

# THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN VÀ MẠCH PHÂN LY ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG NHIỀU BIẾN TRONG ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH DESIGNING MULTIVARIABLE CONTROLLER INTERACTION AND LOOP DECOUPLING

TS. HOÀNG XUÂN BÌNH

Khoa Điện - Điện tử tàu biển, Trường ĐHHH

## Tóm tắt:

Bài viết về hệ thống điều khiển nhiều biến phổ biến trong thực tế và thiết kế điều khiển cho hệ thống điều khiển, trình tự thực hiện khi phân ly điều khiển cho hệ MIMO bằng mô phỏng.

## Abstract:

This writing is about the multivariable controller widely used and designing controller for the controlling system.

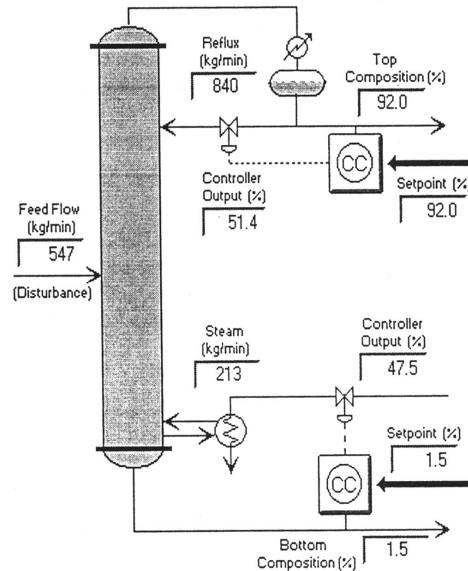
## 1. Đặt vấn đề

Điều khiển quá trình là một lĩnh vực ứng dụng quan trọng của kỹ thuật điều khiển trong các ngành công nghiệp năng lượng và hoá chất. *Quá trình* được hiểu là một trình tự diễn biến vật lý, hoá học hoặc sinh học trong đó vật chất, năng lượng hoặc thông tin được biến đổi, vận chuyển hoặc lưu trữ [2, 3]. *Quá trình công nghệ* là những quá trình liên quan đến biến đổi vận chuyển và lưu trữ vật chất và năng lượng nằm trong một dây chuyền công nghệ hoặc trong một nhà máy. Một quá trình công nghệ có thể đơn giản như quá trình cấp liệu, trao đổi nhiệt..., nhưng cũng có thể phức tạp hơn như một tổ hợp lò phản ứng, tháp chưng luyện, tổ hợp lò hơi turbin. Trạng thái hoạt động và diễn biến quá trình thể hiện qua các biến quá trình bao gồm:

- Biến vào là một đại lượng hoặc một điều kiện phản ánh tác động bên ngoài vào quá trình.
- Biến ra là một đại lượng hoặc một điều kiện thể hiện tác động của quá trình ra bên ngoài.

Nhìn từ quan điểm lý thuyết hệ thống, các biến vào thể hiện nguyên nhân, trong khi các biến ra thể hiện kết quả. Bên cạnh biến vào/ra nhiều khi chúng ta cũng cần quan tâm đến biến trạng thái, các trạng thái mang thông tin về trạng thái bên trong quá trình. Trong một quá trình công nghệ thì không phải biến vào nào cũng có thể can thiệp được và không phải biến ra nào cũng cần điều khiển. Các quá trình công nghệ có quá trình đơn biến và quá trình đa biến, ở đây ta nêu ra một số quá trình đặc trưng tổng quát để tìm các giải pháp điều khiển. Trên hình 1, biểu diễn quá trình công nghệ thực hiện bằng tháp chưng luyện.

Trên sơ đồ hình 1, là tháp chưng luyện nguyên liệu đầu vào bằng băng gia nhiệt để thu hai sản phẩm. Cửa ra ở đỉnh tháp là sản phẩm yêu cầu phải làm lạnh để ngưng tụ, còn cửa ra ở đáy tháp là sản phẩm cần gia nhiệt.

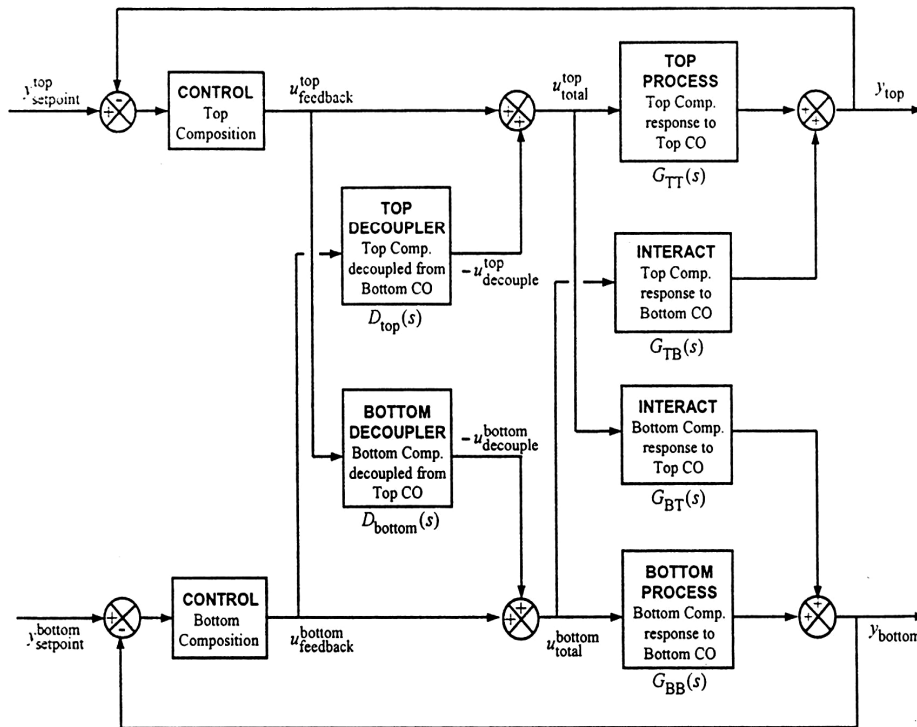


Hình 1- Mô hình điều khiển tháp chưng luyện thực hiện bằng nhiều mạch vòng điều khiển

Để đạt được sản phẩm ở đầu ra đỉnh tháp mong muốn, bộ điều khiển ở đỉnh tháp phải điều khiển lưu lượng ngược để điều chỉnh sản phẩm thoát ra ở đỉnh. Bộ điều khiển ở đáy điều chỉnh lưu lượng hơi chưng cất cho quá trình đỉnh và để điều chỉnh chất thoát ra ở đáy. Với hai biến cần điều khiển và hai biến đo từ quá trình trên ta có hệ hai đầu vào hai đầu ra (MIMO $2 \times 2$ ).

## 2. Cấu trúc điều khiển phân ly hệ thống

Trong điều khiển quá trình bộ điều khiển phân ly dùng các phần tử Feedforward được thiết kế để giảm sự tương tác trong hệ thống MIMO. Sự khác nhau duy nhất giữa một phần tử Feedforward và bộ phân ly là nhiều mà bộ phân ly loại trừ tác động của các vòng điều khiển khác nhau lên quá trình[1]. Tháp chưng cất trên hình 1, ta thấy nhiều chéo tác động lên quá trình tháp là luồng hơi nóng được tạo ra do sự điều khiển ở đáy tháp. Đồng thời nhiều chéo tác động xuống quá trình ở đáy tháp là lưu chất lỏng lạnh được tạo ra do sự điều khiển ở đỉnh tháp. Sơ đồ cấu trúc các mạch vòng phân ly điều khiển được đề xuất như hình 2.



Hình 2- Sơ đồ cấu trúc vòng điều khiển phân ly cho tháp chưng luyện.

## 3. Tổng hợp bộ điều khiển phân ly

Nếu quan niệm bộ điều khiển phân ly cũng giống như một phần tử Feedforward, nên cấu tạo của một bộ điều khiển phân ly gồm một mô hình quá trình có dạng SOPDT và một mô hình nhiễu chéo. Mô hình nhiễu chéo nhận tín hiệu của bộ điều khiển chéo (Bộ điều khiển của vòng gây ra tín hiệu nhiễu) tiên đoán sự tác động của nó vào lúc nào và mức độ tác động đến biến quá trình. Với sự tác động của nhiễu loại này (nhiễu chéo) mô hình quá trình sẽ phải tính toán lại một chuỗi các hành động điều khiển để loại trừ nhiễu chéo khi xuất hiện, để biến quá trình vẫn bám giá trị đặt. Sự thực hiện bộ điều khiển phân ly không cần Sensor để đo nhiễu vì nhiễu chéo luôn được cập nhật vào bộ điều khiển phân ly. Quá trình thiết kế bộ điều khiển phân ly thực hiện:

Để thiết lập được mô hình quá trình cho vòng điều khiển đỉnh tháp, ta tạo ra một chuỗi dữ liệu bằng cách thay đổi tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển đỉnh  $U_{top}(t)$  và ghi giá trị biến đo được  $Y_{top}(t)$  là phản ứng quá trình. Cả hai vòng làm việc để thu thập dữ liệu, quá trình được khởi tạo từ một trạng thái làm việc ổn định. Ta sẽ tìm được mô hình quá trình từ một chuỗi dữ liệu bằng cách chọn phù

hợp mô hình từ bậc một (FOPDT – first order plus dead time) tới bậc hai (SOPDTw/L – Second order plus dead time with lead time). Nếu gọi  $G_{TT}(s)$  là mô hình quá trình, thì ta có:

$$Y_{top}(s) = G_{TT}(s).U_{top} \quad (1.1)$$

tức là với các tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển, ta có thể tính được biến quá trình ở vòng đỉnh tháp. Hoặc ta có:

$$U_{top}(s) = [1/G_{TT}(s)]Y_{top}(s) \quad (1.2)$$

tức là với một sự thay đổi của biến quá trình, có thể tính toán ngược lại tín hiệu ra của bộ điều khiển đã gây ra sự thay đổi.

Mô hình nhiễu chéo được tạo ra bằng cách thay đổi tín hiệu của bộ điều khiển đáy  $U_{bottom}(t)$  và ghi tín hiệu quá trình  $Y_{top}(t)$ . Chúng ta chọn một mô hình nhiễu phù hợp trong giải từ bậc một (FO) đến bậc hai (SOPDT). Gọi mô hình nhiễu chéo từ vòng đáy lên vòng đỉnh là  $G_{TB}(s)$  thì:

$$Y_{top}(s) = G_{TB}(s).U_{bottom}(s) \quad (1.3)$$

tức là với nhiễu đã cho thì tính được tác động của nó lên quá trình.

Từ mô hình quá trình và mô hình nhiễu, ta tìm được bộ điều khiển phân ly cho vòng đỉnh tháp  $D_{top}(s)$ . Khi tín hiệu ra bộ điều khiển đáy có sự thay đổi  $U^{top}_{feedback}(s)$  thì tín hiệu này được gửi đến mô hình nhiễu đỉnh bồn để cập nhật giá trị  $Y^*_{top}(t)$  để tiên đoán mức độ tác động của tín hiệu đầu ra bộ điều khiển đáy lên biến quá trình đỉnh:

$$Y^*_{top}(s) = G_{TB}(s)U^{bottom}_{feedback}(s) \quad (1.4)$$

Tín hiệu dự đoán này sẽ cấp cho bộ điều khiển. Tín hiệu  $U^{top}_{decouple}(s)$  sẽ được tính bằng cách thay thế  $Y^*_{top}(s)$  vào phương trình:

$$U^{top}_{decouple}(s) = [1/G_{TT}(s)].Y^*_{top}(s) \quad (1.5)$$

Vậy ta có:

$$U^{top}_{decouple}(s) = [G_{TB}(s)/G_{TT}(s)].U^{top}_{feedback}(s) = D_{top}(s).G_{TB}(s)U^{bottom}_{feedback}(s) \quad (1.6)$$

Phương trình này tính toán các tác động điều khiển tương ứng với nhiễu động. Từ đó ta có:

$$U^{top}_{total}(s) = U^{top}_{feedback}(s) - U^{top}_{decouple}(s) \quad (1.7)$$

Tín hiệu ra của bộ điều khiển phân ly đáy cũng được tính tương tự theo công thức sau:

$$U^{bottom}_{decouple}(s) = [G_{TB}(s)/G_{BB}(s)].U^{top}_{feedback}(s) = D_{top}(s).G_{TB}(s)U^{top}_{feedback}(s) \quad (1.8)$$

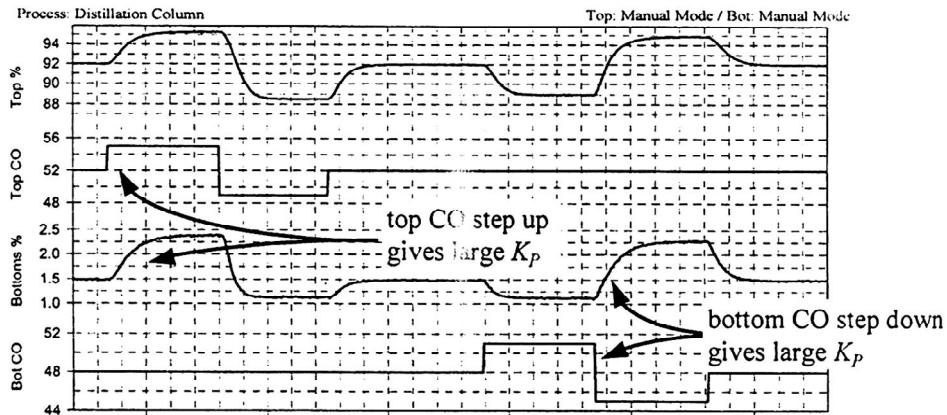
Do vậy, để thực hiện bộ điều khiển phân ly ta cần 4 mô hình động với dạng FOPDT sau: Đối với vòng đỉnh tháp  $G_{TT}(s)$  – mô hình quá trình;  $G_{TB}(s)$  – mô hình nhiễu; Đối với vòng đáy tháp  $G_{BB}(s)$  – mô hình quá trình;  $G_{BT}(s)$  – mô hình nhiễu. Bộ điều khiển phân ly được thiết kế từ những mô hình phần mềm điều khiển. Bộ điều khiển phân ly đỉnh tháp:  $D_{top} = G_{TB}(s)/G_{TT}(s)$  và bộ điều khiển đáy bồn:  $D_{bottom} = G_{TB}(s)/G_{BB}(s)$ .

#### 4. Mô phỏng hệ thống trên miền thời gian thực

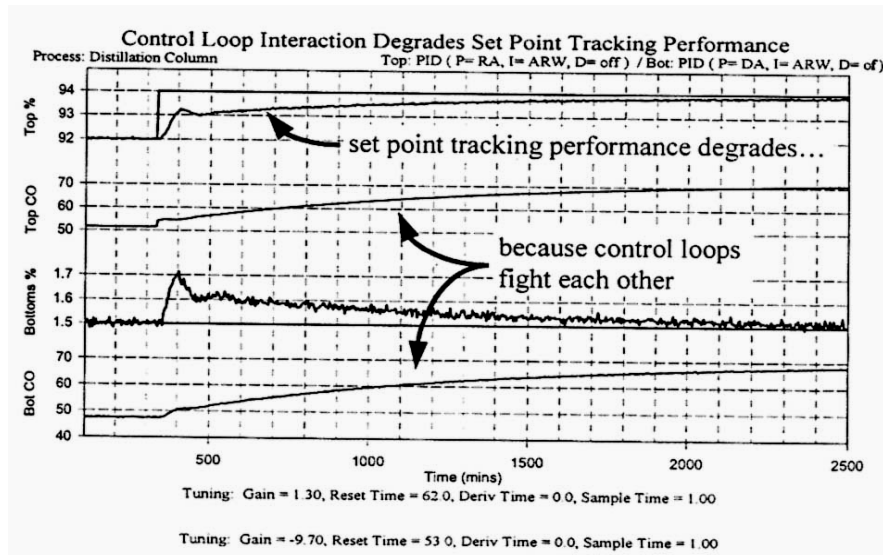
Thiết lập giao diện điều khiển hệ thống được gắn nhãn như hình 1, tương ứng với cấu trúc điều khiển như hình 2. Nguyên tắc thiết kế và kiểm tra kết quả điều khiển tiến hành theo các bước sau:

- Chọn bộ điều khiển cho mạch vòng đỉnh tháp và mạch vòng đáy tháp. Các đường nhiễu chéo phải được cắt bỏ chưa đưa vào hệ thống, chạy thử để kiểm tra chất lượng điều khiển của từng vòng độc lập. Kết quả mô phỏng điều khiển trên miền thời gian thực thu được trên hình 3.

Điều kiện hoạt động phía đỉnh  $U_{top} = 52\%$ ;  $Y_{top} = 92\%$ ; Phía đáy  $U_{bottom} = 48\%$ ;  $Y_{bottom} = 1.5\%$ . Khả năng bám tín hiệu đặt ở mạch vòng đỉnh từ 92% đến 94% với điều kiện mạch vòng đáy không đổi ở mức 1.5%.

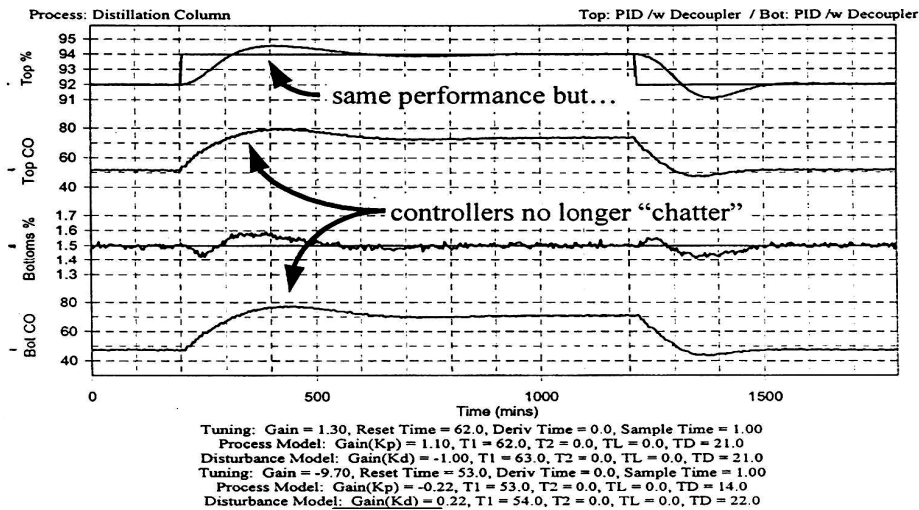


**Hình 3 - Kết quả điều khiển hệ thống với tín hiệu nhảy bậc cho bộ điều khiển đỉnh và bộ điều khiển đáy hoạt động độc lập**



**Hình 4 - Sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa hai mạch vòng**

- Trong quá trình thiết kế các vòng độc lập, nên vận hành hệ thống nhiều lần với các biên độ xung lớn hơn. Khi kiểm tra mạch vòng điều khiển đỉnh thì mạch vòng điều khiển đáy được điều khiển bằng tay và ngược lại. Sau khi các vòng điều khiển đỉnh và điều khiển đáy đã được thiết kế, tiến hành nối các đường nhiễu chéo vào hệ thống. Kết quả kiểm tra sự ảnh hưởng của các bộ điều khiển phân ly thu được trên hình 4. Kết quả thể hiện trên hình 4, cho thấy sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa hai bộ điều khiển của hai mạch vòng đều hoạt động ở chế độ tự động. Đáp ứng của tổ hợp mạch vòng đáy ổn định ở thời gian 1500 phút. Cũng cần chú ý rằng, sự biến đổi của cả hai  $U_{top}$  và  $U_{bottom}$  tăng liên tục trong thời gian ngắn mỗi khi bộ điều khiển cố gắng bù lại sự tác động của bộ kia. Nghĩa là khi bộ điều khiển đỉnh đưa càng nhiều dòng lạnh xuống phía đáy của bồn chưng cất, bộ điều khiển đáy đáp lại bằng cách đưa thêm càng nhiều hơi nóng lên phía đỉnh để cố gắng duy trì tổ hợp đáy bằng giá trị đặt. Như vậy, một bộ điều khiển cố gắng làm mát và bộ kia cố gắng làm nóng. Hai bộ điều khiển này có mục đích đối lập nhau, nhưng lại tác động lẫn nhau làm cho mục tiêu điều khiển cả hai bị ảnh hưởng. Kết quả làm cho đặc tính của đáp ứng không tốt. Với những kết quả thực nghiệm trong quá trình tổng hợp bộ điều khiển phân ly kép cho các mạch vòng, bộ điều khiển phản ứng nhanh hơn. Kết quả thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Các vòng điều khiển phân ly kép hoạt động nâng cao chất lượng điều khiển

## 5. Kết luận

Với bài toán điều khiển nhiều biến vào/ra, các mục đích điều khiển xung đột lẫn nhau trong điều khiển quá trình. Thiết kế điều khiển bằng mô phỏng cho đáp án nhanh và tính linh hoạt cao. Tuy nhiên phương pháp thực hiện nhất thiết phải qua các bước: i - Thiết kế vòng đơn để nhận được hệ thống làm việc ổn định và đạt chất lượng yêu cầu; ii - Điều chỉnh từng vòng với sự ảnh hưởng của vòng khác ở chế độ điều khiển bằng tay; iii - Lựa chọn nhiều lần các hệ số của bộ điều khiển phù hợp để đáp ứng tốt nhất.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1]. Hoàng Minh Sơn – *Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình* – Nhà xuất bản Bách khoa – Hà nội 2006.
- [2]. IEC 60050 – 351: *International electrotechnical vocabulary – Automation Control*. International Electrotechnical Commission, 1998.
- [3]. ANSI/ISA 88.01: *Batch Control System: Models and Terminology*. American National Standard. Institute/Instrument Society of American, 1995.
- [4]. Corripio, A.B.: *Design and Application of process Control Systems*. Instrument Society of American (ISA), 1998.

Người phản biện: TS. Trần Sinh Biên