử lý tín hiệu tương tự, bao gồm:

- 1- Các mạch thụ động như phân áp, cầu Wheatstone điện trở (DC), cầu Wheatstone trở kháng (AC), là các ứng dụng khá phổ biến trong đo lường các đại lượng được điều khiển, để đặt các giá trị cho tín hiệu trong mạch điều khiển.
- 2- Các mạch chủ động mà ta đã xét chủ yếu dựa trên các nhân là các bộ khuếch đại thuật toán.
- 3- Đã giới thiệu phương pháp phân tích và xây dựng hàm truyền của bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, đảo lý tưởng, không đảo.
- 4- Đã nghiên cứu phương pháp phân tích và xây dựng các hoạt động điều khiển cơ bản dựa trên các bộ khuếch đại thuật toán. Các bộ điều khiển dạng này ngày càng phổ biến trong điều khiển công nghiệp, kể cả trong các mạch điều khiển điện tử số và máy tính.

Các nghiên cứu trên là căn cứ để ta có thể hiểu được các ứng dụng trong điều khiển điện tử số các đại lượng cơ bản của hệ động lực tàu thủy, như hệ điều khiển vòng quay động cơ diesel, tua bin hơi, tua bin khí; các mạch điều khiển từ xa động cơ mà chúng ta sẽ xem xét đến ở phần 2 của tài liệu này.

Câu hỏi ôn tập

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Bài tập

- 1- Theo **Bảng 4-1**, mục (3), hãy thực hiện chi tiết các bước để xây dựng được hàm truyền kết quả đã cho ứng với hình vẽ của bộ điều khiển (PD) cho trước tương ứng.
- 2- Theo **Bảng 4-1**, mục (5), hãy thực hiện chi tiết các bước để xây dựng được hàm truyền kết quả đã cho ứng với hình vẽ của bộ điều khiển (PID) cho trước tương ứng.
- 3-