

PHƯƠNG PHÁP TÁCH KÊNH TOÀN PHẦN ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG THÁP CHUNG CẤT HÓA CHẤT

Nguyễn Thị Thanh Nga^{1*}, Đặng Hải Hưng², Trần Ngọc Ánh¹, Bùi Thanh Huyền³

¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên,

²Công ty TNHH Yokogawa Việt Nam,

³Đại học Đại học Kinh tế và Quản trị Kinh doanh - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Trong công nghiệp hóa chất, nhu cầu sử dụng tháp chưng cất là rất cần thiết nhằm tách biệt các thành phần nguyên liệu cũng như sản phẩm mong muốn theo yêu cầu sản xuất. Trong quá trình chưng cất, các thành phần cấu tử được tách với độ tinh khiết cao không bị lẫn các thành phần còn lại là một yêu cầu rất khắt khe. Nhằm nâng cao chất lượng điều khiển để thực hiện quá trình chưng cất hoá chất cho chất lượng sản phẩm cao hơn, tác giả đưa ra phương án thiết kế tổng hợp hệ điều khiển tách kênh toàn phần có đảm bảo tính kháng nhiễu nhằm cải tiến chất lượng sản phẩm trong quá trình chưng cất hoá chất với thành phần hai cấu tử.

Từ khóa: Chưng cất hóa chất; Điều khiển; Tách kênh; Điều khiển đa biến; Kháng nhiễu

Ký hiệu:

F	Lưu lượng nguyên liệu cấp vào
z_F	Thành phần hơi trong nguyên liệu cấp
L	Lưu lượng hồi lưu
V	Lưu lượng hơi cấp nhiệt đun sôi đáy tháp
$x_B \equiv x_1$	Thành phần sản phẩm đáy tháp

$x_R \equiv x_2$ Thành phần sản phẩm sườn tháp

$x_D \equiv x_3$ Thành phần sản phẩm đỉnh tháp

M_1 Trữ lượng pha lỏng tại đáy tháp

M_3 Trữ lượng tại bình chứa sản phẩm ngưng tụ

V_2 Lưu lượng hơi bốc lên (ở mọi đĩa)

B Lưu lượng sản phẩm đáy

y_1 Thành phần pha hơi tại tầng 1

y_2 Thành phần pha hơi tại tầng tiếp theo

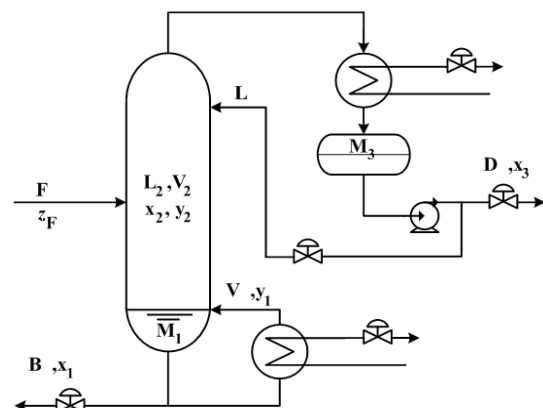
ĐẶT VẤN ĐỀ

Chưng cất hóa chất là một phương pháp được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp hóa học và dầu mỏ để phân tách một hỗn hợp hóa học gồm nhiều thành phần thành những dòng sản phẩm tinh khiết hơn.

Sự phân tách này dựa trên sự khác nhau về “tính chất dễ bay hơi” giữa những thành phần hóa học khác nhau. Để thực hiện được sự chưng cất người ta dùng các tháp chưng cất. Các cấu tử dễ bay hơi hơn (gọi là các cấu tử

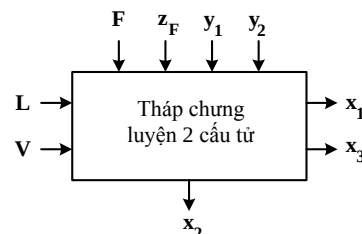
nhẹ) được rời đi khỏi đỉnh của tháp, còn những cấu tử khó bay hơi hơn (gọi là các cấu tử nặng) thì được rời đi từ đáy của tháp.

Giới thiệu công nghệ tháp chưng cất hai cấu tử



Hình 1. Tháp chưng cất hai cấu tử cho mô hình đơn giản hoá

* Xác định các biến quá trình:



Hình 2. Các biến quá trình trong tháp chưng luyện hai cấu tử

* Các phương trình cân bằng vật chất toàn phần ở trạng thái xác lập:

* Tel: 0912 286055, Email: nguyenthithanhnga-tdh@tnut.edu.vn

$$V_2 = V; L_2 = L + F$$

$$D = V - L; B = L + F - V \quad (1)$$

Các phương trình cân bằng thành phần được viết cho cấu tử dễ bay hơi:

Thiết bị đun sôi trong tháp:

$$M_1 \frac{dx_1}{dt} = (L + F)(x_2 - x_1) + V(x_1 - y_1) = g_1 \quad (2)$$

Đĩa cấp liệu:

$$M_2 \frac{dx_2}{dt} = Fz_F + V(y_1 + y_2) + Lx_3 - (L + F)x_2 = g_2 \quad (3)$$

Thiết bị ngưng tụ:

$$M_3 \frac{dx_3}{dt} = Vy_2 - Lx_3 - (V - L)x_3 = Vy_2 - Vy_3 = g_3 \quad (4)$$

Phương trình cân bằng pha:

$$y_1 = \frac{\alpha \cdot x_1}{1 + (\alpha - 1)x_1}$$

$$y_2 = \frac{\alpha \cdot x_2}{1 + (\alpha - 1)x_2} \quad (5)$$

Mô hình toán cho tháp chưng luyện hai cấu tử

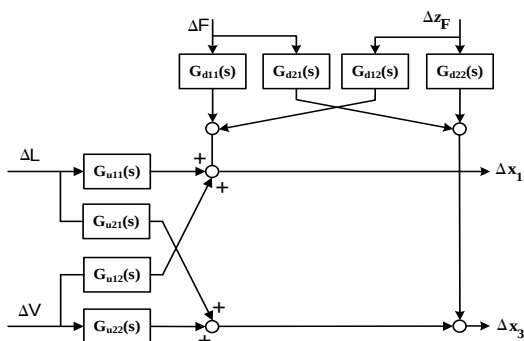
Bảng 1. Các thông số vận hành

F	z _F	A	D	L	V	x ₃	x ₁	M _i
1	0.5	10	0.5	3.05	3.55	0.9	0.1	1

Với các số liệu vận hành đã cho, giá trị cho một số biến tại điểm làm việc được tính toán cụ thể cho từng tầng.

Bảng 2. Các số liệu vận hành

Tầng	i	$\bar{L}_i$	$\bar{V}_i$	$\bar{x}_i$	$\bar{y}_i$
Thiết bị ngưng	3	3.05		0.9	
Cấp liệu	2	4.05	3.55	0.4737	0.9
Hoá hơi	1		3.55	0.1	0.5263



Hình 3. Sơ đồ khối cho mô hình tháp chưng luyện hai cấu tử

Trong đó:

Hàm truyền của đối tượng:

$$G_u = \begin{bmatrix} G_{u11} & G_{u12} \\ G_{u21} & G_{u22} \end{bmatrix}$$

$$G_{u11} = \frac{0.3737s^2 + 5.046s + 11.74}{s^3 + 19.22s^2 + 66.98s + 13.81}$$

$$G_{u12} = \frac{-0.4263s^2 - 2.273s - 1.03}{s^3 + 19.22s^2 + 66.98s + 13.81} \quad (6)$$

$$G_{u13} = \frac{0.5465s + 10.36}{s^3 + 19.22s^2 + 66.98s + 13.81}$$

$$G_{u14} = \frac{0.4791s - 0.4236}{s^3 + 19.22s^2 + 66.98s + 13.81}$$

$$\text{Hàm truyền của nhiễu: } G_d = \begin{bmatrix} G_{d11} & G_{d12} \\ G_{d21} & G_{d22} \end{bmatrix}$$

$$G_{d11} = \frac{0.3737s^2 + 3.426s + 5.991}{s^3 + 19.22s^2 + 66.98s + 13.81}$$

$$G_{d12} = \frac{4.05s + 14.38}{s^3 + 19.22s^2 + 66.98s + 13.81} \quad (7)$$

$$G_{d13} = \frac{0.03372s + 5.06}{s^3 + 19.22s^2 + 66.98s + 13.81}$$

$$G_{d14} = \frac{1.282s + 13.25}{s^3 + 19.22s^2 + 66.98s + 13.81}$$

Phương pháp điều khiển tách kênh:

Phân tích lựa chọn phương pháp điều khiển tách kênh:

Mục tiêu của phương pháp tách kênh:

+ Áp dụng các sách lược và thuật toán điều khiển đơn biến thông dụng.

+ Loại bỏ hoặc giảm bớt tương tác giữa các kênh vào ra thông qua sử dụng các khâu bù (khâu tách kênh)

Phân loại phương pháp điều khiển tách kênh theo sách lược điều khiển ta có các phương pháp như sau:

+ Tách kênh truyền thẳng: toàn phần, từng phần

+ Tách kênh phản hồi trạng thái.

+ Tách kênh SVD

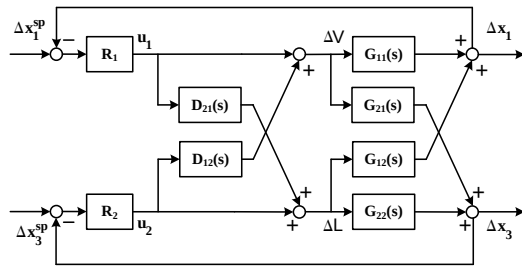
Phân loại điều khiển theo thuật toán bù ta có các phương pháp như sau:

+ Tách kênh động.

+ Tách kênh tĩnh.

Một số phương pháp tách kênh phổ biến được áp dụng trong thực tế.

- Tách kênh toàn phần



Hình 4. Sơ đồ tách kênh toàn phần

* Chọn khâu bù nhiều:

$$D = \begin{bmatrix} 1 & D_{12} \\ D_{21} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow G_D = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & D_{12} \\ D_{21} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{D11} & 0 \\ 0 & G_{D22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

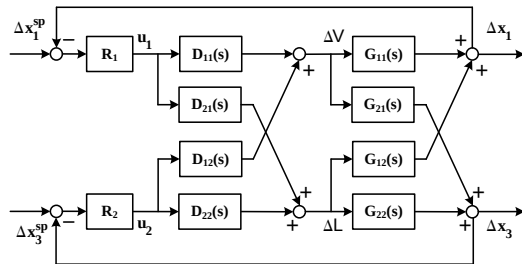
$$D_{12} = -G_{11}^{-1} \cdot G_{12}$$

$$D_{21} = -G_{22}^{-1} \cdot G_{21}$$

$$G_{D11} = G_{11} - G_{12} \cdot G_{22}^{-1} \cdot G_{21}$$

$$G_{D22} = G_{22} - G_{21} \cdot G_{11}^{-1} \cdot G_{12}$$

- Tách kênh toàn phần - tổng quát



Hình 5. Cấu trúc điều khiển tách kênh động toàn phần - tổng quát

* Biến đổi $G(s) = M(s)N(s)$

+ $M(s)$ là ma trận đường chéo có các phần tử là phân thức chứa mẫu số trung nhỏ nhất của từng hàng của $G(s)$. Nếu $G(s)$ có điểm không nằm bên phải trục ảo thì điểm không đó phải xuất hiện trên tử số trong từng phần tử trên đường chéo chính của $M(s)$.

+ $N(s)$ là một ma trận đa thức, có thể biểu nhân thêm một phân thức có mẫu số chứa các điểm không nằm bên phải trục ảo (xuất hiện trên tử số của $M(s)$)

* Nghịch đảo $N(s)$ để được khâu bù $D(s)$

Từ những phân tích trên có thể thấy phương pháp tách kênh động có ưu điểm hơn hẳn và ta sẽ đi thiết kế bộ điều khiển tương ứng với nó trong phần tiếp theo.

Xây dựng bộ điều khiển dùng phương pháp tách kênh động toàn phần - tổng quát**a. Xác định các khâu bù**

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} = M(s) \cdot N(s) \quad (9)$$

Ta chọn

$$M(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{(1+T_1s)(1+T_2s)(1+T_3s)} & 0 \\ 0 & \frac{1}{(1+T_1s)(1+T_2s)(1+T_3s)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\Rightarrow N(s) = \begin{bmatrix} \frac{a_{112}s^2 + a_{111}s + a_{110}}{b_0} & \frac{a_{122}s^2 + a_{121}s + a_{120}}{b_0} \\ \frac{a_{211}s + a_{210}}{b_0} & \frac{a_{221}s + a_{220}}{b_0} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$D(s) = N^{-1} = \frac{1}{\det N} \begin{bmatrix} \frac{a_{221}s + a_{220}}{b_0} & -\frac{a_{122}s^2 + a_{121}s + a_{120}}{b_0} \\ -\frac{a_{211}s + a_{210}}{b_0} & \frac{a_{112}s^2 + a_{111}s + a_{110}}{b_0} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$= \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix}$$

Với:

$$D_{11} = \frac{-7.549s - 143.1}{0.412s^3 + 7.917s^2 + 27.6s + 5.691}$$

$$D_{12} = \frac{5.162s^2 + 69.7s + 162.2}{0.412s^3 + 7.917s^2 + 27.6s + 5.691}$$

$$D_{21} = \frac{6.618s - 5.851}{0.412s^3 + 7.917s^2 + 27.6s + 5.691} \quad (13)$$

$$D_{22} = \frac{5.888s^2 + 31.4s + 14.22}{0.412s^3 + 7.917s^2 + 27.6s + 5.691}$$

Thiết kế bộ điều khiển* Khi có khâu bù $D(s)$, đối tượng trở thành:

$$G_D(s) = G(s) \cdot D(s) = M(s)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{(1+T_1s)(1+T_2s)(1+T_3s)} & 0 \\ 0 & \frac{1}{(1+T_1s)(1+T_2s)(1+T_3s)} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Khi đó cần thiết kế bộ điều khiển R_1 và R_2 cho cùng một đối tượng:

$$\begin{aligned}
 H(s) &= \frac{1}{(1+T_1s)(1+T_2s)(1+T_3s)} \\
 &= \frac{1}{(1+0.0679s)(1+0.2346s)(1+4.5464s)} \\
 &= \frac{1}{[1+(T_1+T_2)s+T_1T_2s^2](1+T_3s)} \quad (15)
 \end{aligned}$$

Nhận thấy: $T_1 \ll T_2, T_3 \Rightarrow$ bỏ qua các giá trị bậc cao, xấp xỉ $H(s)$, ta có:

$$H(s) = \frac{1}{[1+(T_1+T_2)s](1+T_3s)} \quad (16)$$

* Thiết kế theo phương pháp mô hình nội IMC
Dựa vào luật chỉnh định IMC-PID theo CHIEN&FRUEHAUF [1], G_{11} có dạng:

$$G_{11} = \frac{K}{(1+\tau_1s)(1+\tau_2s)} \quad (17)$$

Với: $K=1$; $\tau_1=T_1+T_2$; $\tau_2=T_3$

$$\Rightarrow H = \frac{1}{(1+0.3025s)(1+4.5464s)} \quad (18)$$

$$T_c = 9 \Rightarrow T_i = \tau_1 + \tau_2 = T_1 + T_2 + T_3$$

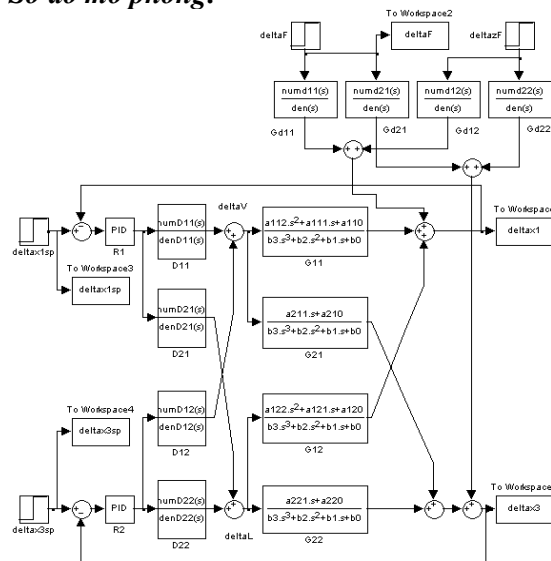
$$K_p = \frac{T_i}{T_c K}$$

$$\text{Chọn: } T_D = \frac{\tau_1\tau_2}{T_i} = \frac{(T_1+T_2)T_3}{T_i}$$

$$K_p = 0.5388; K_i = \frac{K_p}{T_i} = 0.1111$$

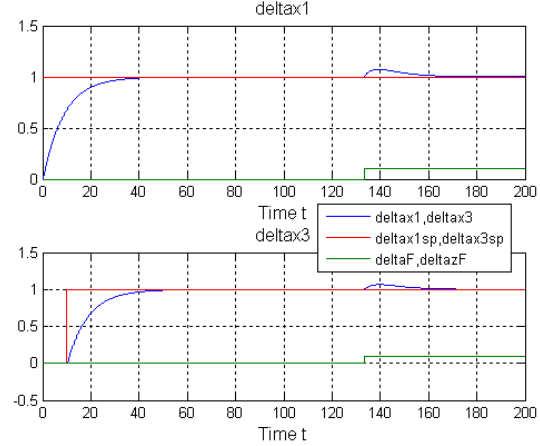
$$K_D = K_p T_D = 0.1528$$

Sơ đồ mô phỏng:



Hình 6. Mô hình mô phỏng điều khiển tách kênh

Kết quả mô phỏng



Hình 7. Đáp ứng thành phần sản phẩm đỉnh tháp, đáy tháp khi áp dụng phương pháp điều khiển tách kênh toàn phần, tổng quát

Nhận xét: Từ kết quả mô phỏng trên ta thấy: khi mới chỉ có Δx_1^{sp} thì cũng chỉ có Δx_1 thay đổi, tăng dần đến trạng thái giá trị đặt, không ảnh hưởng gì tới Δx_3 . Sau 10s thì có tín hiệu Δx_3^{sp} thì đầu ra Δx_3 cũng bắt đầu tăng dần và đạt tới giá trị đặt.

KẾT LUẬN

Thông qua bộ tách kênh hai biến cần điều khiển là thành phần sản phẩm đáy tháp và đỉnh tháp có thể điều khiển bằng hai mạch vòng độc lập với nhau, ít ảnh hưởng qua lại với nhau rất ít, gần như không có. Do đó cho ta chất lượng điều khiển rất tốt.

Với phương pháp điều khiển tách kênh toàn phần khi xuất hiện nhiễu Δz_F và ΔF thì đáp ứng sẽ tăng lên hơn so với trường hợp dùng điều khiển phi tập trung (chưa có tách kênh) điều này chứng tỏ tách kênh sẽ làm quá trình nhạy cảm hơn với sai lệch mô hình với nhiễu. Tuy nhiên sau đó thành phần sản phẩm đỉnh tháp và đáy tháp vẫn giảm xuống và trở về giá trị đặt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hoàng Minh Sơn (2006), *Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình*, Nxb ĐH Bách Khoa Hà Nội.
2. Sigurd Skogestad: Dynamics and control of distillation columns (A tutorial introduction) 1997.
3. Liuping Wang, PhD: Model Predictive Control System Design and Implementation Using MALAB.

4. Jacobsen, E.W. and Skogestad, S. (1991), "Multiple Steady-States in Ideal Two Product Distillation", AIChE Journal, 30, 4, 99-51.
5. Jacobsen, E.W. and Skogestad, S. (1991), "Multiple Steady-States in Ideal Two Product Distillation", AIChE Journal, 30, 4, 499-51
6. Luyben, W.L. (Ed) (1992), Practical distillation control, Van Nostrand, New York.

SUMMARY

DECOUPLING CONTROL FOR DISTILLATION COLUMN SYSTEMS

Nguyen Thi Thanh Nga^{1*}, Dang Hai Hung, Tran Ngoc Anh, Bui Thanh Huyen³

¹University of Technology – TNU, ²Yokogawa Vietnam company Ltd

³University of Economics & Business Administration - TNU

In chemical industry, using distillation tower is necessary to separate material elements as well as products satisfying production demands. During distillation, the components separated with high purity without mixing the remaining ingredients is a very strict requirement. In order to enhance the quality of control to perform chemical distillation with higher product quality, the author propose a comprehensive design of the whole channel separation control system which ensures high resistance to improvement. Product quality during chemical distillation with two constituents.

Keywords: Chemical distillation; Control; Splitting channel; Multivariable control; Interference.

Ngày nhận bài: 01/11/2017; Ngày phản biện: 19/11/2017; Ngày duyệt đăng: 05/01/2018

* Tel: 0912 286055, Email: nguyenthithanhnga-tdh@tnut.edu.vn