

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**LÊ LINH**

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PHÂN LY  
ĐƠN GIẢN HOÁ DÙNG CHO CÁC HỆ THỐNG ĐA BIẾN**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ  
MÃ SỐ: 62520103**

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 02 / 2018.

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS. LÊ HIẾU GIANG  
Người hướng dẫn khoa học 2: PGS.TS. TRƯƠNG NGUYỄN LUÂN VŨ

Luận án tiến sĩ được bảo vệ trước  
**HỘI ĐỒNG CHẤM BẢO VỆ LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn của tập thể các nhà khoa học và các tài liệu tham khảo đã trích dẫn. Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong luận án là trung thực, khách quan và chưa từng công bố trên bất cứ một công trình nào khác.

*Tp.HCM, ngày 06 tháng 02 năm 2018.*

Tác giả luận án

**Lê Linh**

## LỜI CẢM ƠN

Trước tiên tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc nhất đến các Giáo sư hướng dẫn của tôi là PGS.TS. Lê Hiếu Giang và PGS. TS. Trương Nguyễn Luân Vũ vì không chỉ là những sự chỉ dẫn và góp ý vô cùng quý báu về chuyên môn mà còn rất nhiều sự quan tâm, động viên và khích lệ của các Giáo sư trong thời gian dài làm luận án Tiến sĩ. Những điều này đã truyền cho tôi cảm hứng và nguồn động lực lớn để hoàn thành luận án.

Tôi xin đặc biệt gửi lời cảm ơn đến quý Thầy, Cô ở Khoa Cơ khí Chế tạo máy, Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM đã dành nhiều thời gian để giảng dạy, truyền đạt những tri thức khoa học quý báu cho tôi từ khi học đại học cho đến nay. Những tri thức sẽ mãi mãi theo tôi trong suốt cuộc đời làm khoa học của mình.

Xin dành lời cảm ơn chân thành đến các Giáo sư từ Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM, Đại học Khoa học Tự nhiên Tp. HCM và Đại học Việt Đức đã dành thời gian quý báu của mình để giảng dạy và cho những lời khuyên rất có giá trị trong thời gian hoàn thành luận án.

Sự quan tâm và giúp đỡ của nhiều bạn bè và đồng nghiệp từ Phòng, Khoa và Ban của Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM đã tạo sự thuận lợi rất lớn cho tôi trong việc hoàn thành luận án đã lưu lại trong tôi những tình cảm chân thành và nồng nhiệt.

Cuối cùng và quan trọng nhất đó là sự hi sinh và tình yêu của cha mẹ, của vợ và các con đã dành cho tôi. Điều này giúp tôi có nhiều ý chí và nghị lực để vượt qua nhiều khó khăn, thử thách để tiếp tục con đường học thuật của mình.

## ***ABSTRACT***

Recently, the decoupling control system have been widely used because it provides the high effectiveness, simplicity and safety in the operation of multivariable processes.

The decoupling control methodologies are available for ideal decoupling, simplified decoupling, and inverted decoupling, with the choice of decoupling method depending largely on each methods advantages and restrictions. Ideal decoupling provides convenient controller design, since decoupled apparent processes are systematically obtained as a diagonal matrix of processes, but it is rarely used in practice due to its complicated decoupling elements, realizability problems, and sensitivity to modeling errors. Inverted decoupling is also known as feedforward decoupling and is rarely implemented, even though it can take into account the saturation of manipulated variables. Similar to ideal decoupling, it is sensitive to modeling errors. Simplified decoupling is most widely used in industrial practice because of its robustness and simple decoupling network (i.e., its diagonal elements are set as unity). However, the decoupled apparent processes are intricate, which hinders controller tuning.

In this thesis, the design of simplified decoupling system is introduced on the basis of the theory of decoupling control. Firstly, the simplified decoupling network is designed on the systematical and transparent ways to neglect the closed-loop interaction for the multivariable processes by using the coefficient matching to obtain a stable, proper, and causal simplified decoupler. Accordingly, transfer functions of decoupled apparent processes can be expressed as a set of  $n$  equivalent independent processes and then derived as a ratio of the original open-loop transfer function to the diagonal element of the dynamic relative gain array. Secondly, a various kind of PI/PID controllers that are based on the Internal Model Control (IMC) scheme are systematically proposed for the proposed simplified decoupling control system to enhance the overall performance of the decoupling control system while avoiding difficulties arising from properties inherent to simplified decoupling.

Many simulation studies are considered to demonstrate the simplicity and effectiveness of the proposed method. Simulations were conducted by tuning various controllers of the multivariate processes. The results indicate that the proposed method consistently performs well with fast and well-balanced closed-loop time responses.

Last but not least, the application of proposed simplified decoupling design has been implemented in the distillation column for the separation of ethanol and water. The results were showed that the overall performance of distillation column have satisfied the requirement in terms of stability, fast and well-balanced output responses.

## TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, hệ thống điều khiển phân ly đã được sử dụng rộng rãi vì nó mang lại hiệu quả cao, đơn giản và an toàn trong quá trình vận hành các quá trình đa biến.

Các phương pháp thiết kế hệ thống điều khiển phân ly đa biến hiện nay bao gồm: phương pháp điều khiển phân ly lý tưởng, phương pháp điều khiển phân ly đơn giản hóa, và phương pháp điều khiển phân ly nghịch. Việc lựa chọn phương pháp thiết kế các hệ thống điều khiển phân ly đa biến tùy thuộc phần lớn vào lợi thế và hạn chế của từng phương pháp. Phương pháp điều khiển phân ly lý tưởng sẽ giúp cho việc thiết kế bộ điều khiển thuận tiện, kể từ khi tách rời quá trình các biến điều khiển một cách rõ ràng, hệ thống thu được sẽ như là một ma trận đường chéo của các quá trình, nhưng nó hiếm khi được sử dụng trong thực tế do các yếu tố phân ly phức tạp của nó, vấn đề thực tế sử dụng và nhạy cảm với lỗi mô hình và hệ thống. Phương pháp điều khiển phân ly nghịch hiếm khi được thực hiện, mặc dù nó có thể đưa đến sự bão hòa của các biến thao tác. Tương tự như phương pháp điều khiển phân ly lý tưởng, nó là nhạy cảm với lỗi mô hình và hệ thống. Phương pháp điều khiển phân ly đơn giản hóa được sử dụng rộng rãi nhất trong thực tế công nghiệp vì sự mạnh mẽ và hiệu quả của nó với mạng phân ly đơn giản (tức là, các yếu tố đường chéo của nó được thiết lập một cách thống nhất).

Trong luận án này, việc thiết kế hệ thống điều khiển phân ly đơn giản hóa được giới thiệu trên cơ sở lý thuyết về điều khiển phân ly đa biến. Thứ nhất, đề tài thực hiện nhằm mục đích tạo ra được một cấu trúc chung, nhỏ gọn và cô đọng cho các bộ điều khiển phân ly đơn giản hóa bằng cách xem xét các thuộc tính của phương pháp điều khiển phân ly đơn giản hóa và ma trận nghịch đảo. Thứ hai, các bộ điều khiển PI/PID khác nhau được đề xuất dựa trên thuật toán (IMC). Các qui luật điều chỉnh giới thiệu một cách có hệ thống và phù hợp cho hệ thống điều khiển phân ly đơn giản hoá nhằm tăng cường hiệu quả hoạt động chung của hệ thống, trên cơ sở tránh đi những khó khăn phát sinh từ các tính chất vốn có của phương pháp thiết kế.

Nhiều nghiên cứu mô phỏng được xem xét để chứng minh tính đơn giản và hiệu quả của phương pháp đề xuất. Các mô phỏng được thực hiện bằng cách điều chỉnh thông số các bộ điều khiển khác nhau của các quá trình đa biến. Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng phương pháp đề xuất luôn đạt được hiệu quả tốt với đáp ứng thời gian vòng kín nhanh và cân bằng.

Cuối cùng nhưng không kém phần quan trọng, việc áp dụng phương pháp thiết kế đề xuất đã được áp dụng trong thiết kế và chế tạo cột chưng cất để tách ethanol và nước. Kết quả vận hành hệ thống cho thấy hiệu suất chung của cột chưng cất đã đáp ứng yêu cầu về độ ổn định với đáp ứng đầu ra nhanh và cân bằng.

## DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

BLT	Biggest Log Modulus
DLT	The decentralized $\lambda$ tuning
IMC	Integral Model Control
IAE	Integral Absolute Error
ISE	Integral Square Error
ITAE	Integral Time Absolute Error
MIMO	Multi-Input Multi-Output
NMP	Nonminimum Phase
RP	Robust Performance
RS	Robust Stability
SISO	Single-Input Single-Output
SSV	Structured Singular Value
SV	Singular Value
VL	Vinante and Luyben
WB	Wood và Berry
ISPR	Industrial-Scale Polymerization Reactor
RAIS	Rational Approximation of the Irrational Solutions
FOPDT	First Order Plus Dead Time
Ms	Magnitude of sensitivity transfer function
LS	Least-Squares
<b>Ký hiệu khoa học</b>	
$e(s)$	Tín hiệu sai số liên tục
$G_c(s)$	Hàm truyền của bộ điều khiển
$G_p(s)$	Hàm truyền của quá trình xử lý
$K_c$	Điều khiển độ lợi
$H(s)$	Hàm truyền vòng lặp kín
$L_{cm}$	Một logarit mô đun vòng lặp đa biến
$p(s)(P(s))$	SISO(MIMO), biểu diễn các mô hình xử lý trong đó $p = \tilde{p}$ ( $P = \tilde{P}$ ) là giả định
$\tilde{p}(s)$ ( $\tilde{P}(s)$ )	SISO(MIMO), Mô hình xử lý
$\tilde{p}_A(s)$	Tất cả thông qua bởi phân tử NMP của $\tilde{p}(s)$
$r(s)$	Biến đầu vào
$u(s)$	Biến điều khiển
$y(s)$	Biến đầu ra
<b>Ký hiệu La Mã</b>	
$\lambda$	Hằng số thời gian vòng lặp kín
$\bar{\sigma}(A)$	Giá trị trị riêng lớn nhất của ma trận A
$\underline{\sigma}(A)$	Giá trị trị riêng nhỏ nhất của ma trận A
$\tau_D$	Hằng số thời gian đạo hàm
$\tau_I$	Hằng số thời gian tích phân
$\omega$	Tần số
$\omega_B$	Băng thông của vòng lặp kín
<b>Chỉ số trên</b>	
$H$	Ma trận hàm truyền đạt vòng kín

$T$	Chuyển vị của ma trận
<b>Ký hiệu đặc biệt</b>	
$\forall$	Với mọi
$\exists$	Sao cho



## MỞ ĐẦU

### Tính cấp thiết

Ngày nay, hệ thống điều khiển phân ly được sử dụng phổ biến, bởi vì nó mang lại sự hiệu quả cao trong hoạt động, sự đơn giản, an toàn trong vận hành, cũng như tính kinh tế cao trong lắp đặt và vận hành hệ thống điều khiển.

Gần đây, không có phương pháp chung nhất, mở rộng cho nhiều biến nào được công bố hoặc phát triển cho hệ thống điều khiển phân ly đơn giản hóa, ngoại trừ phương pháp bù tương tác tĩnh. Chính vì vậy, việc nghiên cứu mở rộng và phát triển phương pháp thiết kế bộ điều khiển phân ly, trên cơ sở phương pháp phân tích mới, để sử dụng chung cho nhiều quá trình đa biến trong công nghiệp thật sự cấp thiết.

### Mục tiêu của luận án

Mục tiêu chính của đề tài là đề xuất một phương pháp mới trong việc thiết kế bộ điều khiển phân ly cho quá trình đa biến. Đề tài sẽ góp phần nâng cao độ ổn định, hiệu quả làm việc và an toàn trong vận hành, cũng như các tính năng hoạt động khác của các quá trình đa biến trong hệ thống điều khiển.

Các hệ thống điều khiển phân ly dùng cho các quá trình đa biến sẽ là đối tượng nghiên cứu chính của đề tài. Ngoài ra, đề tài thực hiện nhằm mục đích tạo ra được một cấu trúc chung, nhỏ gọn và cô đọng cho các bộ điều khiển phân ly đơn giản hóa bằng cách xem xét các thuộc tính của phương pháp điều khiển phân ly đơn giản hóa và ma trận nghịch đảo.

Phương pháp đề xuất sẽ tìm ra được bản chất thực sự của quy luật phân ly các biến điều khiển bằng việc xác định chính xác từ tỷ lệ của các quá trình hở chức năng ban đầu và các yếu tố đường chéo của các dãy liên hệ tỉ lệ động (Dynamic Relative Gain Arrays). Ngoài ra, phương pháp đơn giản hóa mô hình quá trình thiết bị sẽ được đề xuất đồng thời để mang lại sự thực thi tốt nhất cho hệ thống điều khiển phân ly đơn giản hóa.

### Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu phân tích các tài liệu, các công trình đã công bố trong và ngoài nước nhằm xác định mục tiêu và nhiệm vụ đặt ra. Thành lập mô hình toán của tháp tách ethanol và nước, xây dựng các phương trình mô tả các quá trình cơ bản với tất cả các khâu. Nghiên cứu sự phụ thuộc hay quan hệ giữa các ngõ vào, ngõ ra của tháp đối với tất cả các tham số nhiệt độ, áp suất, lưu lượng, mức, nồng độ của các cấu tử... Sử dụng công cụ mô phỏng hiện đại và đủ mạnh Matlab-Simulink để thực hiện mô phỏng, xác định các qui luật thay đổi thành phần các chất nhằm khẳng định các nghiên cứu lý thuyết cũng như mô hình toán của tháp. Đánh giá kết quả mô phỏng lý thuyết với số liệu thực tế sản xuất nhằm mục đích hiệu chỉnh các tham số cho đối tượng và đề xuất các giải pháp trong đo lường và điều khiển hợp lý cho hệ thống.

- Nghiên cứu giải thuật điều khiển phân ly  $n$  ngõ vào,  $n$  ngõ ra ( $n \times n$ )
- Nghiên cứu các thông số công nghệ trong quá trình tách ethanol với nước, ví dụ như nhiệt độ, lưu lượng, áp suất, ...

## **Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án**

Với nhiệm vụ đặt ra như trên thì luận án sẽ bổ sung thêm vào nhóm các phương pháp của bộ điều khiển phân ly đơn giản hoá cho các quá trình đa biến có một phương pháp mới mang tính tổng hợp hơn, có khả năng ứng dụng được cho các hệ thống điều khiển phức tạp.

Với nguyên lý kết hợp và tách biến điều khiển, bộ điều khiển phân ly đơn giản hoá đề xuất của luận án còn có thể mở rộng ứng dụng vào thực tế cho các hệ thống điều khiển có nhiều yếu tố bất định trong hệ thống, bộ điều khiển phân ly sẽ giúp nâng cao chất lượng thực thi của hệ thống điều khiển đa biến trong quá trình chiết tách...

## **Nội dung của luận án**

Nội dung luận án bao gồm 8 chương

Chương 1: Cơ sở lý thuyết về hệ thống phân ly đa biến

Chương 2: Thiết kế bộ phân ly đa biến

Chương 3: Phân tích và so sánh các phương pháp thiết kế bộ điều khiển PI/PID đa biến dùng cho hệ thống phân ly

Chương 4: Phương pháp đề xuất thiết kế bộ điều khiển PI/PID đa biến

Chương 5: Phương pháp nhận dạng hệ thống điều khiển

Chương 6: Nghiên cứu mô phỏng, phân tích và so sánh với các hệ thống điều khiển đa biến

Chương 7: Mô hình thực nghiệm của hệ thống chưng cất Ethanol và Nước

Chương 8: Kết luận

## **Đóng góp của luận án về lý thuyết**

– Xây dựng được mô hình toán để mô phỏng cho bộ điều khiển phân ly đa biến điển hình với các biến điều khiển như là nhiệt độ, lưu lượng, áp suất. Từ đó tìm ra các phương pháp phân tích chung nhất để làm tiền đề trong việc tìm ra quy luật điều khiển hệ thống đa biến, quy luật điều chỉnh hệ thống đa biến, phương pháp so sánh, phương pháp đánh giá ổn định bền vững của hệ thống và phương pháp đánh giá khả năng thi hành của toàn hệ thống.

– Đề xuất phương pháp thiết kế mở rộng hệ điều khiển phân ly đơn giản hóa. Bao gồm: qui luật điều khiển hệ thống đa biến, quy luật điều chỉnh hệ thống đa biến, phương pháp so sánh, phương pháp đánh giá ổn định bền vững của hệ thống và phương pháp đánh giá khả năng thi hành của toàn hệ thống.

– Đề xuất phương pháp thiết kế bộ điều khiển đa biến nhiều vòng lặp PI/PID dùng cho các hệ thống điều khiển phân ly đơn giản hóa.

– Xây dựng các chương trình để điều khiển và mô phỏng các quá trình đa biến 3 x 3 (nhiệt độ, lưu lượng, áp suất).

– Xây dựng được phương pháp chung làm nền tảng để điều khiển hệ thống chiết tách có các thành phần bất định. Phương pháp này của luận án có khả năng giải quyết nhiệm vụ điều khiển hệ thống ổn định, điều khiển bám ổn định của hệ thống điều khiển.

### **Ý nghĩa thực tiễn**

- Ứng dụng được phương pháp đề xuất để thiết kế bộ điều khiển phân ly đơn giản hoá cho quá trình đa biến.
- Điều khiển ổn định và điều khiển bám ổn định của các hệ thống chiết tách, sấy nông sản, thực phẩm...
- Chế tạo hệ thống chiết tách Ethanol và Nước.

## NỘI DUNG

<b>LỜI CAM ĐOAN</b>	<b>II</b>
<b>LỜI CẢM ƠN</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IV</b>
<b>TÓM TẮT</b>	<b>V</b>
<b>DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT</b>	<b>VI</b>
<b>MỞ ĐẦU</b>	<b>1</b>
Tính cấp thiết	1
Mục tiêu của luận án	1
Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	1
Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án	2
Nội dung của luận án	2
Đóng góp của luận án về lý thuyết	2
Ý nghĩa thực tiễn	3
<b>NỘI DUNG</b>	<b>4</b>
<b>CHƯƠNG 1: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ HỆ THỐNG PHÂN LY ĐA BIẾN</b>	<b>7</b>
<b>1.1 ĐIỀU KHIỂN PHÂN LY QUÁ TRÌNH ĐA BIẾN</b>	<b>7</b>
1.1.1 Phân ly lý tưởng	7
1.1.2 Phân ly đơn giản hóa	8
1.1.3 Phân ly nghịch	8
<b>1.2 SO SÁNH ƯU NHƯỢC ĐIỂM CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN LY</b>	<b>9</b>
<b>1.3 ĐO LƯỜNG VÀ PHÂN TÍCH SỰ ỔN ĐỊNH BỀN VỮNG CỦA CÁC HỆ THỐNG ĐA BIẾN</b>	<b>10</b>
<b>CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ BỘ PHÂN LY ĐA BIẾN</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Lý thuyết chung dùng cho điều khiển phân ly đa biến</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Thiết kế bộ phân ly đơn giản hóa cho quá trình đa biến 2 x 2</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Thiết kế bộ phân ly đơn giản hóa cho quá trình đa biến 3x3</b>	<b>14</b>

**CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH VÀ SO SÁNH CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PI/PID ĐA BIẾN DÙNG CHO HỆ THỐNG PHÂN LY \_\_\_\_\_ 16****3.1 GIỚI THIỆU \_\_\_\_\_ 16****3.2 Phương pháp Ziegler-Nichols (Z - N) \_\_\_\_\_ 16****3.3 Phương pháp điều chỉnh BLT (BLT) \_\_\_\_\_ 17****3.4 Phương pháp SAT \_\_\_\_\_ 19**

## 3.4.1 Vòng lặp kín với chế độ dò tự động liên tục \_\_\_\_\_ 19

## 3.4.2 Thiết lập trọng số \_\_\_\_\_ 20

## 3.4.4 Các dạng nghiên cứu \_\_\_\_\_ 21

**3.5 Phương pháp thiết kế bộ điều khiển PI đa biến \_\_\_\_\_ 22****CHƯƠNG 4: PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PI/PID ĐA BIẾN \_\_\_\_\_ 27****4.1 Giới thiệu \_\_\_\_\_ 27****4.2 Phương án đề xuất \_\_\_\_\_ 27****CHƯƠNG 5: PHƯƠNG PHÁP NHẬN DẠNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN \_\_\_\_\_ 34****5.1 Phát triển phương pháp tổng bình phương giá trị sai lệch nhỏ nhất LS (Least-Squares) \_\_\_\_\_ 34****5.2 Áp dụng phương pháp LS để phân tích và nhận dạng hệ thống chung cất \_\_\_\_\_ 35****CHƯƠNG 6 : NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG, PHÂN TÍCH VÀ SO SÁNH VỚI CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ĐA BIẾN \_\_\_\_\_ 37****6.1 Các mô hình và phương pháp so sánh \_\_\_\_\_ 37**

## 6.2 Điều khiển cột chưng cất Wood &amp; Berry (WB) \_\_\_\_\_ 37

## 6.2 Điều khiển cột chưng cất Vinante &amp; Luyben (VL) \_\_\_\_\_ 39

## 6.3 Điều khiển cột chưng cất Ogunnaike &amp; Ray (OR) \_\_\_\_\_ 41

**CHƯƠNG 7 : MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM CỦA HỆ THỐNG CHUNG CẤT ETHANOL VÀ NƯỚC \_\_\_\_\_ 44****7.1 Giới thiệu chung \_\_\_\_\_ 44**

## 7.1.1 Phương pháp chưng cất \_\_\_\_\_ 44

## 7.1.2 Chưng cất gián đoạn \_\_\_\_\_ 44

7.1.3 Chung cất liên tục	45
<b>7.2 Tháp chưng cất Ethanol và nước</b>	<b>46</b>
<b>7.3 Giới thiệu sơ bộ về sản phẩm chưng cất</b>	<b>48</b>
<b>7.4. Quy trình chưng cất Ethanol và Nước</b>	<b>49</b>
<b>7.5. Một số hình ảnh thiết kế phần cơ khí của tháp chưng cất</b>	<b>51</b>
7.5.1 Thiết kế thùng nguyên liệu	51
7.5.2. Tính đường kính bồn gia nhiệt	51
7.5.3 Thiết kế tháp chưng cất	53
7.5.4 Chiều cao của tháp chưng cất	53
7.5.5 Kích và thiết kế khung	53
7.5.6 Tính toán thiết kế mâm lỗ	53
7.5.7 Tính toán thiết bị ngưng tụ	54
7.5.8 Bình đựng sản phẩm ngưng tụ	54
7.5.9 Mô hình thiết kế 3D	54
<b>7.6 Một số cụm chi tiết mô hình thực nghiệm</b>	<b>55</b>
<b>7.7 Ứng dụng thực nghiệm</b>	<b>59</b>
7.7.1 Ứng dụng bộ phân ly đơn giản hóa cho tháp chưng cất	59
7.7.2 Ứng dụng cho hệ bồn nước	60
<b>CHƯƠNG 8: KẾT LUẬN</b>	<b>65</b>
<b>I. KẾT LUẬN</b>	<b>65</b>
<b>II. KIẾN NGHỊ</b>	<b>65</b>
<b>CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU</b>	<b>66</b>

## Chương 1: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ HỆ THỐNG PHÂN LY ĐA BIẾN

### 1.1 ĐIỀU KHIỂN PHÂN LY QUÁ TRÌNH ĐA BIẾN

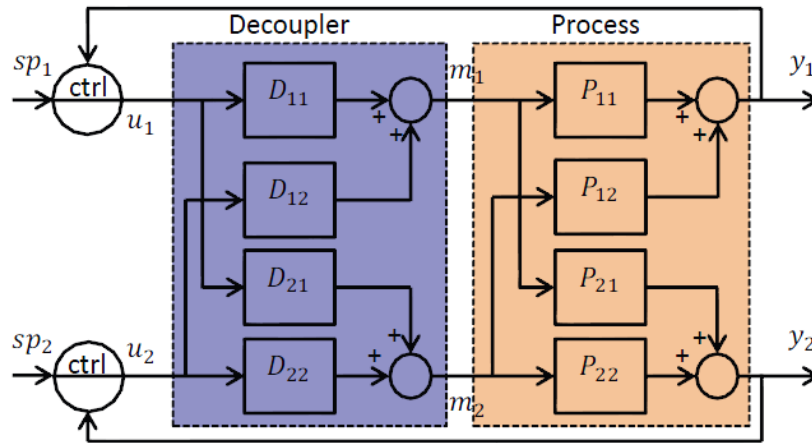
#### 1.1.1 Phân ly lý tưởng

$$G(s) = P(s)D(s) = \begin{bmatrix} P_{11}(s) & 0 \\ 0 & P_{22}(s) \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Trong đó  $D(s)$  là ma trận chức năng của quá trình phân ly

$$D(s) = \begin{bmatrix} D_{11}(s) & D_{12}(s) \\ D_{21}(s) & D_{22}(s) \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Mô hình hóa bộ phân ly lý tưởng thể hiện Hình 1.1:



**Hình 1.1** Cấu trúc điều khiển phân ly hai biến

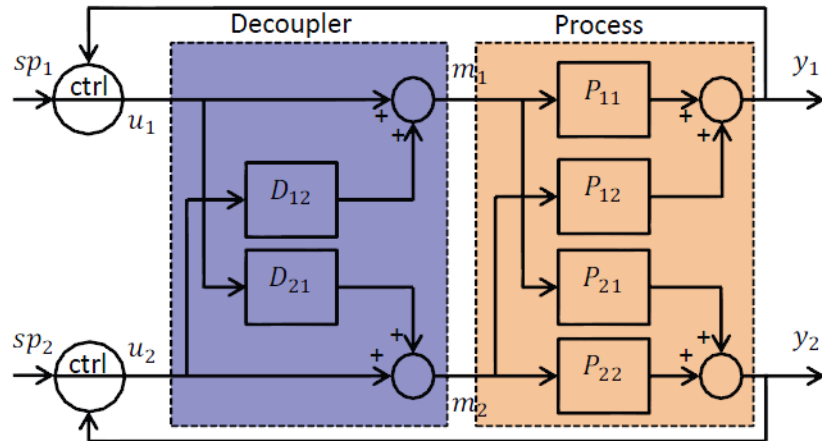
Dựa vào phương trình (1) ta có các phương trình được thiết lập

$$\begin{aligned} P_{11}(s)D_{11}(s) + P_{12}(s)D_{21}(s) &= P_{11}(s) \\ P_{11}(s)D_{12}(s) + P_{12}(s)D_{22}(s) &= 0 \\ P_{21}(s)D_{11}(s) + P_{22}(s)D_{21}(s) &= P_{22}(s) \\ P_{21}(s)D_{12}(s) + P_{22}(s)D_{22}(s) &= 0. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Các thành phần của bộ phân ly lý tưởng:

$$\begin{aligned} D_{11}(s) &= \frac{P_{11}(s)P_{22}(s)}{P_{11}(s)P_{22}(s) - P_{12}(s)P_{21}(s)} \\ D_{12}(s) &= \frac{-P_{12}(s)P_{22}(s)}{P_{11}(s)P_{22}(s) - P_{12}(s)P_{21}(s)} \\ D_{21}(s) &= \frac{-P_{11}(s)P_{21}(s)}{P_{11}(s)P_{22}(s) - P_{12}(s)P_{21}(s)} \\ D_{22}(s) &= \frac{P_{11}(s)P_{22}(s)}{P_{11}(s)P_{22}(s) - P_{12}(s)P_{21}(s)} \end{aligned} \quad (1.4)$$

### 1.1.2 Phân ly đơn giản hóa



**Hình 1.2** Sơ đồ khối bộ phân ly đơn giản hóa

Phân ly đơn giản hóa thiết lập đường chéo ma trận là 1

$$D(s) = \begin{bmatrix} 1 & D_{12}(s) \\ D_{21}(s) & 1 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Do đó phương trình sau được sử dụng để tách biến

$$\begin{aligned} P_{11}(s)D_{12}(s) + P_{12}(s)D_{22}(s) &= 0 \\ P_{21}(s)D_{12}(s) + P_{22}(s)D_{22}(s) &= 0 \end{aligned} \quad (1.6)$$

Với các giải pháp

$$\begin{aligned} D_{12}(s) &= -\frac{P_{12}(s)}{P_{11}(s)} \\ D_{21}(s) &= -\frac{P_{21}(s)}{P_{22}(s)} \end{aligned} \quad (1.7)$$

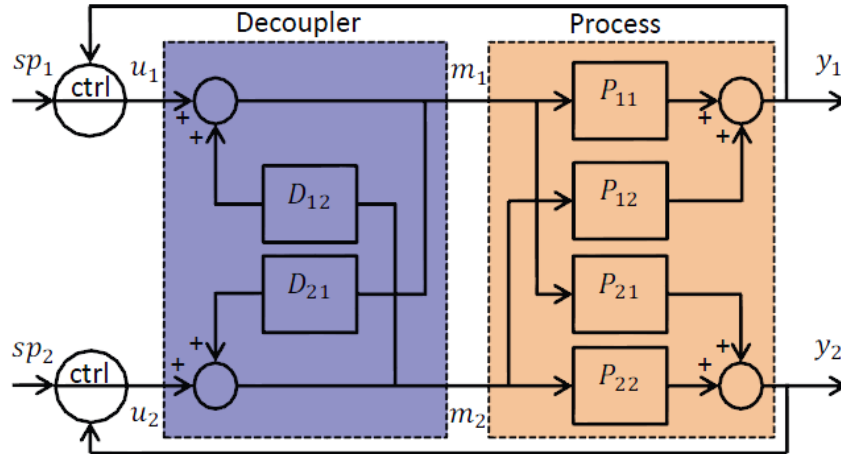
Quá trình phân ly được tách

$$G(s) = \begin{bmatrix} P_{11} - \frac{P_{12}P_{21}}{P_{22}} & 0 \\ 0 & P_{22} - \frac{P_{12}P_{21}}{P_{11}} \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

### 1.1.3 Phân ly nghịch

Tóm lại, phân ly nghịch để đạt được hiệu suất cao như công thức (1.1) bằng các yếu tố của bộ phân ly đơn giản hoá của công thức (1.5), điều này được thực hiện như Hình 1.3





**Hình 1.3** Sơ đồ khối phân ly nghịch

Khi sử dụng bộ phân ly nghịch cùng với các yếu tố phân ly của bộ phân ly đơn giản hoá

**1.2 SO SÁNH ƯU NHƯỢC ĐIỂM CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN LY**

Dựa trên cơ sở của ba phương pháp phân ly trên, ta có thể đưa ra được bảng nhận định tổng quát về những thuận lợi và hạn chế của từng phương pháp theo Bảng 1.1 dưới đây:

**Bảng 1. 1** So sánh ưu nhược điểm của các bộ phân ly

Đặc trưng của phương pháp phân ly	Phân ly lý tưởng	Phân ly đơn giản hóa	Phân ly ngược
Khi một vòng lặp được giữ ở chế độ điều khiển bằng tay thì đặc tính động học của những vòng còn lại là không thay đổi.	Có	Không	Có
Những phần tử của ma trận phân ly không chứa tổng của các hàm truyền đạt	Không	Có	Có
Ma trận hàm truyền của các chu trình phân ly mắc nối tiếp thì không có chứa tổng của các hàm truyền đạt	Có	Không	Có
Khi những vòng lặp được chuyển từ chế độ điều khiển bằng tay sang tự động thì khởi động hệ thống phân ly là đơn giản	Không	Không	Có
Thực hiện với khối chức năng Lead-lag và trễ có thể không làm giảm hiệu suất thực hiện của nó	Có	Có	Không

## 1.3 ĐO LƯỜNG VÀ PHÂN TÍCH SỰ ỔN ĐỊNH BỀN VỮNG CỦA CÁC HỆ THỐNG ĐA BIẾN

### 1.1.4 Tiêu chuẩn IAE (Integral Absolute Error)

Để đánh giá và so sánh các hệ thống điều khiển khác nhau, ta thường dùng tiêu chuẩn IAE như sau:

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (1.9)$$

Lưu ý: Giá trị IAE được xác định nhỏ đến mức có thể.

### 1.1.5 Tiêu chuẩn TV (Total Variation)

TV là một thước đo của sự êm ái của một tín hiệu và có thể được sử dụng để đánh giá các nỗ lực kiểm soát cần thiết. Nó được tính từ tổng số biến thể của biên thao tác bằng cách xem xét tổng của tất cả di chuyển lên và xuống:

$$TV = \sum_{i=1}^{\infty} |u_{i+1} - u_i| \quad (1.10)$$

Lưu ý: Giá trị TV được xác định nhỏ đến mức có thể.

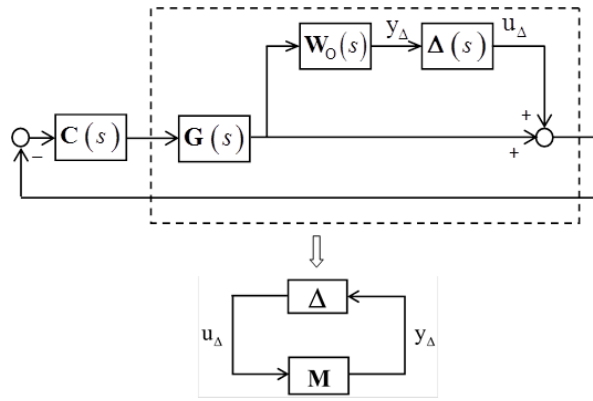
### 1.1.6 Tiêu chuẩn độ vọt lố (Overshoot)

Đáp ứng bị vọt lố khi chúng vượt quá giá trị xác lập trong cả hai trường hợp của điều khiển đó là đáp ứng thay đổi theo nhiễu và đáp ứng thay đổi theo giá trị đặt ban đầu.

### 1.1.7 Phân tích sự ổn định bền vững

Trong thiết kế hệ thống điều khiển, mô hình danh nghĩa là đại diện gần đúng của hệ thống thực tế. Sự khác biệt giữa một hệ thống thực tế và biểu diễn toán học của nó (mô hình danh nghĩa) được gọi là sự không phù hợp của mô hình (mô hình không chắc chắn) và có thể dẫn đến sai lệch.

Một hệ thống là ổn định nếu không nhạy cảm với biến đổi động học của hệ thống, kết hợp nhiều yếu tố không ổn định sẽ trở thành một nhiễu loạn phức. Thường sử dụng sự không ổn định của đa ngõ vào và ngõ ra để đánh giá chất lượng ổn định của hệ thống điều khiển đa biến, ở đây chúng ta xem xét sự không ổn định đa ngõ ra vì nó thường có ít hạn chế hơn sự không ổn định đa ngõ vào trong hiệu quả điều khiển. Khi mà ảnh hưởng độ nhạy của sự không ổn định ngõ vào ít hơn ngõ ra. Vì vậy, phân tích sự ổn định được thực hiện bằng cách xem xét không ổn định đa ngõ vào trong mỗi thông số của chu trình, được mô tả ở hình sau:



**Hình 1.4** Hệ thống điều khiển đa ngõ vào không ổn định và cấu trúc điều khiển M- $\Delta$

$$\Pi_o : \mathbf{G}_p(s) = [\mathbf{I} + \mathbf{E}_o(s)] \mathbf{G}(s) \quad \mathbf{E}_o(s) = \Delta(s) \mathbf{W}_o(s) \quad (1.11)$$

Trong đó  $\Pi_o$  được biết là mô hình nhiễu loạn ngõ ra,  $\mathbf{G}_p(s)$  là ma trận hàm truyền đạt  $n \times n$  của mô hình qui trình như là mức ảnh hưởng của nhiễu loạn của mô hình qui trình danh nghĩa của  $\mathbf{G}(s)$  do sự bất ổn định trong đa ngõ ra  $\mathbf{E}_o(s)$ . độ lớn của nhiễu loạn  $\mathbf{E}_o(s)$  có thể được đo trong điều kiện của một ràng buộc trên  $\bar{\sigma}(\mathbf{E}_o)$ .

$$\bar{\sigma}[\mathbf{E}_o(j\omega)] \leq \mathbf{W}_o(j\omega), \quad \forall \omega \quad (1.12)$$

Sự tổng hợp cấu trúc giá trị đơn SSV, được gọi là số  $\mu$ , đề xuất bởi Doyle được sử dụng ở đây để đo lường sự ổn định của hệ thống điều khiển. mọi khối nhiễu loạn đều có thể được sắp xếp lại thành các cấu trúc điều khiển chung theo Hình 2.1. Trong đó  $\Delta(s)$  là khối nhiễu loạn.  $M(s)$  liên quan tới tất cả các khối khác như khối điều khiển và các yếu tố trọng số.

Đối với một chu trình đa biến với bất ổn định đa ngõ ra, ma trận hàm truyền đạt từ ngõ ra tới ngõ vào của  $\Delta(s)$  có thể được xác định bởi:

$$\mathbf{M}(s) = -\mathbf{W}_o(s) \mathbf{G}(s) \mathbf{C}(s) [\mathbf{I} + \mathbf{G}(s) \mathbf{C}(s)]^{-1} \quad (1.13)$$

Trong đó  $\mathbf{G}_c(s)$  là bộ điều khiển.

Hệ thống điều khiển đa vòng lặp sẽ vẫn ổn định dưới sự bất ổn định đa biến ở ngõ ra nếu bất đẳng thức ràng buộc sau là thỏa mãn:

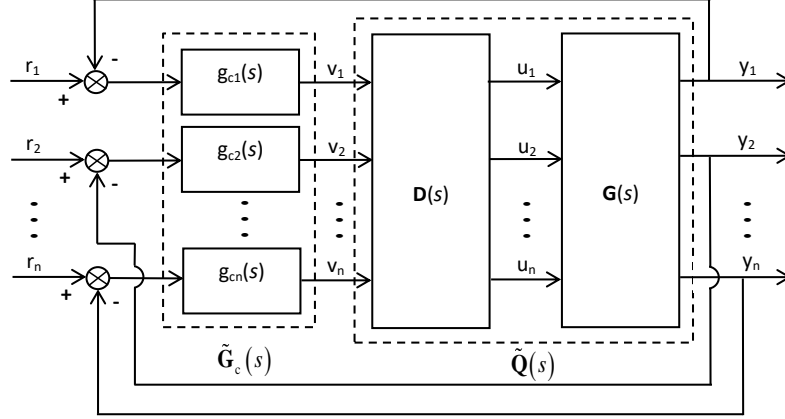
$$\mu[\mathbf{M}(j\omega)] = \mu \left\{ \mathbf{W}_o(j\omega) \mathbf{G}(j\omega) \mathbf{C}(j\omega) [\mathbf{I} + \mathbf{G}(j\omega) \mathbf{C}(j\omega)]^{-1} \right\} < 1, \quad \forall \omega \quad (1.14)$$

Lưu ý  $M(s)$  và  $\Delta(s)$  yêu cầu phải được ổn định.

## CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ BỘ PHÂN LY ĐA BIẾN

### 2.1 Lý thuyết chung dùng cho điều khiển phân ly đa biến

Xét hệ thống điều khiển phân ly được thể hiện ở **Hình 2.1**, trong đó,  $\tilde{\mathbf{G}}_c(s)$  là bộ điều khiển nhiều vòng kín,  $\mathbf{D}(s)$  là bộ phân ly.  $\mathbf{G}(s)$  và  $\tilde{\mathbf{Q}}$  lần lượt là quá trình đa biến và quá trình đa biến đã được phân ly:



**Hình 2.1** Mô hình thuật toán hệ thống điều khiển phân ly đa biến  $n \times n$

Mục tiêu của sự phân ly là để xác định ma trận phân ly  $\mathbf{D}$ , thỏa mãn điều kiện  $\mathbf{GD} = \tilde{\mathbf{Q}}$ , là một ma trận đường chéo.

$$\begin{bmatrix} g_{11} & \dots & g_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1} & \dots & g_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & q_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Từ (2.1), ta có các mối quan hệ khác như sau:

$$g_{i1}d_{1i} + \dots + g_{i,i-1}d_{i-1,i} + g_{ii}d_{ii} + g_{i,i+1}d_{i+1,i} + \dots + g_{in}d_{ni} = q_{ii} \quad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} g_{11} & \dots & g_{1,i-1} & g_{1,i} & g_{1,i+1} & \dots & g_{1,n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ g_{i-1,1} & \dots & g_{i-1,i-1} & g_{i-1,i} & g_{i-1,i+1} & \dots & g_{i-1,n} \\ g_{i+1,1} & \dots & g_{i+1,i-1} & g_{i+1,i} & g_{i+1,i+1} & \dots & g_{i+1,n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ g_{n1} & \dots & g_{n,i-1} & g_{n,i} & g_{n,i+1} & \dots & g_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{1i} \\ \vdots \\ d_{i-1,i} \\ d_{i,i} \\ d_{i+1,i} \\ \vdots \\ d_{ni} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Từ (2.2), ta có thể xác định thành phần thứ  $i$  của ma trận  $\tilde{\mathbf{Q}}$  như sau:

$$q_{ii} = g_{ii}d_{ii} + (g_{i1}d_{1i} + g_{i2}d_{2i} + \dots + g_{i,i-1}d_{i-1,i} + g_{i,i+1}d_{i+1,i} + \dots + g_{in}d_{ni}) = g_{ii}d_{ii} + \bar{\mathbf{g}}^{ir} \bar{\mathbf{d}}^{ic} \quad (2.4)$$

Từ (2.3), ta xác định được:

$$\bar{\mathbf{d}}^{ic} = -(\bar{\mathbf{G}}^i)^{-1} \bar{\mathbf{g}}^{ic} d_{ii} \quad (2.5)$$

Theo tính chất của ma trận thì:

$$\mathbf{G} (\text{adj}\mathbf{G}) = |\mathbf{G}|\mathbf{I} \quad (2.6)$$

Từ (2.6) ta rút ra được:

$$g_{i1}C_{i1} + \dots + g_{i,i-1}C_{i,i-1} + g_{ii}C_{ii} + g_{i,i+1}C_{i,i+1} + \dots + g_{in}C_{in} = |\mathbf{G}| \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} g_{11} & \dots & g_{1,i-1} & g_{1,i} & g_{1,i+1} & \dots & g_{1,n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ g_{i-1,1} & \dots & g_{i-1,i-1} & g_{i-1,i} & g_{i-1,i+1} & \dots & g_{i-1,n} \\ g_{i+1,1} & \dots & g_{i+1,i-1} & g_{i+1,i} & g_{i+1,i+1} & \dots & g_{i+1,n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ g_{n1} & \dots & g_{n,i-1} & g_{n,i} & g_{n,i+1} & \dots & g_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{i1} \\ \vdots \\ C_{i,i-1} \\ C_{ii} \\ C_{i,i+1} \\ \vdots \\ C_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Từ (2.8):

$$\bar{\mathbf{G}}^i \bar{\mathbf{C}}^{ic} + \bar{\mathbf{g}}^{ic} C_{ii} = \mathbf{0} \quad (2.9)$$

Do đó

$$\bar{\mathbf{g}}^{ic} = -\frac{\bar{\mathbf{G}}^i \bar{\mathbf{C}}^{ic}}{C_{ii}} \quad (2.10)$$

Thay (2.10) vào (2.5), ta tìm được:

$$\bar{\mathbf{d}}^{ic} = -(\bar{\mathbf{G}}^i)^{-1} \left( -\frac{\bar{\mathbf{G}}^i \bar{\mathbf{C}}^{ic}}{C_{ii}} \right) d_{ii} = d_{ii} \frac{\bar{\mathbf{C}}^{ic}}{C_{ii}} \quad (2.11)$$

Như vậy, thành phần (j,i) của bộ phân ly có thể được xác định như sau:

$$d_{ji} = d_{ii} \frac{C_{ij}}{C_{ii}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad j \neq i \quad (2.12)$$

Thành phần q<sub>ii</sub> được xác định theo công thức sau:

$$q_{ii} = d_{ii} \frac{g_{ii}}{\Lambda_{ii}} \quad (2.13)$$

Khi thiết kế bộ phân ly đơn giản hóa thành phần dii được mặc định là 1. Chính vì thế, ta có kết quả như sau:

$$d_{ji} = \frac{C_{ij}}{C_{ii}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad j \neq i \quad (2.14)$$

$$q_{ii} = \frac{g_{ii}}{\Lambda_{ii}} \quad (2.15)$$

## 2.2 Thiết kế bộ phân ly đơn giản hóa cho quá trình đa biến 2 x 2

Xét quá trình 2x2, có hàm truyền đạt như sau:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Bộ phân ly được tính theo (2.14) như sau:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{C_{21}}{C_{22}} \\ \frac{C_{12}}{C_{11}} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Trong đó,

$$\mathbf{C} = (\text{adj}\mathbf{G})^T = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{22} & -g_{21} \\ -g_{12} & g_{11} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Ta nhận được:

$$d_{21} = \frac{C_{12}}{C_{11}} = -\frac{g_{21}}{g_{22}} \quad (2.19)$$

$$d_{12} = \frac{C_{21}}{C_{22}} = -\frac{g_{12}}{g_{11}} \quad (2.20)$$

Quá trình bị phân ly được xác định theo (2.15), như sau:

$$q_{11} = \frac{g_{11}}{\Lambda_{11}} = g_{11} - \frac{g_{12}g_{21}}{g_{22}} \quad (2.21)$$

$$q_{22} = \frac{g_{22}}{\Lambda_{22}} = g_{22} - \frac{g_{12}g_{21}}{g_{11}} \quad (2.22)$$

## 2.3 Thiết kế bộ phân ly đơn giản hóa cho quá trình đa biến 3x3

Hàm truyền đạt chung cho hệ 3x3 được cho như sau:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Ma trận phân ly được xác định theo (2.14), như sau:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{C_{21}}{C_{22}} & \frac{C_{31}}{C_{33}} \\ \frac{C_{12}}{C_{11}} & 1 & \frac{C_{32}}{C_{33}} \\ \frac{C_{13}}{C_{11}} & \frac{C_{23}}{C_{22}} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Trong đó

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (g_{33}g_{22} - g_{32}g_{23}) & -(g_{33}g_{21} - g_{31}g_{23}) & -(g_{31}g_{22} - g_{32}g_{21}) \\ -(g_{33}g_{12} - g_{32}g_{13}) & (g_{33}g_{11} - g_{31}g_{13}) & -(g_{32}g_{11} - g_{31}g_{12}) \\ -(g_{22}g_{13} - g_{23}g_{12}) & -(g_{23}g_{11} - g_{21}g_{13}) & (g_{22}g_{11} - g_{21}g_{12}) \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Quá trình bị phân ly được xác định theo (2.15), như sau:

$$q_{11} = \frac{g_{11}}{\Lambda_{11}} = \left[ \frac{g_{11}(g_{22}g_{33} - g_{23}g_{32}) - g_{12}(g_{21}g_{33} - g_{23}g_{31}) - g_{13}(g_{31}g_{22} - g_{21}g_{32})}{g_{22}g_{33} - g_{23}g_{32}} \right] \quad (2.26)$$

$$q_{22} = \frac{g_{22}}{\Lambda_{22}} = \left[ \frac{g_{22}(g_{11}g_{33} - g_{13}g_{31}) - g_{21}(g_{12}g_{33} - g_{13}g_{32}) - g_{23}(g_{32}g_{11} - g_{31}g_{12})}{g_{11}g_{33} - g_{13}g_{31}} \right] \quad (2.27)$$

$$q_{33} = \frac{g_{33}}{\Lambda_{33}} = \left[ \frac{g_{33}(g_{11}g_{22} - g_{12}g_{21}) - g_{31}(g_{13}g_{22} - g_{12}g_{23}) - g_{32}(g_{23}g_{11} - g_{13}g_{21})}{g_{11}g_{22} - g_{12}g_{21}} \right] \quad (2.28)$$

## Chương 3: PHÂN TÍCH VÀ SO SÁNH CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PI/PID ĐA BIẾN DÙNG CHO HỆ THỐNG PHÂN LY

### 3.1 GIỚI THIỆU

Hiện nay có rất nhiều phương pháp thiết kế bộ điều khiển đa biến có thể sử dụng trong các hệ thống phân ly đa biến bao gồm các phương pháp như sau:

### 3.2 Phương pháp Ziegler-Nichols (Z - N)

Đây là phương pháp rất nổi tiếng được sử dụng để xác định các thông số của bộ điều khiển PID. Với mô hình cộng thêm thời gian trễ đầu tiên, các thông số PID có thể được thu được từ các phương trình sau:

$$K_c = 0.6K_u \quad ; \quad \tau_I = 0.5 T_u \quad ; \quad \tau_D = 0.125 T_u \quad (3.1)$$

Phương pháp thứ hai, được gọi là phương pháp quá trình phản ứng đường cong, bộ điều khiển PID có thể được lấy từ các phương trình sau:

$$K_{c1} = \frac{1 \tau_I}{K\theta}, \quad \tau_I = 2\theta; \quad \tau_D = 0.5\theta \quad (3.2)$$

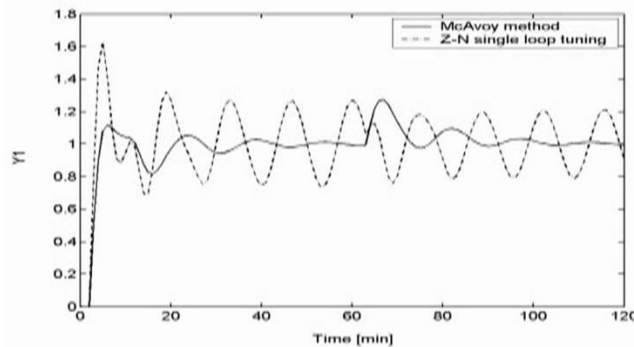
Xét tháp chưng cất tách methanol và nước (Wood và Berry) đã được nghiên cứu bởi Luyben [39]:

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{12.8e^{-s}}{16.7s+1} & \frac{-18.9e^{-3s}}{21s+1} \\ \frac{6.6e^{-7s}}{10.9s+1} & \frac{-19.4e^{-3s}}{14.4s+1} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

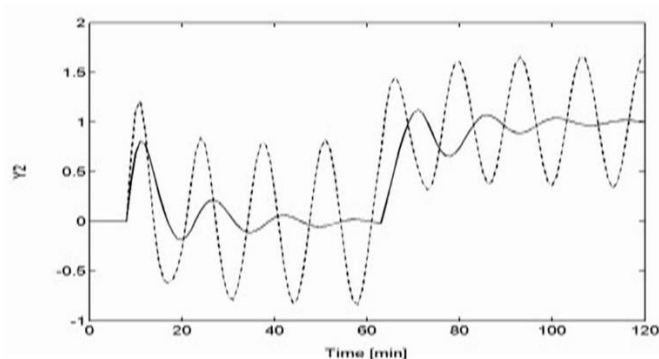
Để bộ điều khiển Z - N (3.1) vòng lặp đơn và bộ điều khiển PID đa vòng được thiết kế bởi McAvoy [40] có thể đạt được là:

$$C_{Z-N}(s) = \text{diag} \left[ 0.945 \left( 1 + \frac{1}{3.26s} \right), -0.196 \left( 1 + \frac{1}{9.00s} \right) \right] \quad (3.4)$$

$$C_{Z-N}(s) = \text{diag} \left[ 0.647 \left( 1 + \frac{1}{10.2s} \right), -0.134 \left( 1 + \frac{1}{10.2s} \right) \right] \quad (3.5)$$





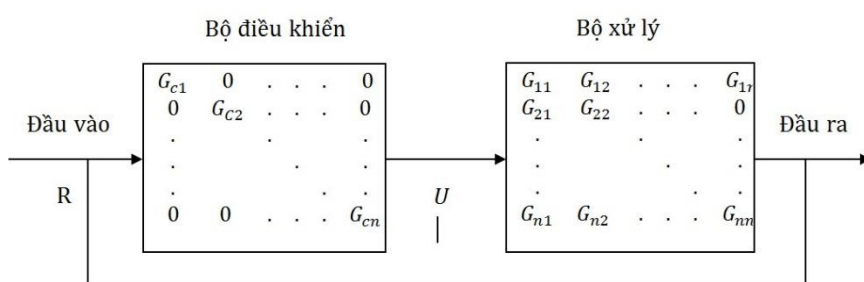


**Hình 3.1** Bước đáp ứng cho tháp WB bằng phương pháp McAvoy.

Hình 3.1 cho thấy điều chỉnh vòng lặp đơn (cả vòng lặp tự động) là không thích hợp để ứng dụng cho hệ thống MIMO vì các phản ứng trong vòng lặp kín không ổn định.

### 3.3 Phương pháp điều chỉnh BLT (BLT)

Những điều chỉnh lớn nhất của Log môđun (BLT) cung cấp một tiêu chuẩn điều chỉnh. Phương pháp luận do Luyben đề xuất vào năm 1986 [39].



**Hình 3.2** Sơ đồ khối hệ thống điều khiển đa vòng.

Trường hợp lý tưởng quan trọng nhất trong phương pháp này là điều chỉnh tối đa biên độ vòng lặp, khi đó xác định cao điểm của đỉnh cộng hưởng trên biên độ theo ý tưởng của Bode bằng hàm truyền vòng lặp kín.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = G(s)G_c(s) (1 + G(s)G_c(s))^{-1} \quad (3.6)$$

Trong đó,  $G(s)$  là ma trận của hàm truyền vòng lặp mở có dạng

$$G_{ij}(s) = \frac{K_{ij}(\tau_{1ij}+1)e^{-D_{ij}s}}{(\tau_{2ij}+1)(\tau_{3ij}+1)(\tau_{4ij}+1)} \quad (3.7)$$

Bộ điều khiển phản hồi  $G_c(s)$  là ma trận đường chéo khi chúng ta sử dụng bộ điều khiển N – SISO.

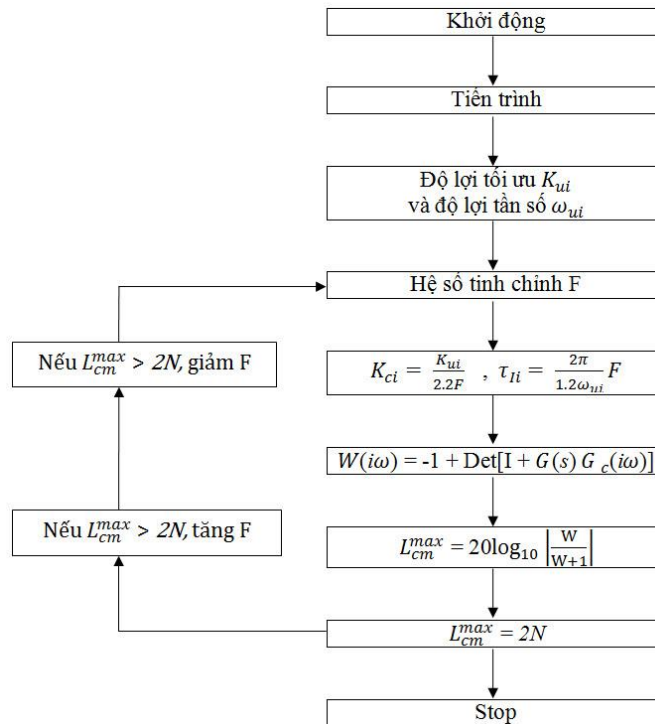
$$G_C(s) = \begin{bmatrix} G_{c1}(s) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & G_{c2}(s) & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & & G_{c3}(s) & & 0 \\ \cdot & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & G_{cn}(s) \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Trong đó

$$G_{ci}(s) = K_{ci} \left( 1 + \frac{1}{\tau_{Ii}s} \right) \quad (3.9)$$

Hình 3.2 cho thấy quy trình điều chỉnh BLT.

Bước đầu tiên trong thủ thuật là tính toán BLT theo các thiết lập Ziegler-Nichols cho vòng lặp đơn. Độ lợi cuối cùng và tần số cơ bản của mỗi hàm truyền  $G_{ii}(s)$  được tính theo cách cổ điển SISO. Độ lợi cho cả bộ điều khiển phản hồi  $K_c$  được tính bằng cách chia độ lợi Ziegler-Nichols cho hệ số F. Giá trị F lớn thì hệ thống sẽ ổn định hơn nhưng sẽ chậm hơn thiết lập và trong đáp ứng. Các tham số điều khiển được điều chỉnh để tối đa biên độ trong vòng lặp kín + 2N dB.



**Hình 3.3** Sơ đồ khối cho phương pháp điều chỉnh BLT

(N: thứ tự của quá trình); độ lợi và thời gian lặp lại phải được xác định để cho toàn hệ thống ổn định và làm cho đáp ứng có thể chấp nhận tải.

Số lượng các thành phần của điểm (-1, 0) thực hiện bằng cách thay đổi  $W(i\omega)$  như  $\omega$  từ 0 đến  $\infty$  của vế phải phương trình đặc tính vòng lặp kín.

Bộ điều khiển phản hồi được thiết kế để cung cấp cho một đỉnh điểm cộng hưởng tối đa trong vòng lặp kín logarit mô đun.

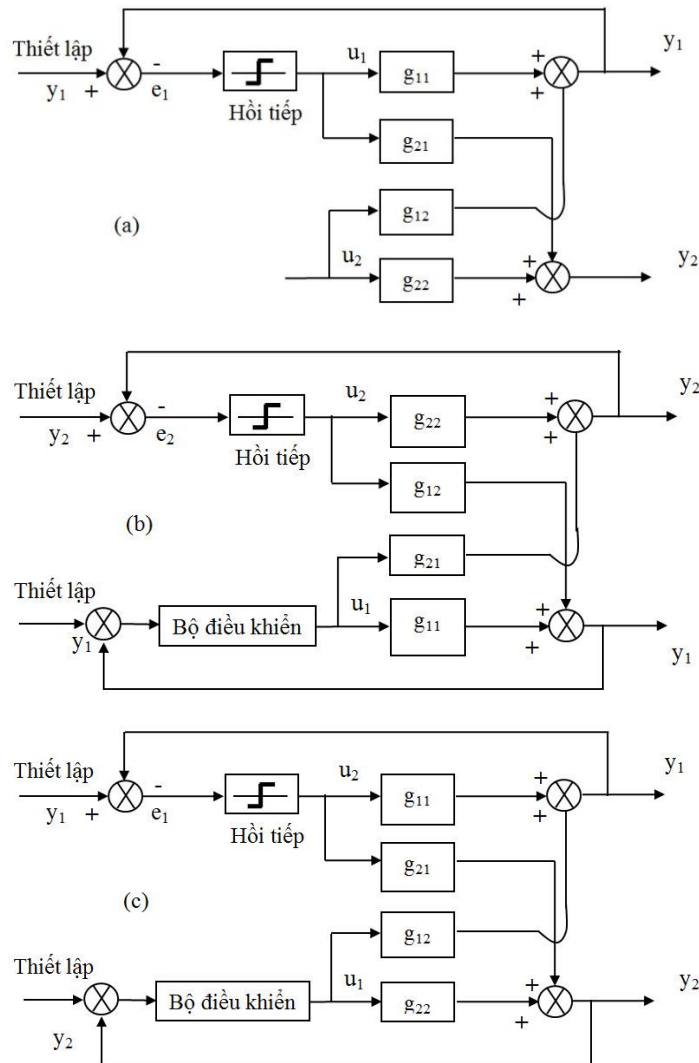
$$L_{cm} = 20 \log_{10} \left| \frac{W}{W+1} \right| \quad (3.10)$$

Đỉnh điểm của  $L_{cm}$  trên toàn bộ dải tần số là điều chỉnh tối đa biên độ vòng lặp  $L_{cm}^{max}$ , yếu tố F là khác nhau cho đến khi  $L_{cm}^{max}$  bằng  $2N$ , trong đó N là thứ tự của hệ thống. Đối với  $N = 1$ , trong trường hợp SISO, chúng ta có được + 2 dB tối đa cho vòng lặp kín tiêu chuẩn tối đa biên độ. Đối với một hệ thống 2x2, giá trị cực đại được sử dụng là + 4  $L_{cm}^{max}$ ; với 3x3 giá trị cực đại được sử dụng là + 6 dB.

### 3.4 Phương pháp SAT

#### 3.4.1 Vòng lặp kín với chế độ dò tự động liên tục

Quá trình điều chỉnh của hệ thống MIMO chuyển tiếp tuần tự trong Hình 3.4 dưới đây:



**Hình 3.4** Thủ thuật điều chỉnh tuần tự cho các hệ thống 2x2.

Bước 1: Đầu tiên kiểm tra thông tin phản hồi giữa  $y_1$  và  $u_1$  trong khi vòng lặp 2 ở chế độ bằng tay (hình 3.4a). Căn cứ vào bước này, chúng ta cài đặt bộ điều khiển PI/PID Ziegler - Nichols từ độ lợi tối ưu đến tần số tối ưu.

Bước 2: Các bộ điều khiển có thể được thiết kế cho vòng lặp 2 bằng cách sử dụng các thử nghiệm phản hồi thứ hai giữa  $y_2$  và  $u_2$  trong khi vòng lặp 1 là tự động (hình 3.4b).

Bước 3: Phản hồi thực nghiệm được đặt giữa  $y_1$  và  $u_1$  (hình 3.4c). Trong khi điều khiển trên vòng lặp 2 được đưa vào tự động; do đó, một điều chỉnh hằng số thiết lập mới được xác định cho bộ điều khiển trong vòng lặp 1.

Bước 4: Quy trình này lặp đi lặp lại cho đến khi các cài đặt bộ điều khiển hội tụ. Nếu vòng lặp 2 được đóng lại, động lực kết hợp để điều chỉnh của vòng đầu tiên như sau:

$$g_{11}(s) = \frac{g_{11}(s)g_{21}(s)g_2(s)}{g_{22}(s)[1 + g_{22}(s)K_2(s)]} \quad (3.11)$$

Điều chỉnh của vòng lặp kín này sẽ trở nên giống nhau để điều chỉnh nhanh hơn các vòng lặp trước.

### 3.4.2 Thiết lập trọng số

Với thiết lập trọng số, quy tắc điều khiển PI sẽ là:

$$u(t) = K_p[(\beta r(t) - y(t)) + \frac{1}{T_i} \int (r(t) - y(t)) dt] \quad (3.12)$$

Trong đó,  $\beta$  thông thường ở đoạn giữa 0 và 1.

Hàm truyền vòng lặp kín liên quan đến các điểm thiết lập,  $R(s)$ , và kết quả đầu ra hệ thống,  $Y(s)$ , được cho bởi:

$$G_{c(s)} = \{ I + G(s)K(s) \}^{-1} G(s)K(s)G(s)K_p \{ \beta + K_i(s) \} \quad (3.13)$$

Trong đó:

$$K(s) = K_p \{ I + K_i(s) \}; \quad K_p = \text{dig}(K_{p1}, K_{p2}, \dots, K_{pm})$$

$$K_i(s) = \text{diag} \left( \frac{1}{T_{i1}S}, \frac{1}{T_{i2}S}, \dots, \frac{1}{T_{im}S} \right); \quad \beta = \text{diag}(\beta_1, \beta_1, \dots, \beta_m)$$

### 3.4.3 Những ưu điểm và nhược điểm của phương pháp SAT

STT	Ưu điểm	Khuyết điểm
1	Phương pháp làm cho vấn đề đơn giản.	Không cần thiết để tất cả các bộ điều khiển nhận hàm truyền riêng lẻ cho mục đích điều chỉnh.

2	Xác định xử lý thông tin xung quanh các tần số quan trọng, tần số tối ưu là tần số tại góc pha là $-\pi$ .	Các vòng lặp được thiết kế trước đó thường nhanh hơn so với các vòng lặp sau.
3	Đây là một kiểm nghiệm vòng lặp kín để quá trình sẽ không đi qua từ điểm làm việc theo lý thuyết.	Đối với thời gian chết cao và quá trình phi tuyến tính, đôi khi nó có được vọt lố cao sự xáo trộn.
4	Với quá trình các hằng số thời gian dài là phương pháp tiết kiệm thời gian nhiều hơn bước thông thường hoặc kiểm nghiệm xung. Thời gian thực nghiệm gần tương đương từ 2 đến 4 lần so với giai đoạn cuối cùng.	Đôi khi có hiệu suất, độ bền vững kém.
5	Nó hoạt động một cách hiệu quả.	Các giá trị IAE lớn đáng kể.
6	Đó là phương pháp chính xác hơn các phương pháp khác.	

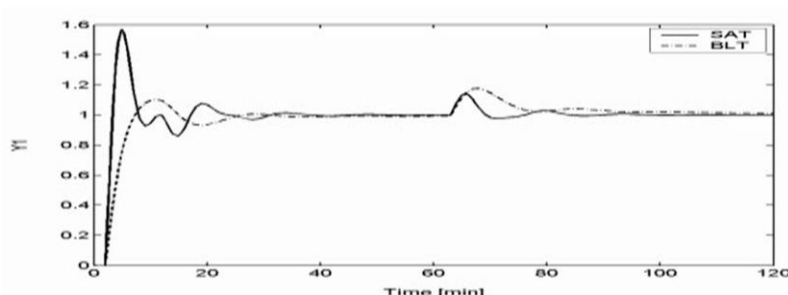
### 3.4.4 Các dạng nghiên cứu

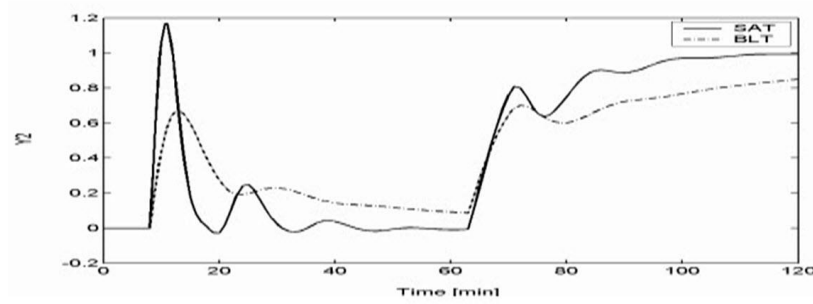
#### 3.4.4.1 Ví dụ 1: Tháp WB

Chúng ta có thể thiết kế bộ điều khiển cho tháp WB theo phương pháp thông tin hồi tiếp được thể hiện:

$$C(s) = \text{diag} \left[ 0.868 \left( 1 + \frac{1}{3.246s} \right), -0.0868 \left( 1 + \frac{1}{10.4s} \right) \right] \quad (3.14)$$

Hình 3.2 là sự so sánh giữa phương pháp SAT và BLT, chúng ta cũng có thể nói phương pháp SAT giúp cho hệ thống kiểm soát cân bằng hơn và hiệu suất tốt hơn so với phương pháp BLT. Tuy nhiên, phương pháp SAT này khiến hệ thống điều khiển vọt lố nhiều hơn là BLT.





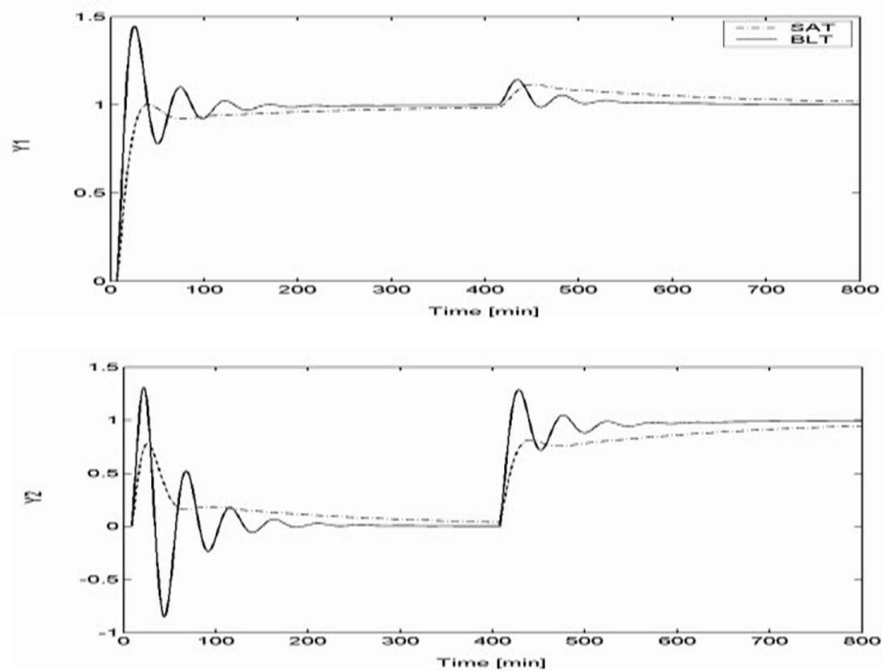
**Hình 3.5** Các bước đáp ứng cho tháp WB bằng phương pháp SAT.

### 3.4.4.2 Ví dụ 2: Tháp WW

Bằng việc sử dụng phương pháp SAT, chúng ta có thể thiết kế bộ điều khiển cho tháp WW.

$$C(s) = \text{diag} \left[ 48.1 \left( 1 + \frac{1}{18.99s} \right), -25.4 \left( 1 + \frac{1}{26.3s} \right) \right] \quad (3.15)$$

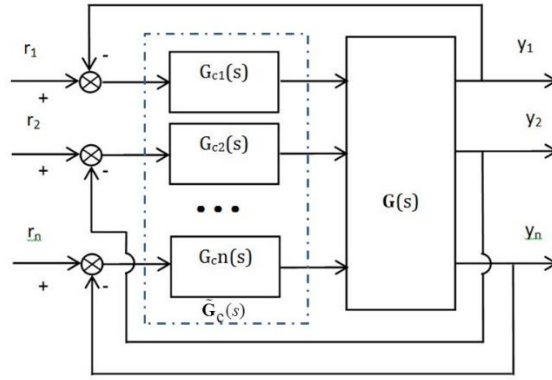
Hình 3.3 minh họa các đáp ứng thay đổi điểm thiết lập vòng lặp kín cho tháp WW. Phương pháp SAT cũng làm cho hệ thống điều khiển dao động và vọt lố.



**Hình 3.6** Các bước đáp ứng cho tháp WW bằng phương pháp SAT.

## 3.5 Phương pháp thiết kế bộ điều khiển PI đa biến

Dựa trên tương tác vòng kín và RGA [62]



**Hình 3.7** Hệ thống điều khiển đa vòng lặp

Xét các hệ thống điều khiển hồi tiếp đa biến, trong đó  $\mathbf{G}(s)$  là một quá trình đa biến  $n \times n$  và bộ điều khiển đa biến  $\tilde{\mathbf{G}}_c(s)$  thể hiện ở Hình 3.7. Ma trận hàm truyền độ nhạy và ma trận hàm truyền vòng kín của hệ thống được ký hiệu lần lượt là  $\mathbf{S}(s)$  và  $\mathbf{H}(s)$  và được xác định như sau:

$$\mathbf{S}(s) = [\mathbf{I} + \mathbf{G}(s)\tilde{\mathbf{G}}_c(s)]^{-1} \quad (3.16)$$

$$\mathbf{H}(s) = \mathbf{I} - \mathbf{S}(s) = [\mathbf{I} + \mathbf{G}(s)\tilde{\mathbf{G}}_c(s)]^{-1} \mathbf{G}(s)\tilde{\mathbf{G}}_c(s) \quad (3.17)$$

Ma trận  $\mathbf{G}(s)$  có thể được khai triển theo chuỗi Maclaurin áp dụng cho ma trận tuyến tính và liên tục:

$$\mathbf{G}(s) = \mathbf{G}_0 + \mathbf{G}_1 s + \mathbf{G}_2 s^2 + \mathcal{O}(s^3) \quad (3.18)$$

Ngoài ra, bộ điều khiển đa biến  $\tilde{\mathbf{G}}_c(s)$  cũng có thể được khai triển theo chuỗi Maclaurin như sau:

$$\tilde{\mathbf{G}}_c(s) = \frac{1}{s} [\tilde{\mathbf{G}}_{c0} + \tilde{\mathbf{G}}_{c1} s + \tilde{\mathbf{G}}_{c2} s^2 + \mathcal{O}(s^3) + \dots] \quad (3.19)$$

Trong đó ma trận đường chéo  $\tilde{\mathbf{G}}_{c0}, \tilde{\mathbf{G}}_{c1}, \tilde{\mathbf{G}}_{c2}$  tương ứng với khâu tích phân, khâu tỷ lệ, và khâu đạo hàm của bộ điều khiển PID đa biến một cách tương ứng.

Ta biết rằng, bộ điều khiển PI đa biến tiêu chuẩn có dạng như sau:

$$\tilde{\mathbf{G}}_c(s) = \frac{1}{s} [\tilde{\mathbf{K}}_i + \tilde{\mathbf{K}}_c s] \quad (3.20)$$

Thay phương trình (3.18) và (3.19) vào phương trình (3.17), ta nhận được khai triển Maclaurin trong miền “ $s$ ” cho ma trận  $\mathbf{H}(s)$ :

$$\mathbf{H}(s) = \mathbf{I} - (\mathbf{G}_0 \tilde{\mathbf{G}}_{c0})^{-1} s + (\mathbf{G}_0 \tilde{\mathbf{G}}_{c0})^{-1} (\mathbf{I} + \mathbf{G}_1 \tilde{\mathbf{G}}_{c0} + \mathbf{G}_0 \tilde{\mathbf{G}}_{c1}) (\mathbf{G}_0 \tilde{\mathbf{G}}_{c0})^{-1} s^2 + \mathcal{O}(s^3) \quad (3.21)$$

Theo Lee [14], đáp ứng đầu ra mong muốn của một vòng kín thứ  $i$ ,  $R_i$  được thiết lập như sau:

$$R_i = \frac{G_{ii+}(s)}{(\lambda_{ci}s+1)^{r_i}} = G_{ii+}(s)f \quad (3.22)$$

Trong đó,  $f$  là bộ lọc bậc thấp với giá trị độ lợi bằng 1 và được xác định bởi:

$$f = \frac{1}{(\lambda_{ci}s+1)^{r_i}} \quad (3.23)$$

Ghi chú  $\lambda_c$  là hằng số thời gian mong muốn của vòng kín. Lũy thừa  $r$  được chọn là một số nguyên sao cho bộ điều khiển thiết kế thể hiện đúng bản chất vật lý của các hệ thống thực. Khi giá trị cao cho  $r$ , hệ thống điều khiển sẽ nâng cao được tính ổn định, tuy nhiên đáp ứng đầu ra của hệ thống sẽ không được tốt. Do vậy, trong phương pháp đề xuất  $r$  được chọn bằng 1 để nâng cao đáp ứng đầu ra của hệ thống đa biến.  $G_{ii+}(s)$  là thành phần không khả nghịch của phân tử thứ  $i$  của  $G_{ii}$ .

$$G_{ii+}(s) = \prod_{j,k} \left( \frac{-\tau_j s + 1}{\tau_j s + 1} \right) \left( \frac{\tau_k^2 s^2 - 2\tau_k \zeta_k s + 1}{\tau_k^2 s^2 + 2\tau_k \zeta_k s + 1} \right) e^{-\theta_{ii}s} \quad (3.24)$$

Trong đó,  $\theta_{ii}$  là hằng số thời gian trễ tại vòng lặp thứ  $i$  và hằng số thời gian của quá trình được biểu diễn bởi  $\tau$ .

Đáp ứng vòng kín mong muốn của các phân tử đường chéo được tính bằng:

$$\tilde{\mathbf{R}}(s) = \text{diag}[R_1, R_2, \dots, R_n] \quad (3.25)$$

Mở rộng  $\tilde{\mathbf{R}}(s)$  trong khai triển Maclaurin, ta nhận được:

$$\tilde{\mathbf{R}}(s) = \tilde{\mathbf{R}}_0 + \tilde{\mathbf{R}}_1 s + \tilde{\mathbf{R}}_2 s^2 + \mathcal{O}(s^3) \quad (3.26)$$

Sau với phương trình (3.21) và phương trình (3.26), ta được:

$$\tilde{\mathbf{R}}_0 = \mathbf{I} \quad (3.27)$$

$$\tilde{\mathbf{R}}_1 = -\text{diag} \left[ (\mathbf{G}_0 \tilde{\mathbf{G}}_{c0})^{-1} \right] \quad (3.28)$$

$$\tilde{\mathbf{R}}_2 = \text{diag} \left[ (\mathbf{G}_0 \tilde{\mathbf{G}}_{c0})^{-1} (\mathbf{I} + \mathbf{G}_1 \tilde{\mathbf{G}}_{c0} + \mathbf{G}_0 \tilde{\mathbf{G}}_{c1}) (\mathbf{G}_0 \tilde{\mathbf{G}}_{c0})^{-1} \right] \quad (3.29)$$

Ta có thể nhận được ma trận chức năng các thời gian hằng số tích phân của bộ điều khiển PID đa biến bằng cách sắp xếp lại phương trình (3.28):

$$\tilde{\mathbf{K}}_i = \tilde{\mathbf{G}}_{c0}^{-1} = -\text{diag}(\mathbf{G}_0^{-1} \tilde{\mathbf{R}}_1^{-1}) \quad (3.30)$$



Xem xét các đặc tính của hệ thống trên miền tần số cho thấy rằng hệ thống trở nên nổi bật ở tần số cao  $\|G(j\omega)G_c(j\omega)\|=1$ . Do đó, ma trận hàm truyền đạt vòng kín có thể được tính xấp xỉ như sau:

$$\mathbf{H}(s) = \left[ \mathbf{I} + \mathbf{G}(s)\tilde{\mathbf{G}}_c(s) \right]^{-1} \mathbf{G}(s)\tilde{\mathbf{G}}_c(s) \approx \mathbf{G}(s)\tilde{\mathbf{G}}_c(s) \quad (3.31)$$

Điều này cho thấy thành phần tỷ lệ của bộ điều khiển có thể được xác định phụ thuộc chủ yếu vào các phần tử đường chéo chính và loại bỏ các yếu tố ngoài đường chéo của quá trình đa biến:

$$\tilde{\mathbf{K}}_c = \tilde{\mathbf{G}}_{c1} = \left[ \tilde{\mathbf{G}}_0^{-1} (\tilde{\mathbf{R}}_1^{-1} \tilde{\mathbf{R}}_2 - \tilde{\mathbf{R}}_1 + \tilde{\mathbf{G}}_1 \mathbf{G}_0^{-1}) \tilde{\mathbf{R}}_1^{-1} \right] \quad (3.32)$$

Đối với quá trình đa biến có nhiều thời gian trễ theo mô hình FOPDT tiêu chuẩn, qui luật điều khiển để xác định khâu phân tích có thể được xác định bởi các bước sau:

$$\left[ \tilde{\mathbf{R}}_1 \right]_i = \left[ \tilde{\mathbf{R}}'(s) \Big|_{s=0} \right]_i = -(\lambda_{ci} + \theta_i) \quad (3.33)$$

$$\left[ \tilde{\mathbf{R}}_2 \right]_i = \left[ \frac{1}{2} \tilde{\mathbf{R}}''(s) \Big|_{s=0} \right]_i = \frac{(\lambda_{ci} + \theta_{ii})(2\lambda_{ci} + \theta_{ii})}{2} - \frac{\lambda_{ci}\theta_{ii}}{2} \quad (3.34)$$

Thay thế phương trình (3.33) vào phương trình (3.30) và sắp xếp lại, ta nhận được hàm độ lợi tích phân thứ  $i$  của bộ điều khiển PID đa biến:

$$K_{ii} = \frac{\lambda_{ii}}{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \quad (3.35)$$

Trong đó  $K_{ii}$  là độ lợi của thành phần đường chéo thứ  $ii$  của ma trận hàm truyền đạt của quá trình đa biến.

Ngoài ra, các phần tử đường chéo của ma trận RGA [3] được xác định theo công thức:

$$\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{G}_0 \otimes \left[ \mathbf{G}_0^{-1} \right]^T \quad (3.36)$$

Trong đó,  $\otimes$  là thuật toán nhân phần tử tương ứng với từng thành phần của hai ma trận.  $\mathbf{G}_0$  là ma trận độ lợi tại trạng thái ổn định khi ở tần số bằng 0.

Thay phương trình (3.33) và (3.34) vào phương trình (3.32), độ lợi tỷ lệ thứ  $i$  của bộ điều khiển đa biến được thành lập như sau:

$$K_{ci} = \frac{1}{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \left[ \lambda_{ii}(\theta_{ii} + \tau_{ii}) - \frac{\theta_{ii}(\theta_{ii} + 2\lambda_{ci})}{2(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \right] \quad (3.37)$$

Trong đó,  $\tau_{ii}$  là hằng số thời gian của thành phần thứ  $ii$  của quá trình.

Đối với mô hình có nhiều thời gian trễ khác nhau, phương pháp đề xuất có thể được sử dụng để có được các thông số điều khiển PI đa biến thể hiện trong bảng 3.1.

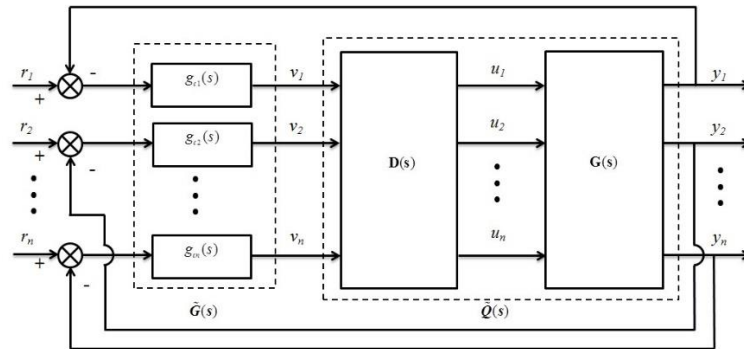
**Bảng 3.1** Tham số của bộ điều khiển PI đề xuất với thời gian trễ

Mô hình	$K_{Ci}$	$\tau_{ii}$
$\frac{Ke^{-\theta s}}{(\tau s + 1)}$	$\frac{1}{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \left[ \lambda_{ii}(\theta_{ii} + \tau_{ii}) - \frac{\theta_{ii}(\theta_{ii} + 2\lambda_{ci})}{2(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \right]$	$\frac{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})}{\lambda_{ii}} K_{Ci}$
$\frac{Ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$	$\frac{1}{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \left[ \lambda_{ii}(\theta_{ii} + \tau_1 + \tau_2) - \frac{\theta_{ii}(\theta_{ii} + 2\lambda_{ci})}{2(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \right]$	$\frac{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})}{\lambda_{ii}} K_{Ci}$
$\frac{(\tau_3 s + 1)Ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$	$\frac{1}{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \left[ \lambda_{ii}(\theta_{ii} + \tau_1 + \tau_2 - \tau_3) - \frac{\theta_{ii}(\theta_{ii} + 2\lambda_{ci})}{2(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \right]$	$\frac{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})}{\lambda_{ii}} K_{Ci}$
$\frac{(-\tau_3 s + 1)Ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$	$\frac{1}{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \left[ \lambda_{ii}(\theta_{ii} + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3) - \frac{\theta_{ii}(\theta_{ii} + 2\lambda_{ci})}{2(\theta_{ii} + \lambda_{ci})} \right]$	$\frac{K_{ii}(\theta_{ii} + \lambda_{ci})}{\lambda_{ii}} K_{Ci}$

## Chương 4: PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PI/PID ĐA BIẾN

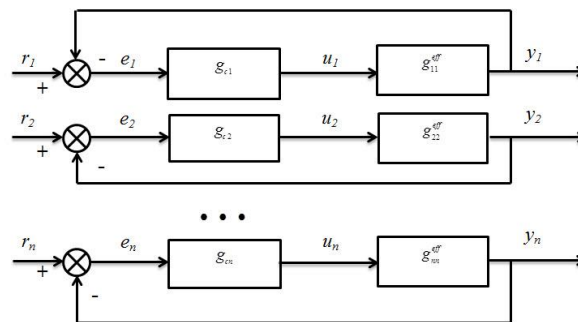
### 4.1 Giới thiệu

### 4.2 Phương án đề xuất



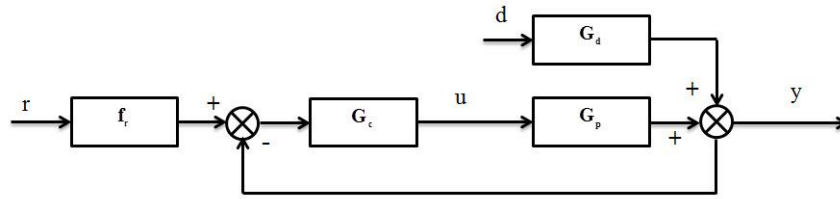
**Hình 4. 1** Cấu trúc của hệ thống điều khiển phân ly đa biến

Trên cơ sở cấu trúc của hệ phân ly đơn giản hóa (Hình 4.1) ta thấy rằng hệ thống điều khiển hồi tiếp đa biến ( $n \times n$ ) đã được phân ly thành một tập hợp  $n$  hệ thống đơn biến như được trình bày ở Hình 4.2

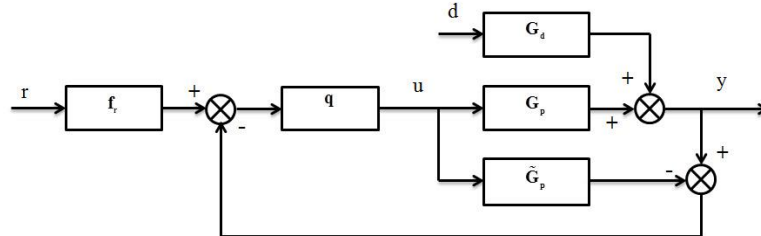


**Hình 4. 2** Hệ thống nhiều vòng kín và mô hình phân ly thành các hệ thống đơn biến tương ứng

Trong đó,  $g_{ii}^{eff}$  là hàm truyền đạt thứ  $ii$  của từng vòng kín của hệ thống đa biến sau khi đã phân ly thành các hệ thống đơn biến tương ứng.



**Hình 4.3** Cấu trúc của hệ thống điều khiển đơn biến hồi tiếp tiêu chuẩn



**Hình 4.4** Cấu trúc của hệ thống điều khiển đơn biến theo lý thuyết IMC

Trong trường hợp này việc thiết kế bộ điều khiển trở nên đơn giản hơn rất nhiều khi so sánh với việc thiết kế bộ điều khiển cho hệ đa biến, do bộ phân ly đơn giản hóa đã tách mỗi tương tác bên trong của quá trình đa biến (process interaction) và tương tác vòng kín (closed-loop interaction). Có nghĩa là ta chỉ cần thiết kế bộ điều khiển cho hệ đơn biến với đối tượng điều khiển là hàm truyền đạt tương đương  $g_{ii}^{eff}$

#### 4.4.1 Phương pháp chung để thiết kế bộ điều khiển PI-IMC

Theo Hình 4.2 ta có:

$G_p(s) = g_{ii}^{eff}$  là hàm truyền đạt của quá trình đơn biến

$\tilde{G}_p(s)$ ,  $G_c(s)$ ,  $q(s)$ , và  $f_r(s)$  lần lượt là hàm truyền đạt theo mô hình cấu trúc IMC, bộ điều khiển đơn biến, bộ lọc IMC, bộ lọc tín hiệu đầu vào.

Cho rằng  $y(s)$ ,  $r(s)$ ,  $d(s)$  và  $u(s)$  lần lượt là tín hiệu điều khiển đầu ra, giá trị đặt đầu vào, tín hiệu nhiễu đầu vào và tín hiệu thao tác.

Nếu mô hình không bị sai lệch  $G_p(s) = \tilde{G}_p(s)$  khi đó đáp ứng theo giá trị đặt (*set-point*) và đáp ứng khử nhiễu (*disturbance*) trong cấu trúc điều khiển IMC được thành lập như sau:

$$y(s) = G_p(s)q(s)f_r(s)r(s) + [1 - \tilde{G}_p(s)q(s)]G_d(s)d(s) \quad (4.1)$$

Mô hình của quá trình  $\tilde{G}_p(s)$  được tách làm hai phần như sau:

$$\tilde{G}_p(s) = p_m(s)p_A(s) \quad (4.2)$$

Trong đó:

$P_m(s)$  là một phần của mô hình có thể được đảo ngược khi thiết kế bộ điều khiển (minimum phase).

$P_A(s)$  là một phần của mô hình không thể được đảo ngược khi thiết kế bộ điều khiển (non-minimum phase).

Lưu ý rằng thành phần không thể đảo ngược bao gồm thời gian trễ, Zê-rô nằm bên phải của mặt phẳng phức

Bộ điều khiển IMC  $q(s)$  được thiết kế như sau:

$$q(s) = p_m^{-1}(s)f(s) \quad (4.3)$$

Với cấu trúc điều khiển hai bậc tự do (2DOF) bộ lọc IMC được chọn lựa để nâng cao đáp ứng của hệ thống như sau:

$$f(s) = \frac{1}{(\lambda s + 1)^\alpha} \quad (4.4)$$

Trong đó  $\lambda$  là thông số điều chỉnh có thể được sử dụng để thỏa hiệp giữa hiệu quả thực thi của hệ thống và ổn định bền vững. Số nguyên  $\alpha$  được lựa chọn lớn vừa đủ để làm cho bộ điều khiển IMC thực thi được (proper).

Ngoài ra, để nâng cao hơn nữa đáp ứng đầu ra theo giá trị đặt, việc thiết kế bộ lọc đầu vào là cần thiết. Bộ lọc đầu vào được thiết kế để khử cực gần Zê-rô trong hàm truyền đạt  $G_d(s)$

$$1 - G_p(s)q(s) \Big|_{s=z_{d1}, z_{d2}, \dots, z_{dv}} = \left| 1 - \frac{p_A(s) \sum_{i=1}^v (\beta_i s + 1)}{(\lambda s + 1)^\alpha} \right|_{s=z_{d1}, z_{d2}, \dots, z_{dv}} = 0 \quad (4.5)$$

Thay công thức (4.3) vào (4.4) ta nhận được bộ điều khiển IMC như sau:

$$q(s) = p_m^{-1}(s) \frac{\sum_{i=1}^v (\beta_i s + 1)}{(\lambda s + 1)^\alpha} \quad (4.6)$$

Thay công thức (4.6) vào công thức (4.1), đối với trường hợp hàm truyền đạt vòng kín theo giá trị đặt ta nhận được:

$$\frac{y(s)}{r(s)} = \frac{p_A(s) \sum_{i=1}^v (\beta_i s + 1)}{(\lambda s + 1)^\alpha} \quad (4.7)$$

$$\frac{y(s)}{d(s)} = \left( 1 - \frac{p_A(s) \sum_{i=1}^v (\beta_i s + 1)}{(\lambda s + 1)^\alpha} \right) G_d(s) \quad (4.8)$$

Khi đó bộ điều khiển hồi tiếp lý tưởng được thành lập như sau:

$$G_c(s) = \frac{q(s)}{1 - \tilde{G}_p(s)q(s)} \quad (4.9)$$

Chính vì vậy bộ điều khiển hồi tiếp lý tưởng để nhận được đáp ứng đầu ra mong muốn được thành lập như sau:

$$G_c(s) = \frac{p_m^{-1}(s) \sum_{i=1}^v (\beta_i s + 1)}{(\lambda s + 1)^\alpha - p_A(s) \sum_{i=1}^v (\beta_i s + 1)} \quad (4.10)$$

Công thức (4.8) hiện tại chưa phải là bộ điều khiển PI/PID. Do đó ta phải chuyển đổi thành bộ PI/PID thích hợp bằng việc sử dụng các kỹ thuật xấp xỉ hóa một cách phù hợp nhất như là kỹ thuật khai triển chuỗi Maclaurin hoặc thuật toán xấp xỉ Padé [9,12,17,22,23,34,35,43,48,49,51,52,53,57].

Lưu ý: Đối với hệ FOPDT và SOPDT bộ lọc đầu vào được thiết kế một cách tuần tự như sau:

$$f_r(s) = \frac{\gamma \beta s + 1}{\beta s + 1} \quad (4.11)$$

$$f_r(s) = \frac{\gamma \tau_I s + 1}{(\tau_I \tau_D s^2 + \tau_I s + 1)} \quad (4.12)$$

Trong đó,  $0 \leq \gamma \leq 1$

Hệ số  $\gamma$  có ý nghĩa như sau:

$\gamma=0$ , Trong trường hợp này, đáp ứng theo giá trị đặt bị chậm

$\gamma=1$ , Trong trường hợp này, không có bộ lọc theo giá trị đặt

$0 < \gamma < 1$ , Có ý nghĩa là chúng ta có thể điều chỉnh hệ số  $\gamma$  trực tiếp để đạt được đáp ứng theo giá trị đặt mong muốn.

Trong luận án này, bộ điều khiển đề xuất là bộ điều khiển PID kết hợp với bộ lọc có dạng như sau:

$$G_c(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right) \frac{ds^2 + cs + 1}{as^2 + bs + 1} \quad (4.13)$$

Bằng việc so sánh công thức (4.10) và (4.13), ta sẽ xác định được các qui luật điều chỉnh bộ điều khiển PID đề xuất.

## 4.4.2 Qui luật điều chỉnh bộ điều khiển IMC-PID

### 4.4.2.1 Hệ thống FOPDT

Nếu hàm truyền đạt tương đương là mô hình bậc một có thời gian trễ (FOPDT) với hàm truyền đạt có dạng như sau:

$$G_p(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (4.14)$$

Trong đó  $K$ ,  $\tau$  và  $\theta$  đại diện cho độ lợi, thời gian hằng số và thời gian trễ của quá trình.

Bộ lọc IMC được chọn lựa để nâng cao đáp ứng của hệ thống như sau:

$$f(s) = \frac{\beta s + 1}{(\lambda s + 1)^2} \quad (4.15)$$

Theo đó bộ điều khiển hồi tiếp vòng kín là

$$G_c(s) = \frac{(\tau s + 1)(\beta s + 1)}{K \left[ (\lambda s + 1)^2 - e^{-\theta s} (\beta s + 1) \right]} \quad (4.16)$$

Bằng việc sử dụng phép xấp xỉ Padé 3/2 đối với hàm mũ  $e^{-\theta s}$  như sau:

$$e^{-\theta s} = \frac{1 - \frac{3\theta}{5}s + \frac{3\theta^2}{20}s^2 - \frac{\theta^3}{60}s^3}{1 + \frac{2\theta}{5}s + \frac{\theta^2}{20}s^2} \quad (4.17)$$

Bộ điều khiển PID kết hợp với bộ lọc 2/3 được xác định như sau:

$$K_c = \frac{\left(\frac{2\theta}{5}\right)}{K(2\lambda + \theta - \beta)}, \quad \tau_I = \frac{2\theta}{5}, \quad \tau_D = \frac{\theta}{8} \quad (4.18)$$

$$a = \frac{\left(\frac{3\theta\beta}{5} - \frac{\theta^2}{10} + \frac{4\lambda\theta}{5} + \lambda^2\right)}{(2\lambda + \theta - \beta)}^{-\tau}, \quad (4.19)$$

$$b = \frac{\left(-\frac{3\theta^2\beta}{20} + \frac{\theta^3}{60} + \frac{\lambda\theta^2}{10} + \frac{2\lambda^2\theta}{5}\right)}{(2\lambda + \theta - \beta)}^{-a\tau}, \quad c = \beta, \quad d = 0 \quad (4.20)$$

Bộ lọc đầu vào được thiết kế theo công thức (4.5) như sau:

$$\beta = \tau \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\lambda}{\tau} \right)^2 e^{-\theta/\tau} \right] \quad (4.21)$$

#### 4.4.2.2 Hệ thống SOPDT

Đây là mô hình hệ thống bậc 2 được sử dụng rất rộng rãi với hàm truyền đạt tiêu chuẩn như sau:

$$G_p(s) = G_D(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (4.22)$$

Với mô hình trên bộ lọc IMC thông thường được thiết kế như sau [22,34,53]:

$$f(s) = (\beta_2 s^2 + \beta_1 s + 1) / (\lambda s + 1)^4 \quad (4.23)$$

Như thế bộ điều khiển IMC được xác định

$$q(s) = (\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)(\beta_2 s^2 + \beta_1 s + 1) / K(\lambda s + 1)^4 \quad (4.24)$$

$$G_c(s) = (\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)(\beta_2 s^2 + \beta_1 s + 1) / K \left[ (\lambda s + 1)^4 - e^{-\theta s} (\beta_2 s^2 + \beta_1 s + 1) \right] \quad (4.25)$$

Kết quả của bộ điều khiển PID được xác định một cách tương tự theo qui trình nêu trên, cụ thể như sau:

$$K_c = \frac{\beta_1}{K(3\lambda + \theta - \beta_1)}, \quad \tau_I = \beta_1, \quad \tau_D = \frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (4.26)$$



$$a = \frac{\left(-\beta_2 + \frac{3\theta\beta_1}{5} - \frac{\theta^2}{10} + \frac{6\lambda\theta}{5} + 3\lambda^2\right)}{(3\lambda + \theta - \beta_1)} - (\tau_1 + \tau_2), \quad (4.27)$$

$$b = \frac{\left(\frac{3\theta\beta_2}{5} - \frac{3\theta^2\beta_1}{20} + \frac{\theta^3}{60} + \frac{3\lambda\theta^2}{20} + \frac{6\lambda^2\theta}{5} + \lambda^3\right)}{(3\lambda + \theta - \beta_1)} - \tau_1\tau_2 - a(\tau_1 + \tau_2) \quad (4.28)$$

$$c = \frac{2\theta}{5}, \quad d = \frac{\theta^2}{20} \quad (4.29)$$

$$\beta_1 = \frac{\tau_1^2 \left[ \left(1 - \frac{\lambda}{\tau_1}\right)^3 e^{-\theta/\tau_1} - 1 \right] - \tau_2^2 \left[ \left(1 - \frac{\lambda}{\tau_2}\right)^3 e^{-\theta/\tau_2} - 1 \right]}{(\tau_1 - \tau_2)} \quad (4.30)$$

$$\beta_2 = \tau_2^2 \left[ \left(1 - \frac{\lambda}{\tau_2}\right)^3 e^{-\theta/\tau_2} - 1 \right] + \beta_1\tau_2 \quad (4.31)$$

Đối với các hệ thống và quá trình khác, cách xác định qui luật điều chỉnh của bộ điều khiển PID kết hợp bộ lọc theo phương pháp đề xuất được thực hiện một cách tương tự như trình bày ở trên.

## CHƯƠNG 5: PHƯƠNG PHÁP NHẬN DẠNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

### 5.1 Phát triển phương pháp tổng bình phương giá trị sai lệch nhỏ nhất LS (Least-Squares)

Phương pháp LS được phát triển như sau:

Xét các thông số của mô hình dưới đây

$$\hat{y}_i = \hat{p}_1\varphi_{1,i} + \hat{p}_2\varphi_{2,i} + \hat{p}_3\varphi_{3,i} + \dots + \hat{p}_n\varphi_{n,i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5.1)$$

Trong đó

$\hat{p}_1, \hat{p}_2, \hat{p}_3, \dots, \hat{p}_n$  là các thông số của mô hình

$y_i$  và  $\varphi_{k,i}$  là dữ liệu lấy từ thí nghiệm

Mô hình toán học có thể được xác định bằng cách tối thiểu hóa hàm mục tiêu như sau:

$$\min_{\hat{P}} \left[ Q(\hat{P}) = \sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 \right] \quad (5.2)$$

Từ công thức (5.1) và (5.2) ta viết lại như sau:

$$\min_{\hat{P}} \left[ Q(\hat{P}) = (Y - \hat{Y})^T (Y - \hat{Y}) \right] \quad (5.3)$$

$$\hat{Y} = \Phi \hat{P} \quad (5.4)$$

Trong đó các ma trận và vector của các công thức (5.3) và (5.4) được khai triển cụ thể như sau:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$$\hat{Y} = \begin{bmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \vdots \\ \hat{y}_m \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

$$\hat{P} = \begin{bmatrix} \hat{p}_1 \\ \hat{p}_2 \\ \vdots \\ \hat{p}_n \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} \varphi_{1,1} & \varphi_{2,1} & \cdots & \varphi_{n,1} \\ \varphi_{1,2} & \varphi_{2,2} & \cdots & \varphi_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{1,m} & \varphi_{2,m} & \cdots & \varphi_{n,m} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Nghiệm của phương trình tối ưu (5.3) có thể nhận được bằng cách tìm  $\hat{P}$  để gradient của  $Q(\hat{P})=0$ . Do đó, ta khai triển gradient  $Q(\hat{P})$  như sau:

$$\frac{\partial Q(\hat{P})}{\partial \hat{P}} = 2 \left( \frac{\partial \hat{Y}}{\partial \hat{P}} \right)^T (Y - \hat{Y}) = -2\Phi^T (Y - \Phi\hat{P}) \quad (5.9)$$

Trong đó, theo định nghĩa giá trị gradient (5.9) là

$$\frac{\partial Q(\hat{P})}{\partial \hat{P}} = \left[ \frac{\partial Q(\hat{P})}{\partial \hat{p}_1} \quad \frac{\partial Q(\hat{P})}{\partial \hat{p}_2} \quad \cdots \quad \frac{\partial Q(\hat{P})}{\partial \hat{p}_n} \right]^T \quad (5.10)$$

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial \hat{P}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \hat{y}_1}{\partial \hat{p}_1} & \frac{\partial \hat{y}_1}{\partial \hat{p}_2} & \cdots & \frac{\partial \hat{y}_1}{\partial \hat{p}_n} \\ \frac{\partial \hat{y}_2}{\partial \hat{p}_1} & \frac{\partial \hat{y}_2}{\partial \hat{p}_2} & \cdots & \frac{\partial \hat{y}_2}{\partial \hat{p}_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \hat{y}_m}{\partial \hat{p}_1} & \frac{\partial \hat{y}_m}{\partial \hat{p}_2} & \cdots & \frac{\partial \hat{y}_m}{\partial \hat{p}_n} \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

Từ (5.9) ta thấy nghiệm của hàm tối ưu (5.2) thỏa mãn các điều kiện như sau :

$$\Phi^T (Y - \Phi\hat{P}) = \Phi^T Y - \Phi^T \Phi\hat{P} = 0 \quad (5.12)$$

Từ công thức (5.12) ta nhận được nghiệm tối ưu sau đây

$$\hat{P} = [\Phi^T \Phi]^{-1} [\Phi^T Y] \quad (5.13)$$

Từ (5.13) ta có thể lượng hóa giá trị tối thiểu của tổng các giá trị sai lệch đã được biểu diễn bởi công thức (5.1), do đó công thức (5.13) được gọi là phương pháp tổng bình phương giá trị sai lệch nhỏ nhất (LS)

## 5.2 Áp dụng phương pháp LS để phân tích và nhận dạng hệ thống chung cất

Cho rằng nhiệt độ của hệ thống chung cất Ethanol và nước được biểu diễn bởi hàm bậc cao  $G_h(s)$  và cần thiết phải đưa về mô hình hàm bậc 2 tương đương như sau :

$$G_h(s) \cong \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau^2 s^2 + 2\tau\xi s + 1} \quad (5.14)$$

Độ lợi của mô hình ở công thức (5.14) được xác định như sau :

$$K = G_h(0) \quad (5.15)$$

Khi đó giá trị ước lượng của  $\tau$  và  $\xi$  được xác định thỏa mãn công thức (5.16) bằng việc giải (5.17) theo phương pháp tổng bình phương giá trị sai lệch nhỏ nhất (LS)

$$|G_h(i\omega)| \cong \left| \frac{Ke^{-i\theta\omega}}{1-\tau^2\omega^2+i2\tau\xi\omega} \right| = \frac{K}{\sqrt{(1-\tau^2\omega^2)^2+(2\tau\xi\omega)^2}} \quad (5.16)$$

$$|G_h(i\omega)|^2 \cong \frac{K^2}{(1-\tau^2\omega^2)^2+(2\tau\xi\omega)^2} \quad (5.17)$$

$$\tau^4 |G_h(i\omega_k)|^2 \omega_k^4 + (4\tau^2\xi^2 - 2\tau^2) |G_h(i\omega_k)|^2 \omega_k^2 = K^2 - |G_h(i\omega_k)|^2 \quad (5.18)$$

$$0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_k < \dots < \omega_n \quad (5.19)$$

Lưu ý rằng tần số tự nhiên  $\omega_n$  được chọn như là tần số tới hạn  $\omega_u$  của quá trình. Thông số cuối cùng của mô hình toán được ước lượng chính là thời gian trễ của quá trình từ công thức tính độ lệch pha theo tần số  $\omega_m$ .

$$\angle[G_h(i\omega_m)] = \angle \frac{Ke^{-i\theta\omega_m}}{1-\tau^2\omega_m^2+i2\tau\xi\omega_m} \Rightarrow \Phi(\omega_m) = -\theta\omega_m + \arctan 2(-2\tau\xi\omega_m, 1-\tau^2\omega_m^2) \quad (5.20)$$

$$\theta = \frac{-\Phi(\omega_m) + \arctan 2(-2\tau\xi\omega_m, 1-\tau^2\omega_m^2)}{\omega_m} \quad (5.21)$$

Khi việc thiết kế hệ thống tại tần số gần với tần số tới hạn công thức (5.20) và (5.21) được viết lại như sau :

$$-\pi = -\theta\omega_u + \arctan 2(-2\tau\xi\omega_u, 1-\tau^2\omega_u^2) \quad (5.22)$$

$$\theta = \frac{\pi + \arctan 2(-2\tau\xi\omega_u, 1-\tau^2\omega_u^2)}{\omega_u} \quad (5.23)$$

Nếu trong trường hợp mô hình được xấp xỉ bởi hàm bậc một có thời gian trễ (FOPDT). Ta tiến hành hoàn toàn tương tự như mô hình bậc hai đã nêu trên.

Kết quả cụ thể như sau :

$$K = G_h(0) \quad (5.24)$$

$$\tau = \frac{\sqrt{K^2 - |G_h(i\omega_u)|^2}}{|G_h(i\omega_u)|\omega_u} \quad (5.25)$$

$$\theta = \frac{\pi + \arctan 2(-\tau\omega_u)}{\omega_u} \quad (5.26)$$

## Chương 6 : NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG, PHÂN TÍCH VÀ SO SÁNH VỚI CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ĐA BIẾN

### 6.1 Các mô hình và phương pháp so sánh

Trong phần này, phương pháp đề xuất được áp dụng cho các mô hình phổ biến và được so sánh với các phương pháp thiết kế điều chỉnh sau đây để chứng minh hiệu quả của phương pháp đề xuất:

1. Phương pháp thiết kế điều chỉnh BLT được trình bày bởi Luyben.
2. Phương pháp thiết kế chuyển tiếp dựa trên thông tin phản hồi tự động điều chỉnh (SAT) được trình bày bởi Loh.
3. Phương pháp Vinante and Luyben (VL) được trình bày.

Những so sánh này được nghiên cứu để chứng tỏ phương pháp đề xuất có thể được thực hiện với các hệ thống điều khiển đa biến vòng kín và so sánh với một số phương pháp thiết kế nổi tiếng khác.

### 6.2 Điều khiển cột chưng cất Wood & Berry (WB)

Cột WB dùng để tách Ethanol và nước có hàm truyền đạt như sau [44]:

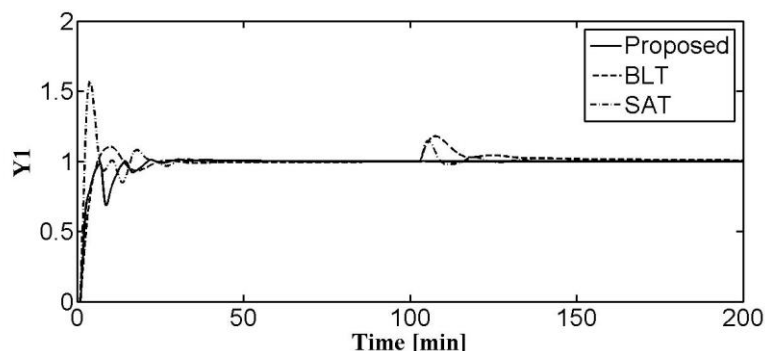
$$\mathbf{G}(s) = \begin{bmatrix} \frac{12.8e^{-s}}{16.7s + 1} & \frac{-18.9e^{-3s}}{21s + 1} \\ \frac{6.6e^{-7s}}{10.9s + 1} & \frac{-19.4e^{-3s}}{14.4s + 1} \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

Bộ phân ly được xác định theo công thức (2.19) và (2.20) như sau:

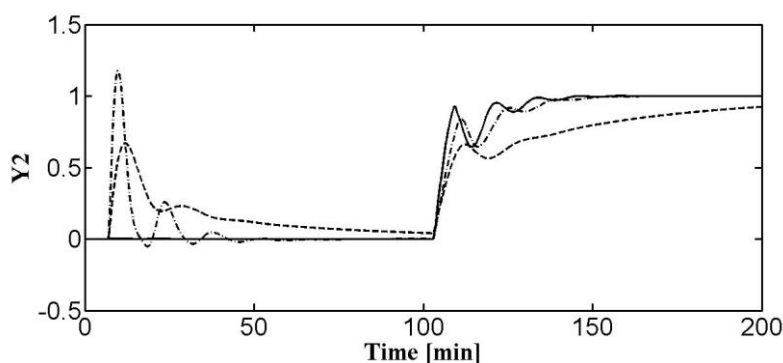
$$\mathbf{D}(s) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1.477(16.70s + 1)e^{-2s}}{21s + 1} \\ \frac{0.34(14.4s + 1)e^{-4s}}{10.9s + 1} & 1 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Các kết quả thông số điều khiển và các chỉ số tính toán hiệu suất cho từng phương pháp được liệt kê trong Bảng 6.1 và Hình 6.1, Hình 6.2 so sánh đáp ứng vòng kín theo thời gian của mỗi phương pháp thiết kế trong trường hợp thay đổi theo giá trị đặt theo hàm bậc thang đơn vị được thực hiện tuần tại  $t = 0$  và  $t = 200$  (ph) cho vòng 1 và 2, một cách tương ứng. Ta thấy rằng hệ thống phân ly thiết kế theo phương pháp đề xuất có

đáp ứng nhanh, cân bằng hơn khi so với các phương pháp khác. Hiệu quả của phương pháp đề xuất cũng được xác nhận bởi giá trị IAE nhỏ nhất thể hiện trong Bảng 6.1.



**Hình 6.1** Đáp ứng vòng kín đối với sự thay đổi giá trị đặt theo hàm bậc thang cho cột WB (vòng 1)



**Hình 6.2** Đáp ứng vòng kín đối với sự thay đổi giá trị đặt theo hàm bậc thang cho cột WB (vòng 2)

**Bảng 6.1** Thông số của bộ điều khiển và kết quả thực thi của hệ thống WB

Phương pháp	Vòng	$K_c$	$\tau_I$	$\tau_D$	$\lambda$	IAE
Phương pháp đề xuất	1	0.035	0.653	0.204	5.26	11.128
	2	-0.0117	0.845	0.264	8.00	
BLT	1	0.375	8.29	-	-	56.473
	2	-0.075	23.6	-	-	
SAT	1	0.87	3.25	-	1.11	24.297
	2	-0.09	10.4	-	7.11	

*Lưu ý:* Bộ lọc của bộ điều khiển đề xuất vòng 1 là:

$$F_{c1}(s) = \frac{ds^2 + cs + 1}{as^2 + bs + 1} = \frac{9.194s + 1}{0.103s^2 + 0.369s + 1}$$

Bộ lọc đầu vào

$$f_{r1}(s) = \frac{8.275s + 1}{9.19s + 1}$$

Bộ lọc của bộ điều khiển đề xuất vòng 2 là:

$$F_{c2}(s) = \frac{ds^2 + cs + 1}{as^2 + bs + 1} = \frac{10.603s + 1}{0.185s^2 + 0.572s + 1}$$

Bộ lọc đầu vào

$$f_{r2}(s) = \frac{8.48s + 1}{10.6s + 1}$$

Phương pháp đề xuất dùng để thiết kế bộ điều khiển PID đa vòng kín dùng cho hệ thống điều khiển phân ly đơn giản hóa. Phương pháp này có thể áp dụng cho nhiều quá trình đa biến trong công nghiệp. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển đề xuất có khả năng nâng cao chất lượng của đáp ứng đầu ra với trị số IAE thấp hơn rất nhiều khi so sánh với các phương pháp khác.

## 6.2 Điều khiển cột chưng cất Vinante & Luyben (VL)

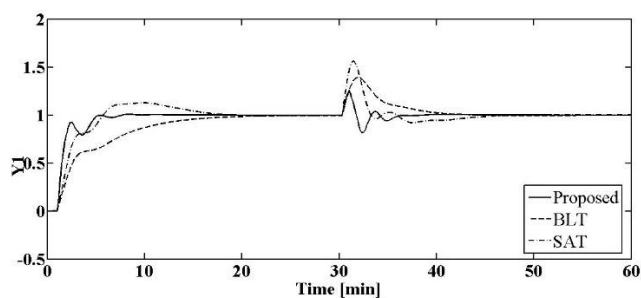
Cột WB dùng để tách Ethanol và nước có hàm truyền đạt như sau [44]:

$$\mathbf{G}(s) = \begin{bmatrix} \frac{-2.2e^{-s}}{7s + 1} & \frac{1.3e^{-0.3s}}{7s + 1} \\ \frac{-2.8e^{-1.8s}}{9.5s + 1} & \frac{4.3e^{-0.35s}}{9.2s + 1} \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

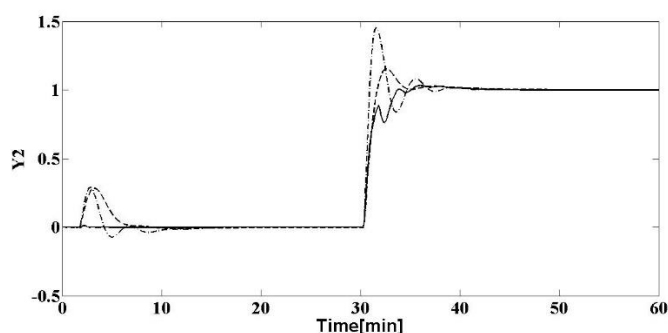
Bộ phân ly được xác định theo công thức (2.19) và (2.20) như sau:

$$\mathbf{D}(s) = \begin{bmatrix} 1 & 0.591 \\ \frac{0.651(9.2s + 1)e^{-1.45s}}{9.5s + 1} & 1 \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

Các kết quả thông số điều khiển và các chỉ số tính toán hiệu suất cho từng phương pháp được liệt kê trong Bảng 6.2 và Hình 6.3, Hình 6.4 so sánh đáp ứng vòng kín theo thời gian của mỗi phương pháp thiết kế trong trường hợp thay đổi theo giá trị đặt theo hàm bậc thang đơn vị được thực hiện tuần tại  $t = 0$  và  $t = 60$  (ph) cho vòng 1 và 2, một cách tương ứng. Ta thấy rằng hệ thống phân ly thiết kế theo phương pháp đề xuất có đáp ứng nhanh, cân bằng hơn khi so với các phương pháp khác. Hiệu quả của phương pháp đề xuất cũng được xác nhận bởi giá trị IAE nhỏ nhất thể hiện trong Bảng 6.2.



**Hình 6.3** Đáp ứng vòng kín đối với sự thay đổi giá trị đặt theo hàm bậc thang cho cột VL (vòng 1)



**Hình 6.4** Đáp ứng vòng kín đối với sự thay đổi giá trị đặt theo hàm bậc thang cho cột VL (vòng 2)

**Bảng 6.2** Thông số của bộ điều khiển và kết quả thực thi của hệ thống VL

Phương pháp	Vòng	$K_C$	$\tau_I$	$\tau_D$	$\lambda$	IAE
Phương pháp đề xuất	1	-0.29	0.272	0.085	1.6	2.69
	2	0.131	0.14	0.044	1.3	
BLT	1	-1.07	7.10	-	-	8.61
	2	1.97	2.58	-	-	
SAT	1	-1.35	2.26	-	-	7.15
	2	3.97	2.42	-	-	

*Lưu ý:* Bộ lọc của bộ điều khiển đề xuất vòng 1 là:

$$F_{c1}(s) = \frac{ds^2 + cs + 1}{as^2 + bs + 1} = \frac{3.19s + 1}{0.016s^2 + 0.118s + 1}$$

Bộ lọc đầu vào

$$f_{r1}(s) = \frac{1.91s + 1}{3.19s + 1}$$



Bộ lọc của bộ điều khiển đề xuất vòng 2 là:

$$F_{c2}(s) = \frac{ds^2 + cs + 1}{as^2 + bs + 1} = \frac{3.145s + 1}{0.005s^2 + 0.09s + 1}$$

Bộ lọc đầu vào  $f_{r2}(s) = \frac{1.89s + 1}{3.145s + 1}$

Phương pháp đề xuất dùng để thiết kế bộ điều khiển PID đa vòng kín dùng cho hệ thống điều khiển phân ly đơn giản hóa. Phương pháp này có thể áp dụng cho nhiều quá trình đa biến trong công nghiệp. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển đề xuất có khả năng nâng cao chất lượng của đáp ứng đầu ra với trị số IAE thấp hơn rất nhiều khi so sánh với các phương pháp khác.

### 6.3 Điều khiển cột chưng cất Ogunnaike & Ray (OR)

Cột chưng cất OR dùng để tách hỗn hợp giữa etan và nước được nghiên cứu bởi nhóm nghiên cứu của Ogunnaike et al., [45], theo đó ma trận hàm truyền đạt có dạng như sau:

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{0.66e^{-2.6s}}{6.7s + 1} & \frac{-0.61e^{-3.5s}}{8.64s + 1} & \frac{-0.0049e^{-s}}{9.06s + 1} \\ \frac{1.11e^{-6.5s}}{3.25s + 1} & \frac{-2.36e^{-3s}}{5s + 1} & \frac{-0.01e^{-1.2s}}{7.09s + 1} \\ \frac{-34.68e^{-9.2s}}{8.15s + 1} & \frac{46.2e^{-9.4s}}{10.9s + 1} & \frac{0.87(11.61s + 1)e^{-s}}{(3.89s + 1)(18.8s + 1)} \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

Ma trận phân ly đơn giản hoá được thiết lập theo (23) như sau:

$$(D(s) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{0.7278(20.463s + 1)e^{-1.437s}}{(17.938s + 1)} & 0.0048e^{-0.203s} \\ 0.352e^{-0.159s} & 1 & -0.0028 \\ \frac{23.238(18.29s + 1)e^{-7.2209s}}{(17.271s + 1)} & \frac{-26.457(4.128s + 1)e^{-6.4305s}}{(14.521s + 1)} & 1 \end{bmatrix} \quad 6.6)$$

Trong nghiên cứu mô phỏng phương pháp đề xuất được so sánh với phương pháp BLT Luyben (1986) [19] và nghiên cứu theo phương pháp của Loh [37].

Thông số điều khiển và kết quả xác định chất lượng của cả 3 hệ thống điều khiển được liệt kê ở Bảng 6.3 như sau:

**Bảng 6.3** Các thông số của bộ điều khiển

Phương pháp	vòng	$K_C$	$\tau_I$	$\tau_D$	$\lambda$	IAE
Phương pháp đề xuất	1	0.34	1.04	0.325	4.00	86.24
	2	-0.089	1.20	0.375	3.75	

	3	0.287	0.40	0.125	1.82	
BLT	1	1.51	16.4	-	-	530.64
	2	-0.29	18.0	-	-	
	3	2.63	6.61	-	-	
SAT	1	2.71	7.44	-	-	889.73
	2	-0.37	10.52	-	-	
	3	4.56	3.09	-	-	

Lưu ý: Bộ lọc của bộ điều khiển đề xuất vòng 1 là:

$$F_{c1}(s) = \frac{ds^2 + cs + 1}{as^2 + bs + 1} = \frac{5.96s + 1}{0.23s^2 + 0.403s + 1}$$

Bộ lọc đầu vào  $f_{r1}(s) = \frac{3.57s + 1}{5.96s + 1}$

Bộ lọc của bộ điều khiển đề xuất vòng 2 là:

$$F_{c2}(s) = \frac{ds^2 + cs + 1}{as^2 + bs + 1} = \frac{4.83s + 1}{0.3s^2 + 0.44s + 1}$$

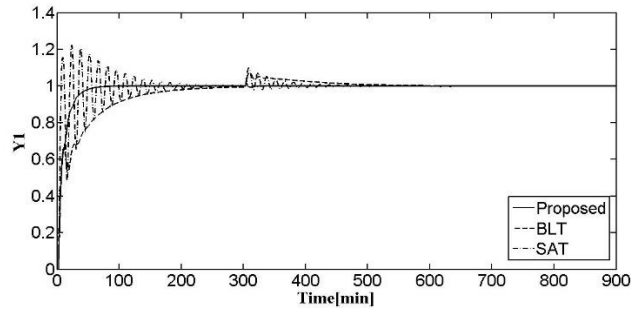
Bộ lọc đầu vào  $f_{r2}(s) = \frac{2.9s + 1}{4.83s + 1}$

Bộ lọc của bộ điều khiển đề xuất vòng 3 là:

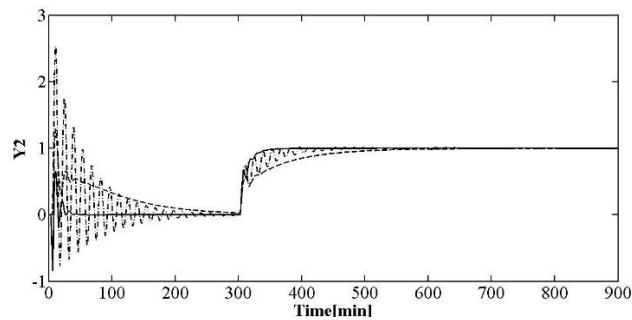
$$F_{c3}(s) = \frac{ds^2 + cs + 1}{as^2 + bs + 1} = \frac{3.04s + 1}{0.035s^2 + 0.162s + 1}$$

Bộ lọc đầu vào  $f_{r3}(s) = \frac{1.823s + 1}{3.04s + 1}$

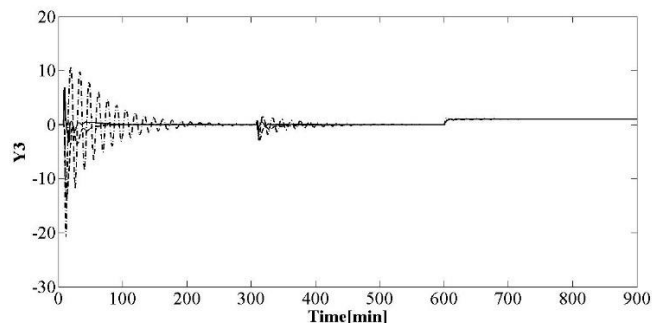
Trên cơ sở thay đổi biên độ của giá trị đặt đầu vào của các vòng kín 1, 2 và 3 là 1,1 và 1, ta xác định được đặc tính của đáp ứng đầu ra của cả 3 hệ thống được thể hiện ở Hình 6.5, Hình 6.6, Hình 6.7



**Hình 6.5** Đáp ứng vòng kín của cột chưng cất OR (vòng 1)



**Hình 6.6** Đáp ứng vòng kín của cột chưng cất OR (vòng 2)



**Hình 6.7** Đáp ứng vòng kín của cột chưng cất OR (vòng 3)

Từ kết quả mô phỏng ở bảng 6.3 và hình 6.5, 6.6, 6.7 ta thấy rằng đáp ứng đầu ra của hệ thống đề xuất có chất lượng cải thiện đáng kể khi so sánh với 2 hệ thống còn lại, do đáp ứng đầu ra hầu như đã loại bỏ tác dụng của nhiễu rất đáng kể. Chính vì thế giá trị IAE của phương pháp đề xuất là rất nhỏ ( 86.24) khi so sánh với giá trị IAE của 2 phương pháp còn lại là ( 530.46 và 889.73).

## Chương 7 : MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM CỦA HỆ THỐNG CHUNG CẤT ETHANOL VÀ NƯỚC

### 7.1 Giới thiệu chung

Một trong những ngành có sự đóng góp to lớn đến sự phát triển công nghệ khoa học kỹ thuật trên toàn thế giới chính là ngành Cơ khí. Đặc biệt là ngành Công nghệ chế tạo máy.

Ngày nay, các phương pháp được sử dụng để nâng cao độ tinh khiết: trích ly, chưng cất, cô đặc, hấp thu... Tùy theo đặc tính yêu cầu của sản phẩm mà ta có sự lựa chọn phương pháp thích hợp. Đối với hệ Ethanol - Nước là 2 cấu tử tan lẫn hoàn toàn, ta phải dùng phương pháp chưng cất để nâng cao độ tinh khiết cho Ethanol.

Các nghiên cứu về chưng cất Ethanol được thực hiện khá nhiều trên thế giới nhưng tại Việt Nam còn rất hạn chế, gần đây mới có một số công trình về chưng cất Ethanol.

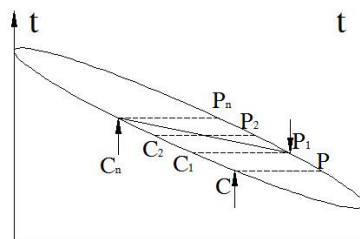
#### 7.1.1 Phương pháp chưng cất

Chưng cất là quá trình phân tách hỗn hợp lỏng hoặc khí lỏng thành các cấu tử riêng biệt dựa vào sự khác nhau về độ bay hơi của chúng (nhiệt độ sôi khác nhau ở cùng áp suất), thông qua việc lặp đi lặp lại nhiều lần quá trình bay hơi - ngưng tụ. Trong đó, vật chất đi từ pha lỏng vào pha hơi hoặc ngược lại. Khi chưng cất, ta nhận được nhiều cấu tử, có bao nhiêu cấu tử sẽ thu được bấy nhiêu sản phẩm. Ví dụ trong trường hợp xét hệ chưng cất đơn giản với hai cấu tử thì ta thu được hai sản phẩm, bao gồm sản phẩm đỉnh có cấu tử có độ bay hơi lớn với nhiệt độ sôi nhỏ và sản phẩm đáy có cấu tử có độ bay hơi bé với nhiệt độ sôi lớn. Trong nghiên cứu này, với việc chưng cất Ethanol và Nước, sản phẩm đỉnh chủ yếu sẽ là Ethanol và một ít Nước, sản phẩm đáy chủ yếu là Nước và một ít Ethanol.

Các phương pháp chưng cất phổ biến hiện nay bao gồm chưng cất gián đoạn hoặc chưng cất liên tục, theo nguyên lý chưng cất dựa vào áp suất thấp, áp suất thường và áp suất cao, trên cơ sở nhiệt độ sôi của các cấu tử, nếu nhiệt độ sôi của các cấu tử quá cao thì ta giảm áp suất làm việc để giảm nhiệt độ sôi của các cấu tử.

#### 7.1.2 Chưng cất gián đoạn

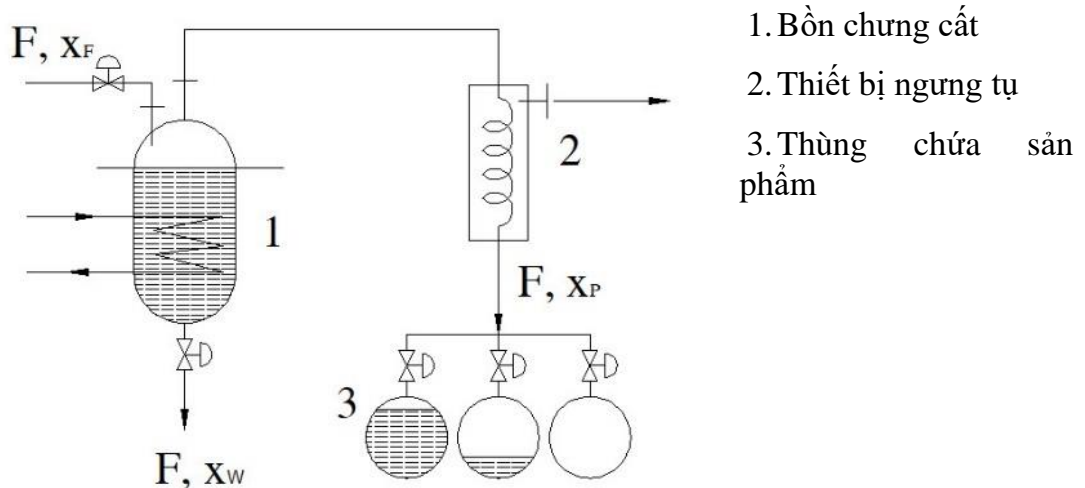
Nguyên tắc chưng cất gián đoạn được thể hiện theo sơ đồ ở Hình [7.1] :



**Hình 7.1** Sơ đồ cân bằng pha cho chưng cất gián đoạn

Lúc đầu, dung dịch có thành phần biểu thị ở điểm C, khi đun đến nhiệt độ sôi hơi bốc lên có thành phần ứng với điểm P, vì trong pha hơi luôn có cấu tử dễ bay hơi hơn là trong pha lỏng, nên trong thời gian chưng cất, thành phần pha lỏng sẽ chuyển dần về phía cấu tử khó bay hơi. Cuối cùng, ta sẽ nhận được chất lỏng còn lại trong bồn chưng cất với thành phần là  $C_n$  và thu được hỗn hợp hơi P, P1, P2, ..., Pn, thành phần trung bình của hỗn hợp hơi biểu thị ở điểm Ptb.

Sơ đồ nguyên lý chưng cất gián đoạn được biểu diễn trên Hình 7.2



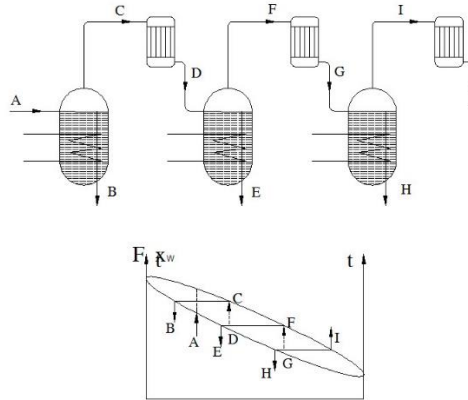
Hình 7.2 Sơ đồ chưng cất đơn giản

Trong đó, hỗn hợp đầu tiên được đưa vào bồn chưng cất (1), tại đây hỗn hợp được gia nhiệt với một nhiệt độ thích hợp để có thể bốc hơi và tạo thành các cấu tử pha hơi đi vào thiết bị ngưng tụ và làm lạnh (2). Khi đạt được nhiệt độ làm lạnh cần thiết đến pha lỏng, các cấu tử pha lỏng sẽ được đưa đến thùng chứa (3), chất lỏng còn lại trong bồn chưng cất sẽ được tháo ra. Như vậy, đây chính là quá trình chưng cất gián đoạn. Tuy nhiên, ta vẫn có thể tiến hành chưng cất liên tục nếu thành phần sản phẩm không thay đổi. Trong công nghiệp, ta có thể sử dụng phương pháp chưng cất gián đoạn trong các trường hợp sau:

- Khi nhiệt độ sôi của hai cấu tử rất khác nhau.
- Khi không đòi hỏi sản phẩm có độ tinh khiết cao.
- Khi tách hỗn hợp lỏng ra khỏi tạp chất không bay hơi.
- Khi tách sơ bộ hỗn hợp nhiều cấu tử.

### 7.1.3 Chưng cất liên tục

Phương pháp chưng cất gián đoạn không cho phép ta thu được sản phẩm có độ tinh khiết cao. Để có được sản phẩm có độ tinh khiết cao, ta tiến hành chưng cất liên tục nhiều lần, theo giản đồ thể hiện ở Hình 7.3:



**Hình 7.3** Sơ đồ chưng cất liên tục nhiều lần

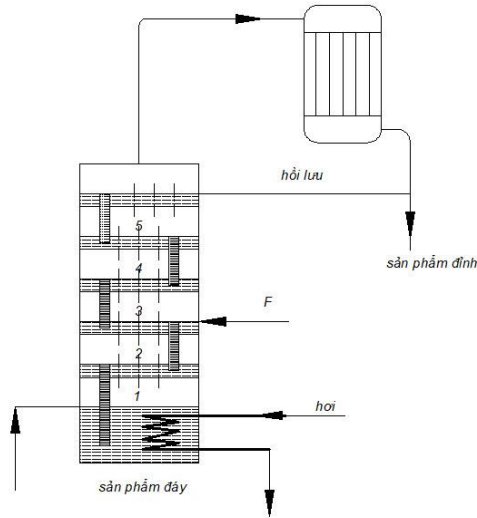
Trong đó, hỗn hợp đầu tiên được liên tục đưa vào bồn chưng cất (1). Tại đây, một phần chất lỏng được bốc hơi tạo thành sản phẩm đỉnh, ống tháo sản phẩm đỉnh đồng thời cũng là ống để duy trì mực chất lỏng trong bồn không đổi. Cấu tử hơi (C) được duy trì ở trạng thái cân bằng với pha lỏng (B). Cấu tử hơi (C) sau đó được ngưng tụ thành chất lỏng (D) và tiếp tục đi vào bồn chưng cất (2). Tại đây, ta tiếp tục lặp lại tiến trình như trình như ở bồn chưng cất (1) và thu được hơi (F) và chất lỏng (E). tiếp tục thực hiện quá trình như trên ở bồn chưng cất (3) và thu được hơi (I) và chất lỏng (H). Lưu ý, ở mỗi bồn chưng cất ta phải thiết bị cung cấp nhiệt riêng biệt. Kết quả của nguyên một quá trình trên cho ta các sản phẩm đáy (B), (E) và (H). Sản phẩm đỉnh (I) chứa nhiều cấu tử dễ bay hơi.

Ngoài ra, ta có thể điều chỉnh quá trình trên để nhận được sản phẩm đáy có chứa nhiều cấu tử ít bay hơi hơn bằng cách cho sản phẩm đáy của bồn (2) hồi lưu trở về bồn (1) và sản phẩm đáy của bồn (3) trở về bồn (2), ... với điều kiện ta phải không chế quá trình cung cấp nhiệt tốt, để có thể thu được sản phẩm đỉnh I và sản phẩm đáy B, một cách liên tục và ổn định. Bên cạnh đó, ta phải điều khiển để duy trì trạng thái cân bằng giữa các bồn như ở sơ đồ ban đầu. Tuy nhiên, quá trình như trên sẽ có nhược điểm là tốn năng lượng nhiều cho việc cung cấp nhiệt và hệ thống sẽ phức tạp và khó chế tạo. Chính vì thế, để đơn giản hóa hệ thống chưng cất, ngày nay tháp chưng cất được thiết kế chế tạo nhằm cải thiện các khuyết điểm của các hệ thống nêu trên.

## 7.2 Tháp chưng cất Ethanol và nước

### *Cơ sở thiết kế tháp chưng cất*

Trong nghiên cứu này, các thuật toán điều khiển được đề xuất sẽ được áp dụng trên mô hình tháp chưng cất ethanol và nước tiêu chuẩn của Orunnaike và Ray 1983 [45]. Theo đó, cơ sở thiết kế tháp được trình bày như sau:



**Hình 7.4** Sơ đồ nguyên lý tháp chưng cất

Như ta đã thấy ở Hình 7.4, tháp chưng cất gồm có nhiều tầng, ở mỗi tầng có nhiều đĩa, mỗi đĩa tương ứng với mỗi bồn ở các sơ đồ trên. Ở đây, tháp có bộ phận gia nhiệt để tạo pha hơi với nguyên tắc các cấu tử pha hơi sẽ đi từ dưới lên trên qua các lỗ của đĩa, cấu tử pha lỏng sẽ chảy từ trên xuống dưới theo các ống dẫn, nồng độ của các cấu tử sẽ thay đổi theo chiều cao của tháp, nhiệt độ sôi cũng thay đổi theo tương ứng với sự thay đổi nồng độ.

Ở đĩa (1) chất lỏng chứa cấu tử dễ bay hơi có nồng độ ( $x_1$ ), hơi bốc lên từ đĩa (1) có nồng độ cân bằng với ( $x_1$ ) là ( $y_1$ ), hơi này qua các lỗ đi lên đĩa (2) và tiếp xúc với chất lỏng đang tồn tại ở đó. Do nhiệt độ ở đĩa (2) thấp hơn đĩa (1) cho nên một phần hơi được ngưng tụ. Do đó, với nồng độ ( $x_2$ ) > ( $x_1$ ), cấu tử pha hơi sẽ tiếp tục bay lên từ đĩa (2) sẽ có nồng độ cân bằng với ( $x_2$ ) là ( $y_2$ ). Quá trình này được thực hiện một cách tuần tự với các đĩa (3), (4) và (5), cuối cùng ta nhận được cấu tử pha hơi có nồng độ cao tương ứng với chiều cao của tháp.

Tóm lại, trên mỗi đĩa sẽ xảy ra quá trình chuyển khối giữa pha lỏng và pha hơi, trong đó, phần lớn cấu tử dễ bay hơi sẽ chuyển pha từ lỏng sang hơi và một số ít cấu tử sẽ chuyển pha từ hơi sang lỏng. Quá trình được lặp lại nhiều lần với số lượng đĩa tương ứng. Cuối cùng, trên đỉnh tháp ta thu được cấu tử dễ bay hơi ở nồng độ cao và ở đáy tháp ta thu được cấu tử khó bay hơi ở nồng độ cao.

Theo lý thuyết thì mỗi đĩa của tháp là một bậc thay đổi nồng độ, thành phần hơi đi ra khỏi đĩa cân bằng với thành phần chất lỏng đi vào đĩa. Như vậy, số lượng đĩa của tháp chưng cất sẽ tương ứng với số lần thay đổi nồng độ. Tuy nhiên, trên thực tế, ở mỗi đĩa quá trình chuyển khối giữa hai pha thường rất khó cân bằng. Quá trình chưng cất được thực hiện ở tháp chưng cất có thể là liên tục hoặc gián đoạn.

Hiện nay, Đối với tháp chưng cất Ethanol và Nước, người ta chọn phương pháp chưng cất liên tục, cấp nhiệt gián tiếp bằng bồn gia nhiệt ở áp suất thường.

Trong sản xuất thường sử dụng rất nhiều loại tháp nhưng chúng đều có một yêu cầu cơ bản là diện tích bề mặt tiếp xúc pha phải lớn, điều này phụ thuộc vào độ phân tán của lưu chất này vào lưu chất kia.

Tháp chưng cất rất phong phú về kích cỡ và ứng dụng, các tháp lớn nhất thường được ứng dụng trong công nghiệp lọc hoá dầu. Kích thước của tháp: đường kính tháp và chiều cao tháp tùy thuộc suất lượng pha lỏng, pha khí của tháp và độ tinh khiết của sản phẩm. Ta khảo sát 2 loại tháp chưng cất thường dùng là tháp mâm và tháp chêm.

Tháp mâm: thân tháp hình trụ, thẳng đứng phía trong có gắn các mâm có cấu tạo khác nhau để chia thân tháp thành những đoạn bằng nhau, trên mâm pha lỏng và pha hơi được cho tiếp xúc với nhau. Tùy theo cấu tạo của đĩa, ta có:

Tháp mâm chóp: trên mâm bố trí có chóp dạng: tròn, xú bấp, chữ s...

Tháp mâm xuyên lỗ: trên mâm bố trí các lỗ có đường kính (3-12) mm

Tháp chêm: tháp hình trụ, gồm nhiều đoạn nối với nhau bằng mặt bích hay hàn. Vật chêm được cho vào tháp theo một trong hai phương pháp: xếp ngẫu nhiên hay xếp thứ tự theo Bảng 7.1 dưới cho ta thấy sự so sánh của các loại tháp.

**Bảng 7.1** So sánh ưu và nhược điểm của các loại tháp

	Tháp chêm	Tháp mâm xuyên lỗ	Tháp mâm chóp
Ưu điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Đơn giản</li> <li>- Trở lực thấp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hiệu suất tương đối cao.</li> <li>- Hoạt động khá ổn định.</li> <li>- Làm việc với chất lỏng bẩn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hiệu suất cao</li> <li>- Hoạt động ổn định</li> </ul>
Nhược điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hiệu suất thấp.</li> <li>- Độ ổn định kém.</li> <li>- Thiết bị nặng.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trở lực khá cao</li> <li>- Yêu cầu lắp đặt khắt khe</li> <li>- lắp đĩa thật phẳng</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cấu tạo phức tạp</li> <li>- Trở lực lớn.</li> <li>- Không làm việc với chất lỏng bẩn.</li> </ul>

**Nhận xét:** Qua việc phân tích và so sánh như trên, phương án thiết kế Tháp mâm xuyên lỗ được chọn để làm mô hình thực nghiệm.

Tháp mâm xuyên lỗ là trạng thái giữa trung gian giữa tháp chêm và tháp mâm chóp. Nên ta chọn tháp chưng cất là tháp mâm xuyên lỗ.

Như vậy Chưng cất hệ thống Ethanol và Nước ta dùng tháp mâm xuyên lỗ hoạt động liên tục ở áp suất thường, cấp nhiệt gián tiếp ở đáy tháp.

### 7.3 Giới thiệu sơ bộ về sản phẩm chưng cất

Ethanol, hay còn được gọi là rượu etylic, còn êtylic hoặc cồn công nghiệp, là chất lỏng có mùi đặc trưng, không độc, tan nhiều trong nước. Hiện nay cồn công nghiệp được sử dụng rất phổ biến trên thế giới để làm xăng sinh học.

Ethanol có nhiều ứng dụng hơn Metanol, nó đóng một vai trò quan trọng trong nền kinh tế quốc dân. Đây là nguyên liệu dùng để sản xuất hơn 150 mặt hàng khác nhau và được ứng dụng rộng rãi trong các ngành: công nghiệp nặng, y tế và dược, quốc phòng, giao thông vận tải, dệt, chế biến gỗ và nông nghiệp.

Phương pháp điều chế: có nhiều phương pháp điều chế Ehtanol: hydrat hoá Etylen với xúc tác  $H_2SO_4$ ; thủy phân dẫn xuất halogen và ester của etanol khi đun nóng với nước xúc tác dung dịch bazơ; hydro hoá aldehyt acêtic; từ các hợp chất cơ kim...

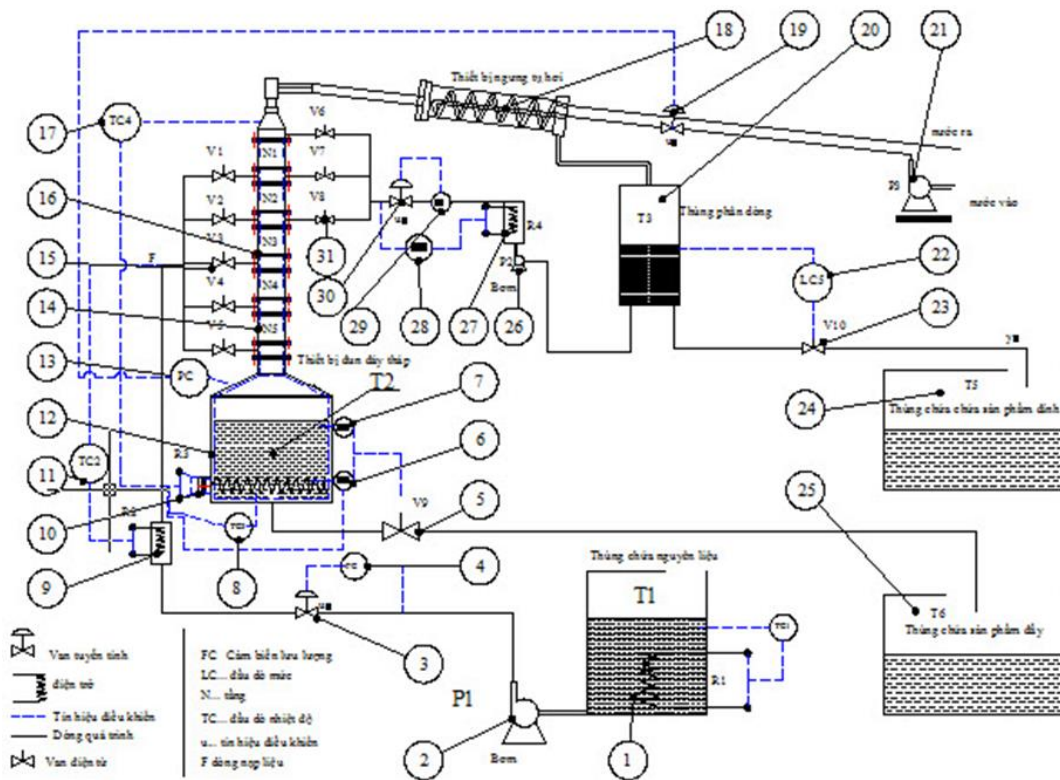


Trong công nghiệp, điều chế Ethanol bằng phương pháp lên men từ nguồn tinh bột và rỉ đường. Những năm gần đây, ở nước ta công nghệ sản xuất Ethanol chủ yếu là sử dụng chủng nấm men *Saccharomyces cerevisiae* để lên men tinh bột.

**Nước:** Trong điều kiện bình thường: nước là chất lỏng không màu, không mùi, không vị nhưng khối nước dày sẽ có màu xanh nhạt.

Nước là hợp chất chiếm phần lớn trên trái đất (3/4 diện tích trái đất là nước biển) và rất cần thiết cho sự sống. Nước là dung môi phân cực mạnh, có khả năng hoà tan nhiều chất và là dung môi rất quan trọng trong kỹ thuật hóa học.

#### 7.4. Quy trình chung cất Ethanol và Nước



**Hình 7.5** Lưu đồ mô hình thiết kế hệ thống tháp chưng cất Ethanol và nước

Giải thích lưu đồ:

- 1- Bồn chứa nguyên liệu.
- 2- Bơm nguyên liệu
- 3- Van lưu lượng đầu vào
- 4- Cảm biến lưu lượng đầu vào
- 5- Van xả sản phẩm đáy
- 6- Cảm biến mức dưới
- 7- Cảm biến mức trên
- 8- Cảm biến nhiệt độ đáy tháp
- 9- Điện trở đun nguyên liệu đầu vào
- 10- Điện trở đun nóng đáy tháp

- 11- Cảm biến nhiệt độ đầu vào
- 12- Bồn chứa hỗn hợp nguyên liệu trong quá trình chưng cất
- 13- Cảm biến áp suất
- 14- Tầng của tháp chưng cất 1, 2, 3, 4, 5.
- 15- Van mở nguyên liệu đầu vào tháp V1, V2, V3, V4, V5.
- 16- Mâm xuyên lỗ
- 17- Cảm biến nhiệt độ đỉnh tháp
- 18- Thiết bị ngưng tụ
- 19- Van mở nước làm mát
- 20- Bồn phân dòng sản phẩm
- 21- Bơm nước làm mát
- 22- Cảm biến mức sản phẩm
- 23- Van mở sản phẩm đỉnh
- 24- Bồn chứa sản phẩm đỉnh
- 25- Bồn chứa sản phẩm đáy
- 26- Bơm hoàn lưu
- 27- Điện trở hoàn lưu
- 28- Cảm biến nhiệt độ hoàn lưu
- 29- Cảm biến lưu lượng hoàn lưu
- 30- Van lưu lượng hoàn lưu
- 31- Van mở nguyên liệu hoàn lưu

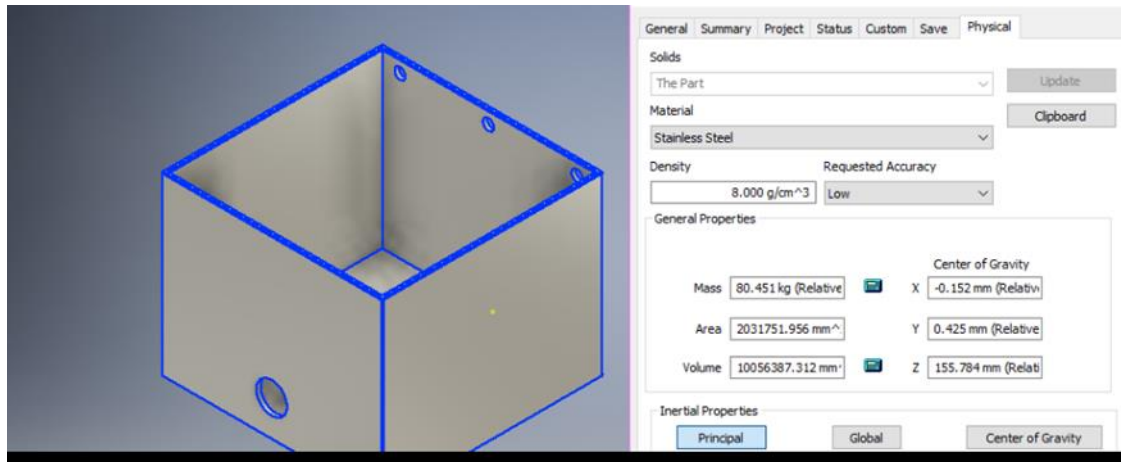
*Nguyên lý hoạt động của tháp chưng cất.*

Hỗn hợp Ethanol và Nước ban đầu có nồng độ của Ethanol khoảng 10% được đưa vào bồn chứa nhiên liệu (1), trong bồn chứa có thiết bị gia nhiệt hỗn hợp lên nhiệt độ 75°C. Theo đó, hỗn hợp được bơm qua thiết bị gia nhiệt (9) đun đến nhiệt độ 99°C và được cấp vào tháp thông qua van (V1), hỗn hợp được chiết tách thông qua các mâm xuyên lỗ (16), Ethanol được bay lên đỉnh tháp đến thiết bị ngưng tụ (18), trước đó thiết bị nơm nước lần nguội đã được bật ON, kế tiếp Ethanol được thu hồi về thùng T2 (20) để kiểm tra nồng độ thông qua thiết bị kiểm tra (22). Nếu sản phẩm đạt nồng độ theo yêu cầu thì van (23) mở chế độ ON để sản phẩm về Thùng (24), nếu sản phẩm chưa đạt thì bơm (26) hoạt động để bơm sản phẩm vào thiết bị gia nhiệt (27) lên 99°C thông qua van (30,31) vào tháp. Sản phẩm có nồng độ thấp sẽ lần lượt chảy xuống các mâm xuyên lỗ để về bồn T2 cho đến khi sản phẩm đáy đạt mức thấp nhất (6) thì thiết bị gia nhiệt trong bồn nung đáy tháp (10) được nung lên 99°C thông qua cảm biến nhiệt (8). Trong tháp hơi, đi từ dưới lên gặp chất lỏng đi từ trên xuống. Ở đây, có sự tiếp xúc và trao đổi giữa hai pha với nhau. Pha lỏng chuyển động trong phần chưng càng xuống dưới càng giảm nồng độ các cấu tử dễ bay hơi vì đã bị pha hơi tạo nên từ nồi đun lôi cuốn cấu tử dễ bay hơi, nên khi hơi đi qua các đĩa từ dưới lên thì cấu tử có nhiệt độ sôi cao là nước sẽ ngưng tụ lại, cuối cùng trên đỉnh tháp ta thu được hỗn hợp có Ethanol có nồng độ cao. Hơi này đi vào thiết bị làm lạnh và được ngưng tụ tại ống ngưng tụ. Một phần chất

lồng sẽ ra bồn chứa sản phẩm đỉnh. Một phần của chất lỏng ngưng tụ được hoàn lưu về tháp ở đĩa trên cùng thông qua bộ gia nhiệt hoàn lưu. Một phần cấu tử cấu tử có nhiệt độ sôi thấp được bốc hơi, còn lại cấu tử có nhiệt độ sôi cao trong chất lỏng ngày càng tăng và chảy xuống đáy. Cuối cùng, ở đáy tháp thu được hỗn hợp lỏng hầu hết là các cấu tử khó bay hơi (Nước). Khi Hỗn hợp lỏng ở đáy tháp lên mức (7) thì được van (5) mở lên ON để xả vào bồn chứa sản phẩm đáy (25). Quá trình trên được hệ thống làm việc liên tục cho ra sản phẩm đỉnh là Ethanol, sản phẩm đáy là nước.

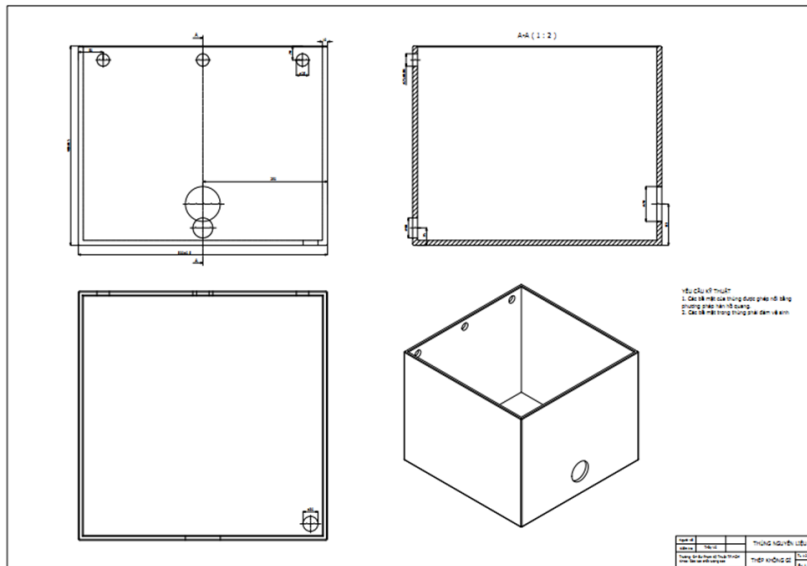
**7.5. Một số hình ảnh thiết kế phần cơ khí của tháp chưng cất**

**7.5.1 Thiết kế thùng nguyên liệu**



**Hình 7.6** Mô hình 3D của thùng nguyên liệu đầu vào

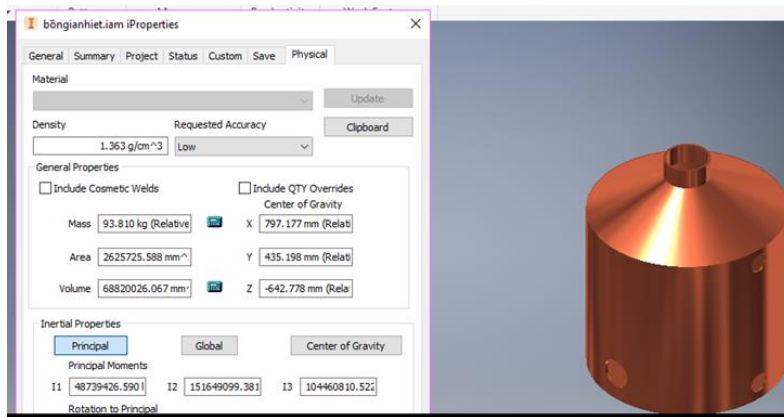
Bản vẽ thiết kế 2D được thể hiện dưới



**Hình 7.7** Thiết kế 2D thùng nguyên liệu

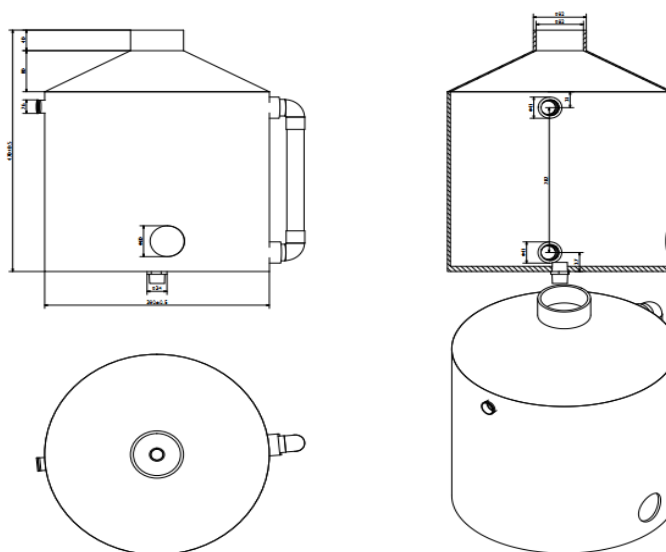
**7.5.2. Tính đường kính bồn gia nhiệt**

Thiết kế mô hình 3D được thể hiện ở Hình 7.8



**Hình 7.8** Mô hình 3D bồn gia nhiệt

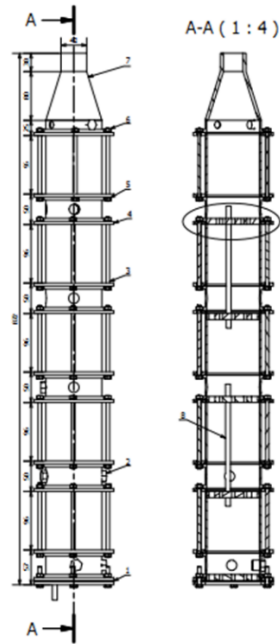
Bản vẽ thể hiện ở Hình 7.9



**Hình 7.9** Bản vẽ thiết kế 2D bồn gia nhiệt

### 7.5.3 Thiết kế tháp chưng cất

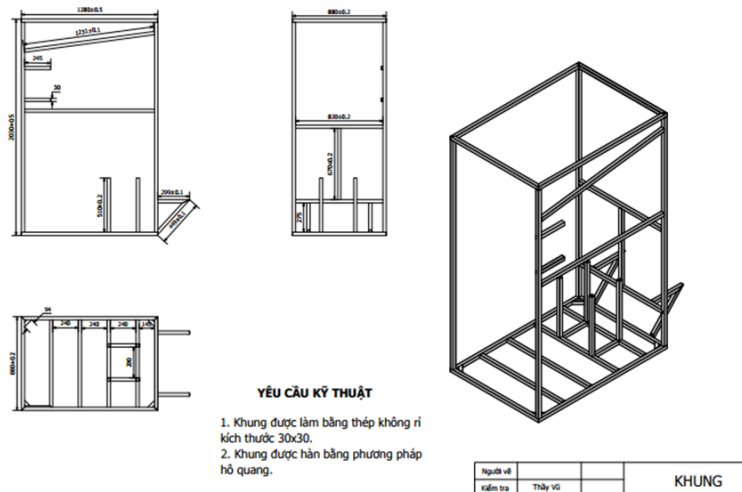
### 7.5.4 Chiều cao của tháp chưng cất



**Hình 7.10** Mô hình thiết kế tháp chưng cất

### 7.5.5 Kích và thiết kế khung

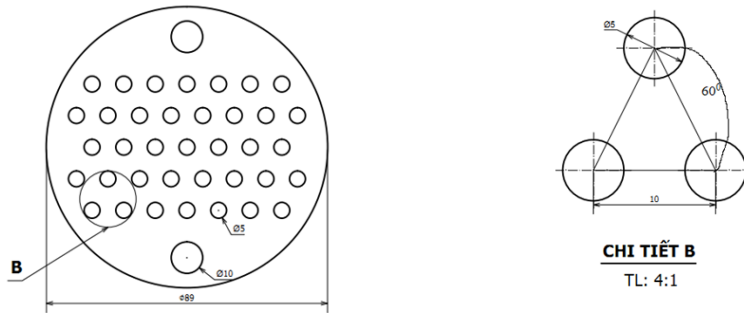
Bản vẽ kích thước khung được thể hiện dưới Hình 7.11.



**Hình 7.11** Thiết kế khung

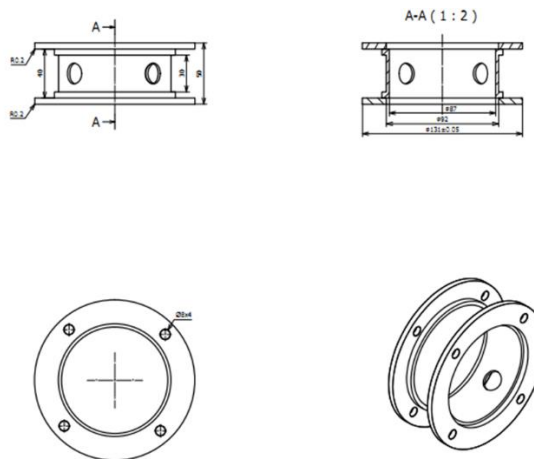
### 7.5.6 Tính toán thiết kế mâm lỗ

Cấu tạo mâm lỗ được thể hiện ở Hình 7.12



**Hình 7.12** Cấu tạo mâm lỗ

Bản vẽ mặt bích và ống nối được thể hiện dưới Hình 7.13:

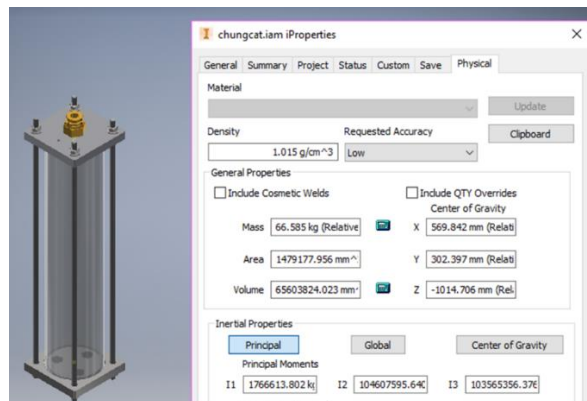


**Hình 7.13** Mặt bích và ống nối

### 7.5.7 Tính toán thiết bị ngưng tụ

### 7.5.8 Bình đựng sản phẩm ngưng tụ

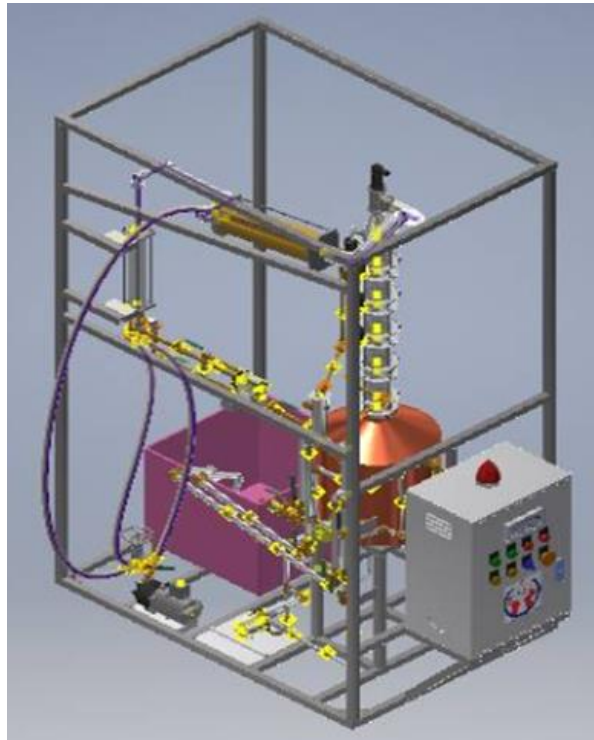
Bình được thiết kế như Hình 7.14:



**Hình 7.14** Thiết kế bình ngưng tụ

### 7.5.9 Mô hình thiết kế 3D

Quy trình lắp ráp và tách thực hiện bằng phần mềm vẽ 3D Inventor ở Hình 7.15



**Hình 7.15** Mô hình thiết kế 3D tháp chưng cất

## 7.6 Một số cụm chi tiết mô hình thực nghiệm



**Hình 7.16** Bồn chứa nguyên liệu



**Hình 7.17** Bồn chứa nguyên liệu



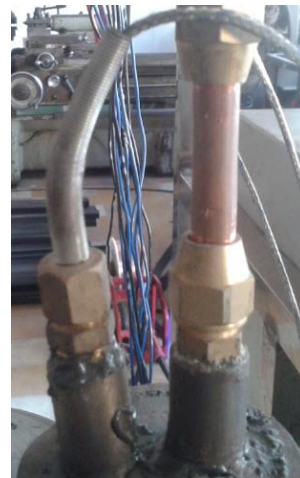
**Hình 7.18** Đồng hồ đo lưu lượng nạp liệu



**Hình 7.19** Van tuyến tính nạp liệu



**Hình 7.20** Bồn chứa điện trở nạp liệu



**Hình 7.21** Cảm biến nhiệt độ nạp liệu



**Hình 7.22** Cảm biến mức



**Hình 7.23** Van nạp – xả liệu





**Hình 7.24** Đồng hồ nhiệt độ đỉnh thấp



**Hình 7.25** Điện trở nồi đun



**Hình 7.26** Cảm biến áp suất



**Hình 7.27** Bồn chứa hỗn hợp sản phẩm



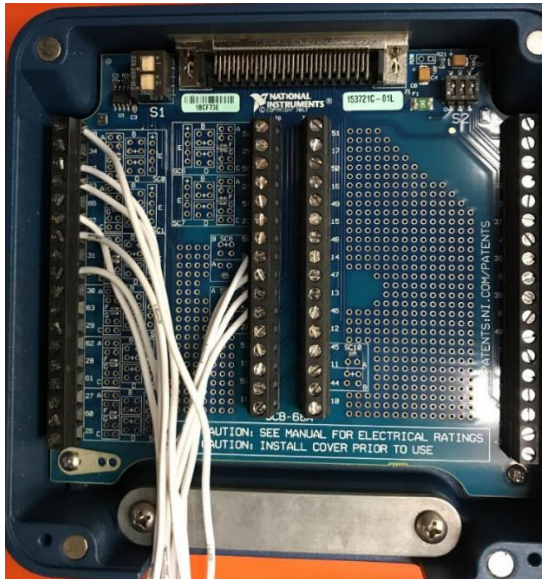
**Hình 7.28** Thiết bị ngưng tụ



Hình 7.29 Bơm nước



Hình 7.30 Bơm hoàn lưu



Hình 7.31 Card giao tiếp



Hình 7.32 Thông số Card giao tiếp

Các thiết bị trên được lắp ráp theo đúng thiết kế và thể hiện ở Hình 7.33



**Hình 7.33** Tháp chưng cất



**Hình 7.34** Hệ thống điều khiển trung tâm

## 7.7 Ứng dụng thực nghiệm

### 7.7.1 Ứng dụng bộ phân ly đơn giản hóa cho tháp chưng cất

Dựa vào thuật toán đã thiết kế như đã trình bày ở trên. Đối với tháp chưng cất, thông số thực của bộ phân ly đơn giản hóa được sử dụng như sau:

$$D(s) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{0.7278(20.463s + 1)e^{-1.437s}}{(17.938s + 1)} & 0.0048e^{-0.203s} \\ 0.352e^{-0.159s} & 1 & -0.0028 \\ \frac{23.238(18.29s + 1)e^{-7.2209s}}{(17.271s + 1)} & \frac{-26.457(4.128s + 1)e^{-6.4305s}}{(14.521s + 1)} & 1 \end{bmatrix}$$

Bộ điều khiển được sử dụng có thông số như sau:

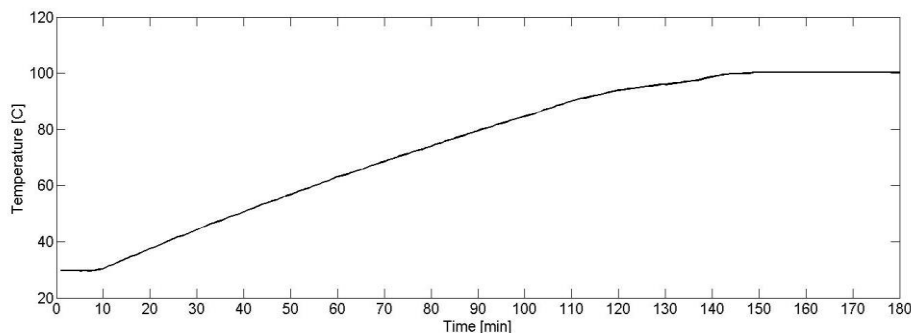
$$G_{c1}(s) = 0.34 \left( 1 + \frac{1}{1.04s} + 0.325s \right) \frac{5.96s + 1}{0.23s^2 + 0.403s + 1}$$

$$G_{c2}(s) = -0.089 \left( 1 + \frac{1}{1.2s} + 0.375s \right) \frac{4.83s + 1}{0.3s^2 + 0.44s + 1}$$

$$G_{c3}(s) = 0.287 \left( 1 + \frac{1}{0.4s} + 0.125s \right) \frac{3.04s + 1}{0.035s^2 + 0.162s + 1}$$

*Kết quả thực nghiệm bộ phân ly đơn giản hóa cho tháp chưng cất:*

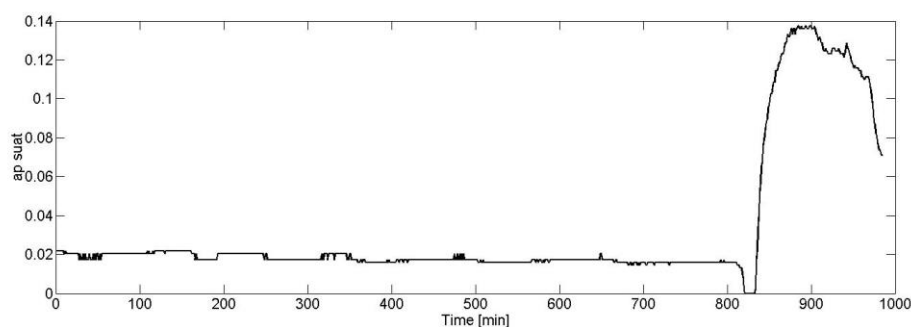
Theo dữ liệu từ thực nghiệm (phụ lục 1), ta có thể xác định mối quan hệ nhiệt độ của tháp với thời gian theo Hình 7.35.



**Hình 7.35** Đáp ứng nhiệt độ theo thời gian của tháp chưng cất

Theo đồ thị trên Ta thấy rằng mô hình tháp chưng cất đã thỏa mãn yêu cầu thiết ban đầu, hệ thống điều khiển phân ly đơn giản hóa hoạt động ổn định.

Ta cũng thấy rằng áp suất ít có sự ảnh hưởng đến nhiệt độ của quá trình chưng cất như Hình 7.36



**Hình 7.36** Đáp ứng áp suất theo thời gian của tháp chưng cất

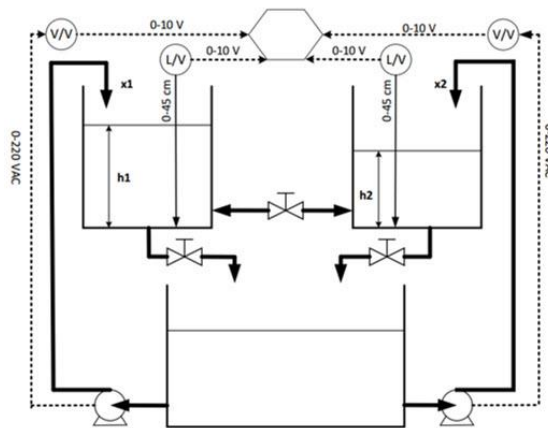
## 7.7.2 Ứng dụng cho hệ bồn nước

### *Giới thiệu phần cứng mô hình*

Hệ gồm hai bồn nước thông nhau, mỗi bồn có một dòng vào với lưu lượng được điều khiển thông qua máy bơm. Hai biến tần Yaskawa được sử dụng để điều khiển tốc độ của máy bơm. Mỗi bồn sử dụng một cảm biến điện dung để đo mức. Mô hình được điều khiển bằng Matlab sử dụng Real Time Workshop với sự hỗ trợ của card PCI 6052E



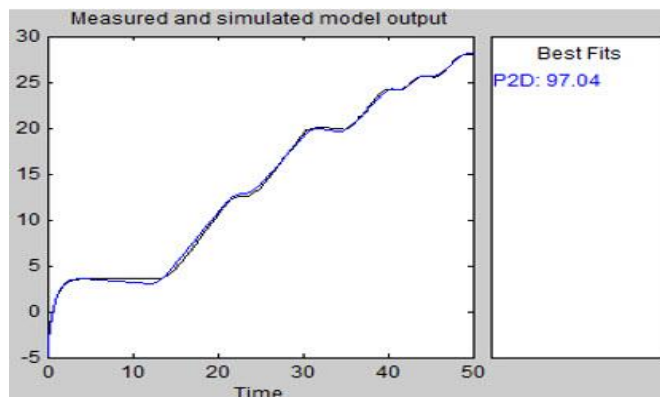
**Hình 7.37** Mô hình thực nghiệm bồn nước đôi  
 Lưu đồ nguyên lý hoạt động bồn nước được thể hiện ở Hình 7.38.



**Hình 7.38** Lưu đồ nguyên lý hoạt động bồn nước

*Mô hình hóa hệ bồn nước đôi*

Sử dụng tín hiệu vào chuẩn của công cụ nhận dạng (Ident toolbox) của Matlab, 1000 cặp dữ liệu vào-ra của cả hai bồn được lấy mẫu và đưa vào nhận dạng. Sau nhiều bước lựa chọn cấu trúc mô hình và đánh giá, cuối cùng đã nhận được kết quả thích hợp nhất.



**Hình 7.39** Kết quả nhận dạng mô hình hệ bồn nước

Ma trận hàm truyền nhận dạng được như sau:

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{11.20e^{-0.65s}}{(160.99s+1)(0.42s+1)} & \frac{0.92e^{-1.82s}}{(183.33s+1)(6.73s+1)} \\ \frac{0.39e^{-1.85s}}{(140.4s+1)(5.12s+1)} & \frac{10.84e^{-0.68s}}{(40.05s+1)(0.32s+1)} \end{bmatrix}$$

Để đơn giản trong việc tính toán bộ phân ly cũng như thiết kế bộ điều khiển tương ứng. Tác giả sử dụng kỹ thuật xấp xỉ Padé 1/1 cho hàm truyền  $G(s)$ , kết quả xấp xỉ

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \frac{11.20e^{-0.83s}}{161.2s+1} & \frac{0.92e^{-5.185s}}{186.7s+1} \\ \frac{0.39e^{-4.41s}}{142.96s+1} & \frac{10.84e^{-0.84s}}{40.21s+1} \end{bmatrix}$$

Sử dụng kỹ thuật phân ly đơn giản hóa với các phương trình từ 2.17 đến 2.22 ta có các kết quả sau:

Các phân tử của ma trận phân ly:

$$d_{21} = -\frac{g_{21}}{g_{22}} = -\frac{0.036(40.21s+1)}{(142.96s+1)}e^{-3.57s}$$

$$d_{12} = -\frac{g_{12}}{g_{11}} = -\frac{0.082(161.2s+1)}{(186.7s+1)}e^{-4.355s}$$

Các phân tử của quá trình sau khi bị phân ly có hàm truyền như sau:

$$q_{11} = g_{11} - \frac{g_{12}g_{21}}{g_{22}} = \frac{11.20e^{-0.83s}}{(161.2s+1)} - \frac{\frac{0.92e^{-5.185s}}{(186.7s+1)} \times \frac{0.39e^{-4.41s}}{(142.96s+1)}}{\frac{10.84e^{-0.84s}}{(40.21s+1)}}$$

$$\Rightarrow q_{11} = g_{11} - \frac{g_{12}g_{21}}{g_{22}} = \frac{11.20e^{-0.83s}}{(161.2s+1)} - \frac{0.033(40.21s+1)e^{-8.755s}}{(186.7s+1)(142.96s+1)}$$

$$q_{22} = g_{22} - \frac{g_{12}g_{21}}{g_{11}} = \frac{10.84e^{-0.84s}}{(40.21s+1)} - \frac{\frac{0.92e^{-5.185s}}{(186.7s+1)} \times \frac{0.39e^{-4.41s}}{(142.96s+1)}}{\frac{11.20e^{-0.83s}}{(161.2s+1)}}$$

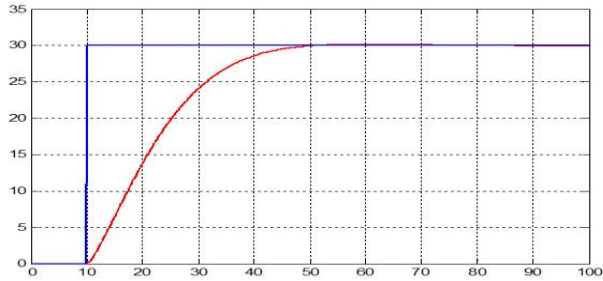
$$\Rightarrow q_{22} = g_{22} - \frac{g_{12}g_{21}}{g_{11}} = \frac{10.84e^{-0.84s}}{(40.21s+1)} - \frac{0.032(161.2s+1)e^{-8.765s}}{(186.7s+1)(142.96s+1)}$$

Dựa vào các công thức tính toán bộ điều khiển (4.22) đến (4.31) ta tính được các thông số của bộ điều khiển PID cho hai thành phần đường chéo của ma trận sau khi được phân ly như sau:

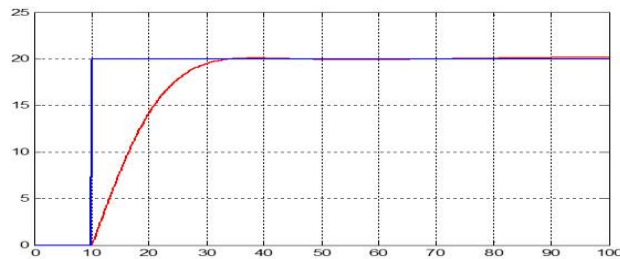
$$\begin{cases} K_{c1} = 5.422 \\ \tau_{I1} = 5.533 \\ \tau_{D1} = 0.0085 \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_{c2} = 2.078 \\ \tau_{I2} = 3.247 \\ \tau_{D2} = 0.0164 \end{cases}$$

Sử dụng kết quả tính toán được ta mô phỏng kiểm chứng trên Matlab:



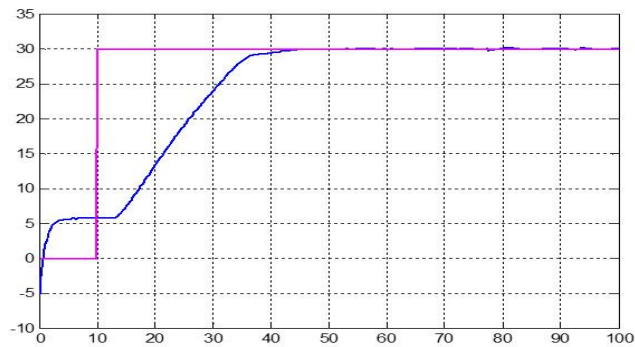
**Hình 7.40** Đáp ứng mô phỏng của bồn 1



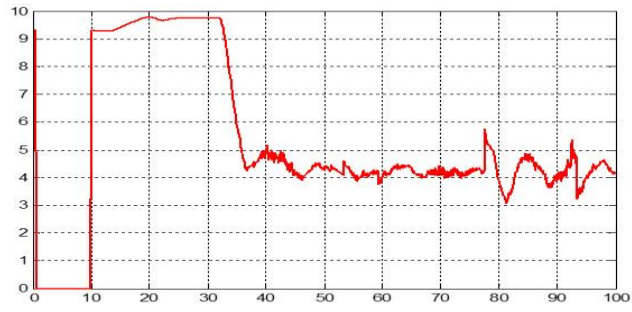
**Hình 7.41** Đáp ứng mô phỏng của bồn 2

*Kết quả thực thi trên mô hình thật*

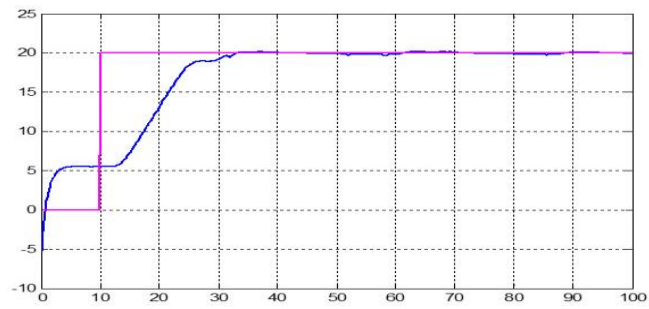
Đáp ứng đầu ra của hệ thống như sau:



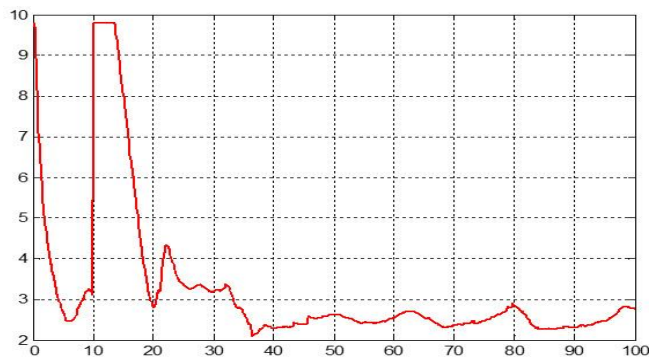
**Hình 7.42** Đáp ứng khi chạy trên mô hình thật của bồn 1



**Hình 7.43** Tín hiệu điều khiển của bồn 1



**Hình 7.44** Đáp ứng mô phỏng của bồn 2



**Hình 7.45** Tín hiệu điều khiển của bồn 2



## Chương 8: KẾT LUẬN

### I. KẾT LUẬN

Thiết kế bộ phân ly đơn giản hoá

Đề xuất được các phương pháp thiết kế PID đa biến

Chế tạo được mô hình thực nghiệm

Kết quả mô phỏng đã thể hiện được hiệu quả của phương pháp đề xuất khi đáp ứng đầu ra nhanh, cân bằng và hầu như loại bỏ các ảnh hưởng của nhiễu và các tác động bên trong của các vòng kín. Chính vì thế, chất lượng của hệ thống đa biến đã cải thiện đáng kể khi giá trị IAE của hệ thống đề xuất luôn nhỏ hơn rất nhiều so với các hệ thống khác.

Kết quả thực nghiệm trên mô hình tháp chưng cất tự chế tạo, bộ điều khiển hoạt động ổn định và đáp ứng được các tiêu chí đề ra.

Ngoài ra bộ điều khiển còn được thực hiện trên hệ thống bồn nước đôi, bộ điều khiển phân ly đơn giản hóa hoạt động hiệu quả với các tín hiệu điều khiển ổn định.

### II. KIẾN NGHỊ

Đưa bộ điều khiển đề xuất vào hệ thống chưng cất công nghiệp cũng như chưng cất nước cất tinh khiết và chưng cất các loại nước hương như: Hương Bưởi, hương Chanh, hương Táo, hương Dừa...

Kiểm nghiệm lại các thông số bộ điều khiển phân ly cho từng hệ thống chưng cất.

Đưa bộ điều khiển vào chương trình giảng dạy để phục vụ cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 của đảng và nhà nước đề ra.

## CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

STT	Nội dung
01	Truong Nguyen Luan Vu, Le Hieu Giang, Nguyen Truong Thinh, Dang Thien Ngon, <b>Le Linh</b> ; “ <i>Fractional-order PI controllers design based on IMC scheme for enhanced performance of dead-time processes</i> ”. 13th International Conference Control, Automation and Systems (ICCAS), Korea, 2013.
02	T. N. L. Vu, L. H. Giang, <b>Linh Le</b> ; “A New Analytical Design Based On The Effect Of Closed-Loop Interaction In Multi-Loop Control Systems” <i>Proceedings of The 2nd International Conference on Green Technology and Sustainable Development, Viet Nam</i> , pp.609-615, 2014.
03	T. N. L. Vu, L. H. Giang, <b>Linh Le</b> ; “Analytical Design Of Advanced Imc-Pid Controller For The Disturbance Rejection Of First-Order Plus Dead Time Processes” <i>Proceedings of The 2nd International Conference on Green Technology and Sustainable Development, Viet Nam</i> , pp.616-622, 2014.
04	T. N. L. Vu, L. H. Giang, <b>Linh Le</b> ; “Design Of Simplified Decoupling Smith Control Scheme For Multivariable Process With Multiple Time Delays” <i>Proceedings of The 2nd International Conference on Green Technology and Sustainable Development, Viet Nam</i> , pp.623-628, 2014.
05	<b>Lê Linh</b> , Trương Nguyễn Luân Vũ, Lê Hiếu Giang. Design of multi-loop controller for simplified decoupling system. Proceedings of the 4th National Conference on Mechanical Science & Technology, HCMC November 6th, 2015, vol. 2, pp. 23-29.
06	<b>Lê Linh</b> , Trương Nguyễn Luân Vũ, Lê Hiếu Giang; “Design of IMC-PID Controller Cascaded Filter for Simplified Decoupling Control System” <i>International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:10, No:7, 2016, Singapore</i> .
07	Lê Hiếu Giang, Trương Nguyễn Luân Vũ, <b>Lê Linh</b> ; “Analytical Design of IMC-PID Controller for Ideal Decoupling Embedded in Multivariable Smith Predictor Control System” <i>International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:10, No:7, 2016, Singapore</i> .
08	Trương Nguyễn Luân Vũ, Lê Hiếu Giang, <b>Lê Linh</b> ; “Fractional-Order PI Controller Tuning Rules for Cascade Control System” <i>International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:10, No:7, 2016, Singapore</i> .
09	Truong Nguyen Luan Vu, Le Hieu Giang, <b>Le Linh</b> , and Vo Lam Chuong; “ <i>Advanced IMC-PID Controller Design for the Disturbance Rejection of First Order Plus Time Delay Processes</i> ”, International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), Ho Chi Minh City, Vietnam, 2017.
10	Truong Nguyen Luan Vu, Le Hieu Giang, <b>Le Linh</b> , Vo Lam Chuong, Phan Tan Hai; “ <i>Thiết kế bộ điều khiển pid cho quá trình không ổn định bậc hai có thời gian trễ</i> ”. Ho Chi Minh City University Of Technolory And Education, Vietnam.