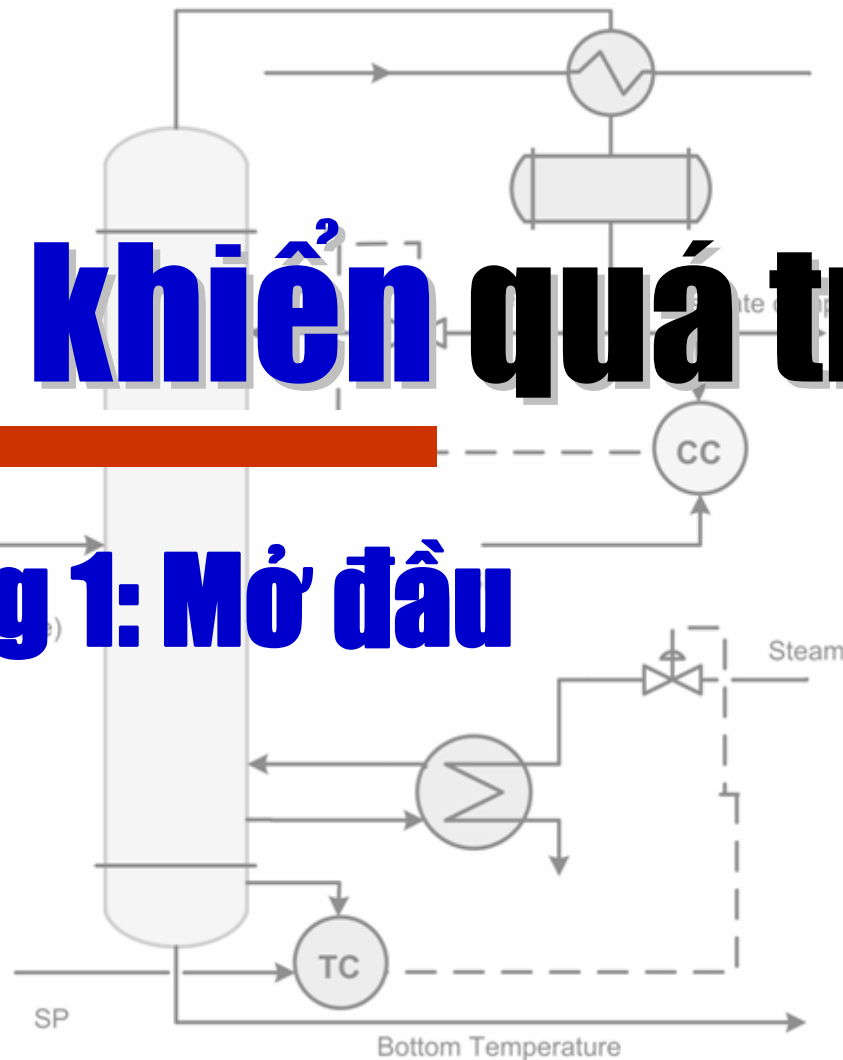


Điều khiển quá trình

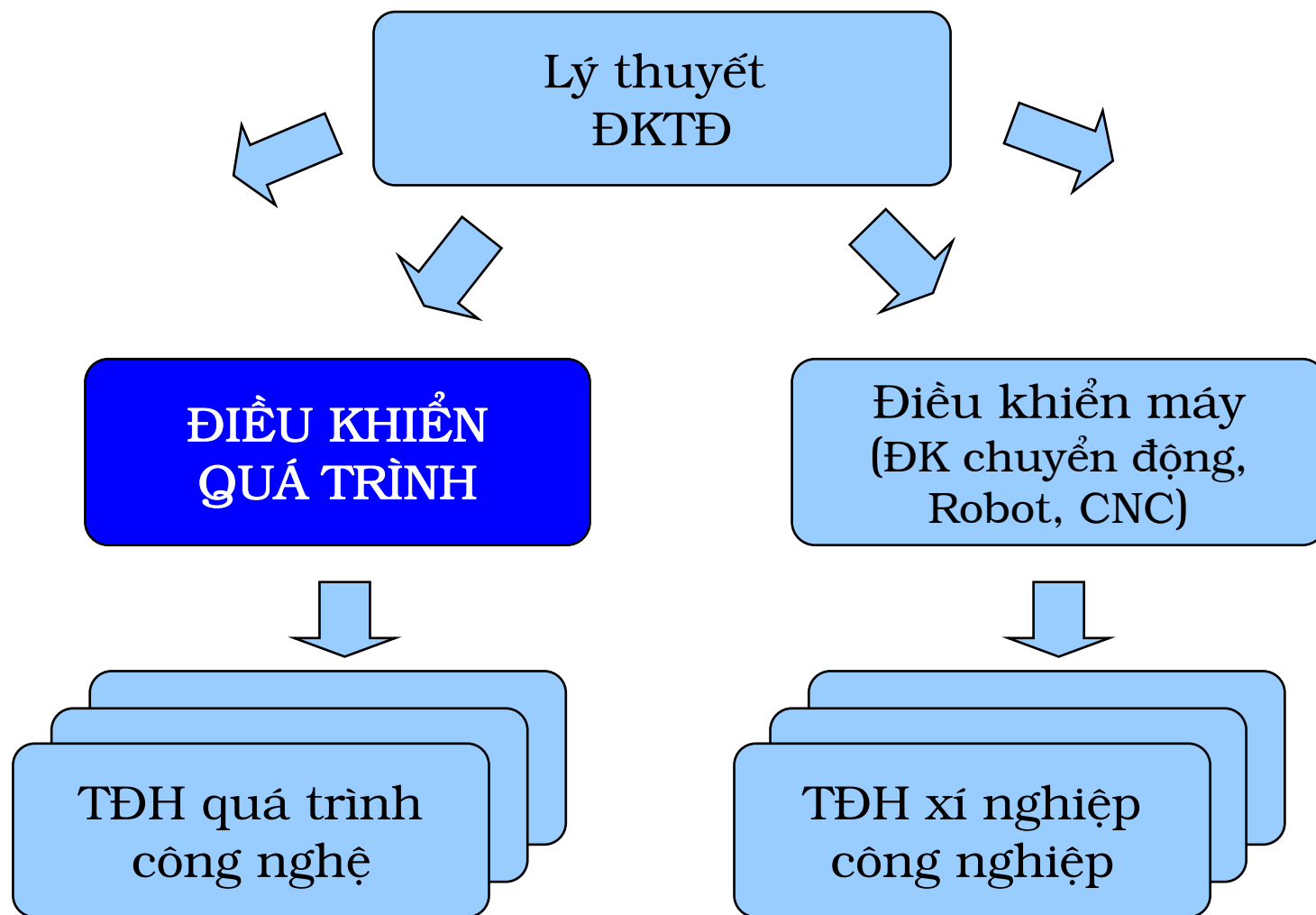
Chương 1: Mở đầu



Nội dung chương 1

- 1.0 Giới thiệu môn học
- 1.1 Các khái niệm cơ bản
- 1.2 Mục đích điều khiển
- 1.3 Cấu trúc cơ bản một HT ĐKQT
- 1.4 Các chức năng điều khiển quá trình
- 1.5 Các nhiệm vụ phát triển hệ thống
- 1.6 Mô tả chức năng hệ thống

1.0 Giới thiệu môn học



Mục đích của môn học

- Sinh viên nắm được các khái niệm và kiến thức cơ sở phục vụ:
 - Tìm hiểu, phân tích yêu cầu điều khiển của các quá trình công nghệ
 - Đặt bài toán điều khiển cho từng yêu cầu cụ thể
 - Thiết kế sách lược điều khiển phù hợp với yêu cầu và với mô hình quá trình
 - Chọn lựa giải pháp thiết bị đo, thiết bị chấp hành và thiết bị điều khiển
- Tạo cơ sở hoặc/và động lực cho các môn học:
 - Điều khiển logic, PLC
 - Thiết bị điều chỉnh tự động công nghiệp
 - Điều khiển phân tán
 - Tự động hóa quá trình công nghệ/sản xuất

Các nội dung đề cập chính

- Tổng quan về hệ thống điều khiển quá trình
 - Các thành phần cơ bản
 - Các chức năng và nhiệm vụ
 - Mô tả chức năng, lưu đồ P&ID
- Xây dựng mô hình quá trình
 - Mô hình hóa lý thuyết
 - Mô hình hóa thực nghiệm
- Thiết kế cấu trúc/sách lược điều khiển
 - Các cấu trúc điều khiển cơ bản
 - Điều khiển tập trung và điều khiển phi tập trung/phân tán
- Thiết kế bộ điều khiển (thuật toán điều khiển)
 - Lựa chọn kiểu bộ điều khiển
 - Tính toán các tham số của bộ điều khiển

Các nội dung đề cập chính (tiếp)

- Cơ sở giải pháp hệ thống điều khiển quá trình
 - Thiết bị đo
 - Thiết bị điều khiển
 - Thiết bị chấp hành
- Các bài toán điều khiển quá trình tiêu biểu
 - Các hệ thống dòng chảy/bình chứa
 - Các hệ thống truyền nhiệt
 - Các quá trình chuyển khối (tháp chưng cất)
- Tin cậy và an toàn hệ thống

Phương pháp đánh giá kết quả

- Thí nghiệm kết hợp bài tập lớn: 2 phần
 - Khảo sát đối tượng bình mức (đối tượng mô phỏng) và xây dựng mô hình thực nghiệm
 - Thiết kế sách lược và thuật toán điều khiển
- Điểm đánh giá
 - Kết quả thí nghiệm/bài tập lớn: 20%
 - Thi cuối kỳ (vấn đáp) 80%

Tài liệu tham khảo

- [1] Hoàng Minh Sơn: Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình. NXB Bách khoa Hà Nội, 2006.
- [2] Belá G. Liptak (chủ biên): *Instrument Engineer's Handbook: Process Control*. 3rd Edition, Chilton Book Co. 1996.
- [3] Michael L. Luyben, William L. Luyben: *Essentials of Process Control*. McGraw-Hill, 1997.
- [4] Luyben, W.L.: *Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers*. McGraw-Hill, 1990.
- [5] Seborg, D.E; T.F. Edgar; D.A. Mellichamp: *Process Dynamics and Control*. 2nd Edition. Wiley, 2004.
- [6] Curtis D. Johnson: *Process Control Instrumentation Technology*. 5th Edition. Prentice-Hall, 1997.
- [7] Thomas Marlin: *Process Control: Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance*. McGraw-Hill 2000.
- [8] Bài giảng (đưa dân, *.pdf Format): Lớp chuẩn bị địa chỉ email, gửi tới: hmson-ac@mail.hut.edu.vn

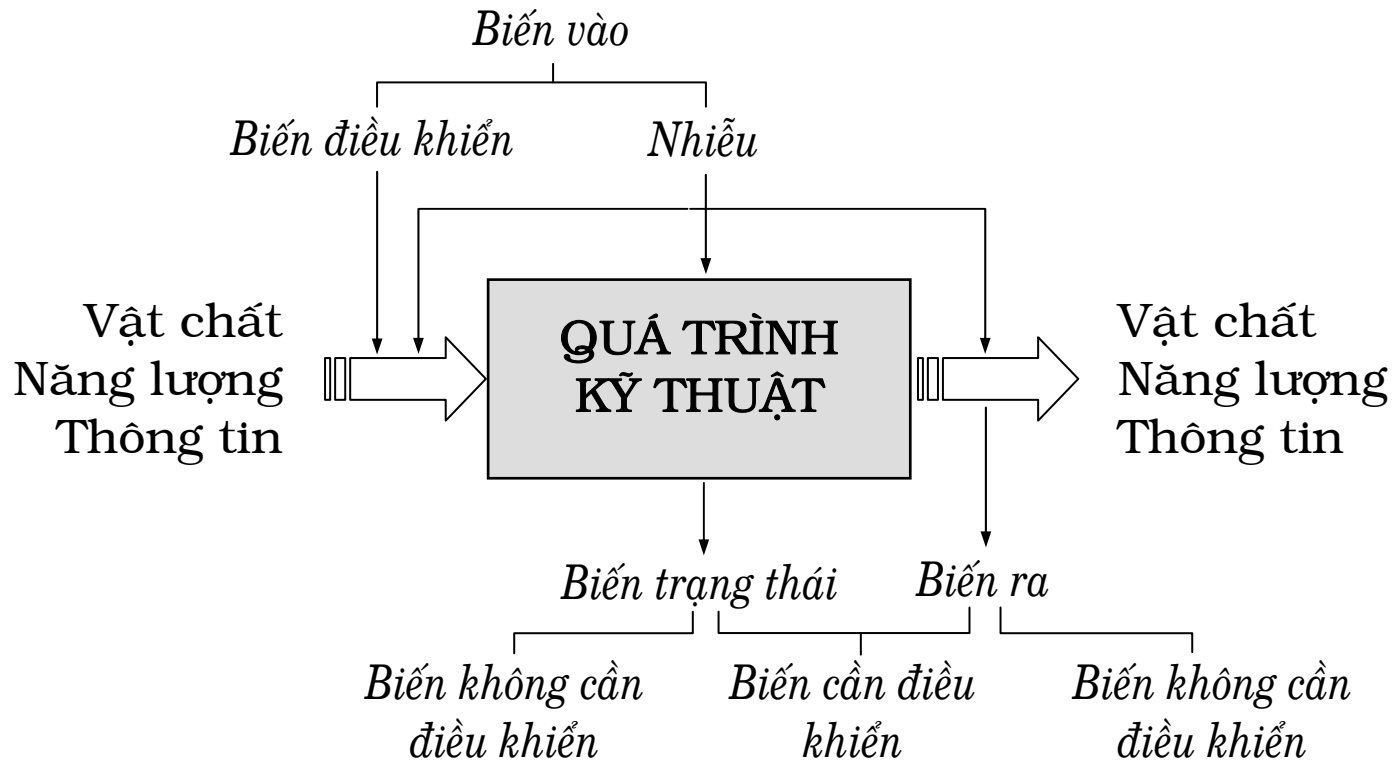
1.1 Các khái niệm cơ bản

- Quá trình, quá trình kỹ thuật
- Biến quá trình:
 - Đại lượng (biến) được điều khiển
 - Đại lượng (biến) điều khiển
 - Đại lượng nhiễu, nhiễu tải và nhiễu đo
- Điều khiển quá trình:
 - Mục đích, nhiệm vụ
 - Một số quan điểm trong định nghĩa
- Hệ thống điều khiển quá trình:
 - Thiết bị điều khiển
 - Thiết bị đo
 - Thiết bị chấp hành
 - Hệ thống vận hành & giám sát

Quá trình & quá trình kỹ thuật

- *Quá trình* là một trình tự các diễn biến vật lý, hóa học hoặc sinh học, trong đó vật chất, năng lượng hoặc thông tin được biến đổi, vận chuyển hoặc lưu trữ (ANSI/ISA 88.01, DIN 19222).
- *Quá trình kỹ thuật* là một quá trình với các đại lượng kỹ thuật được đo hoặc/và được can thiệp.
- *Quá trình công nghệ* là một quá trình kỹ thuật nằm trong một dây chuyền công nghệ => quan tâm tới các quá trình vật chất và năng lượng.
- ➡ Trong nội dung môn học, khái niệm *quá trình* được hiểu là *quá trình công nghệ*

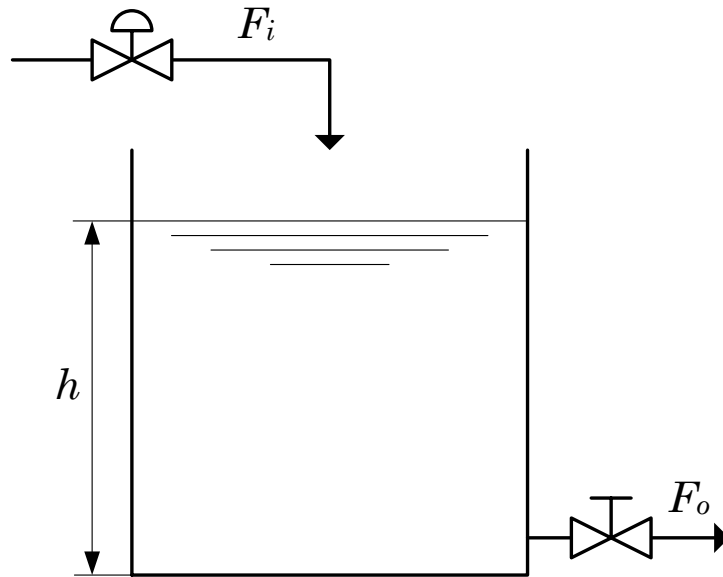
Nhìn từ quan điểm hệ thống



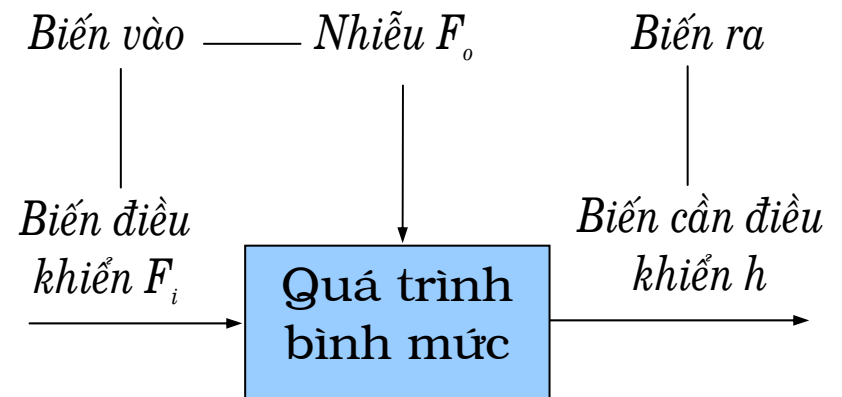
Biến quá trình

- Biến cần điều khiển (*controlled variable*): Biến ra, đại lượng hệ trọng tới sự vận hành an toàn, ổn định hoặc chất lượng sản phẩm, cần được duy trì tại một giá trị đặt, hoặc bám theo một tín hiệu chủ đạo
- Biến điều khiển (*control variable, manipulated variable*): Biến vào can thiệp được theo ý muốn để tác động tới đại lượng cần điều khiển
- Nhiễu: Biến vào không can thiệp được:
 - Nhiễu quá trình (*disturbance, process disturbance*)
 - nhiễu đầu vào (*input disturbance*): biến thiên các thông số đầu vào (lưu lượng, nhiệt độ hoặc thành phần nguyên liệu, nhiên liệu)
 - nhiễu tải (*load disturbance*): thay đổi tải theo yêu cầu sử dụng (lưu lượng dòng chảy, áp suất hơi nước, ...)
 - nhiễu ngoại sinh (*exogenous disturbance*): nhiệt độ, áp suất bên ngoài, ...
 - Nhiễu đo, nhiễu tạp (*noise, measurement noise*)

Ví dụ: bình chất lỏng

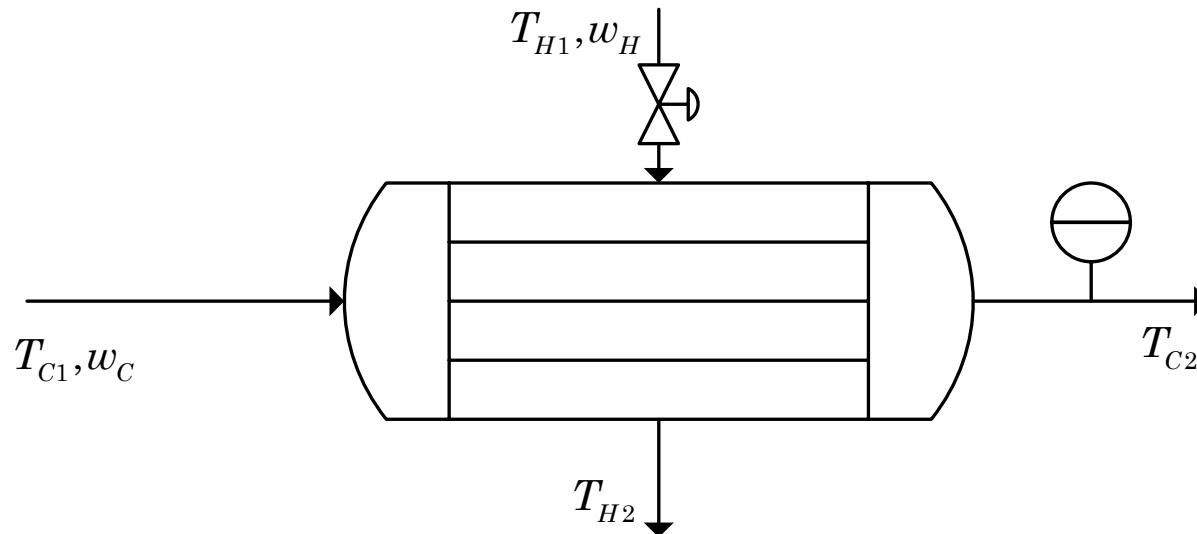


a) Sơ đồ công nghệ

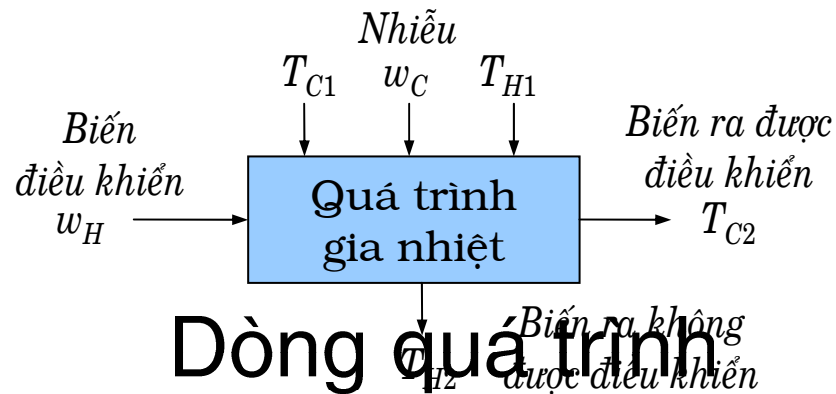


b) Sơ đồ khối

Ví dụ: bộ gia nhiệt



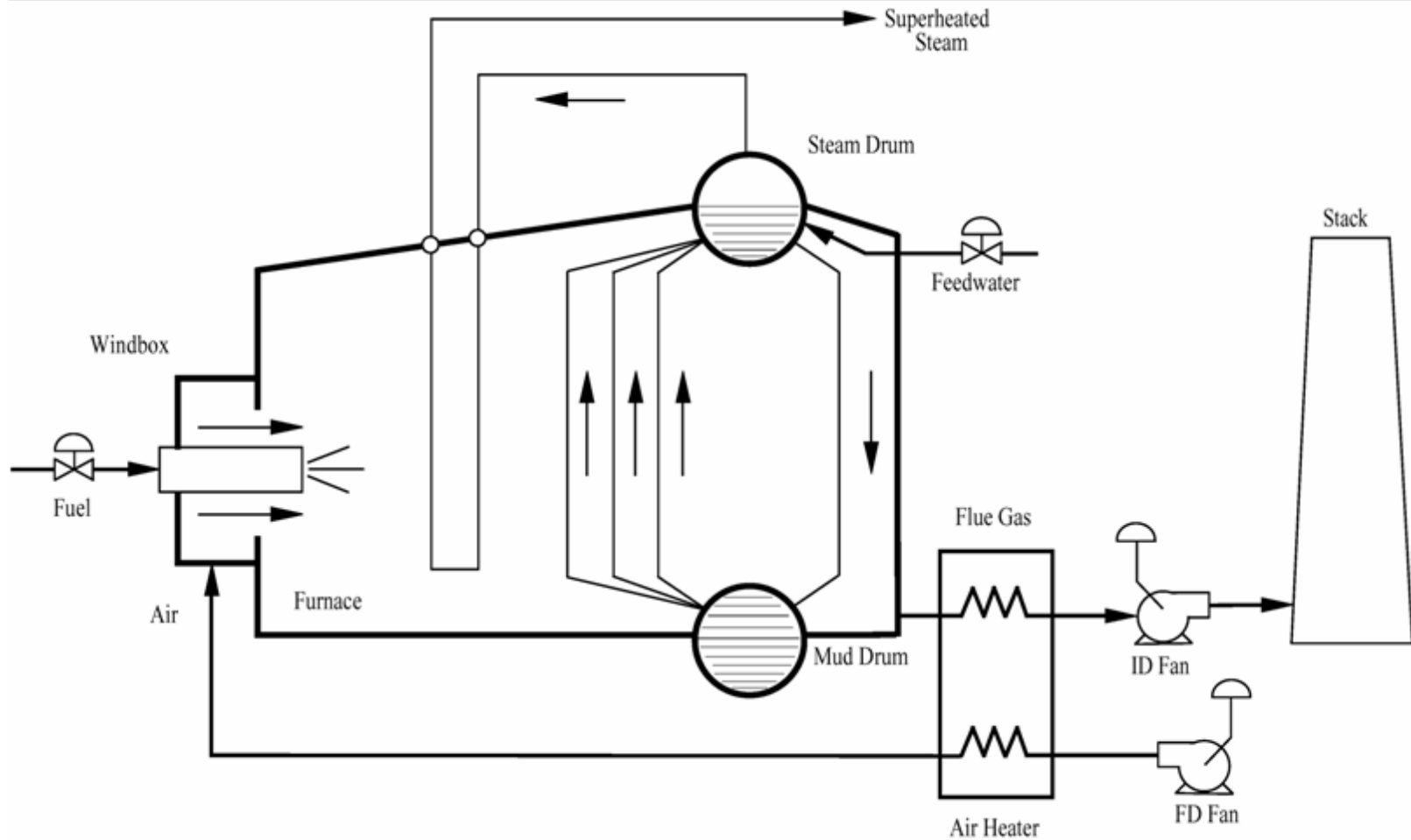
Dòng



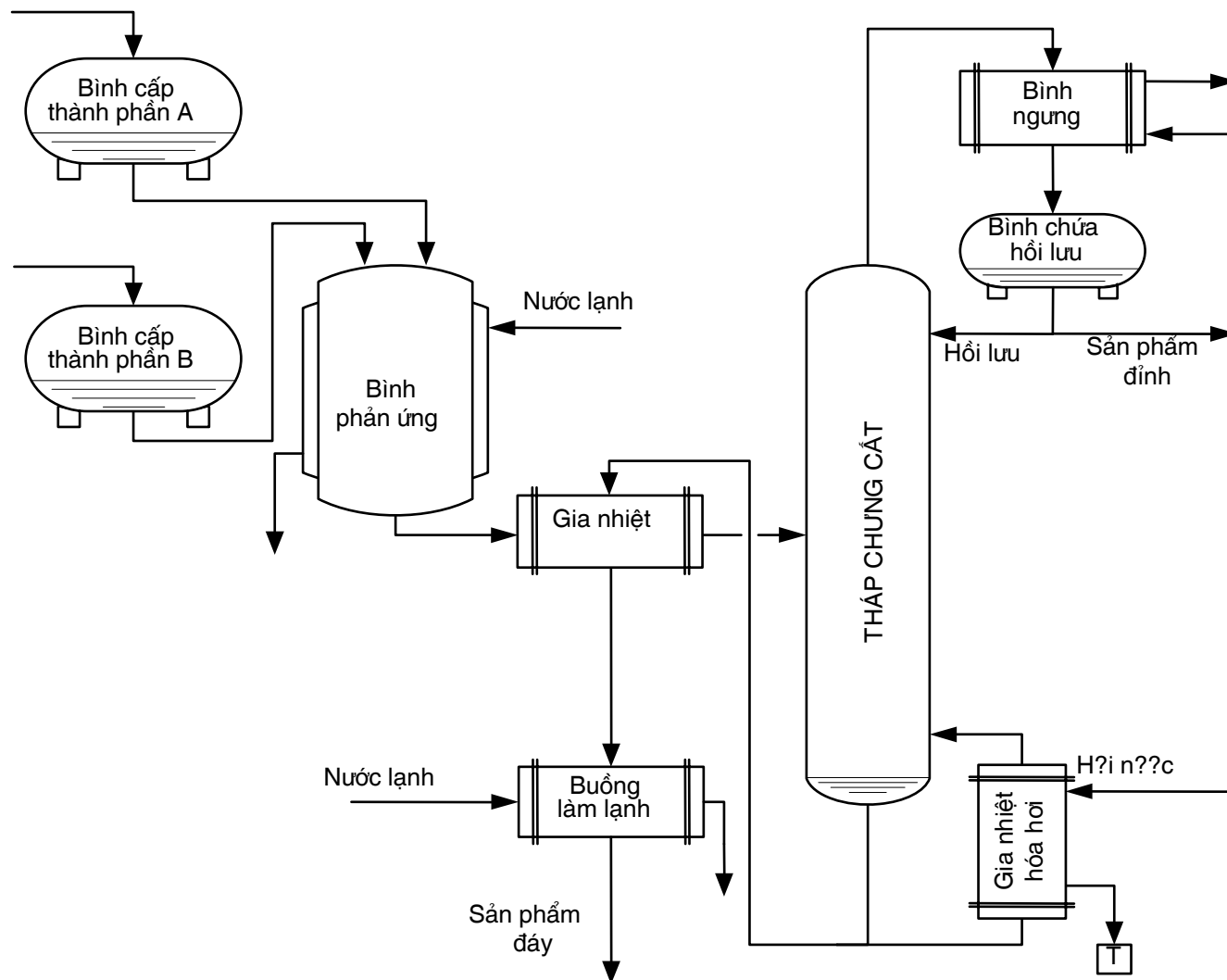
Các dây chuyền công nghệ phức tạp

- Nhà máy xi măng:
 - Công nghệ lò nung
 - Công nghệ cấp liệu, nghiền, vận chuyển, đóng bao
- Nhà máy điện:
 - Công nghệ lò hơi
 - Công nghệ turbin
- Nhà máy lọc dầu, hóa dầu:
 - Công nghệ chưng cất, tinh luyện
 - Công nghệ lò phản ứng liên tục, theo mẻ
- ☹ Vấn đề:
 - Hàng nghìn điểm đo, hàng trăm đại lượng cần điều khiển
 - Các quá trình tương tác qua lại
 - Đòi hỏi độ an toàn, tin cậy rất cao

Ví dụ: Lò hơi



Ví dụ: quá trình sản xuất hóa chất



Nhiệm vụ đặt ra

- Can thiệp một cách hiệu quả các đại lượng đầu vào của quá trình kỹ thuật để các đại lượng đầu ra của nó thỏa mãn các chỉ tiêu cho trước trong khi có tác động của nhiễu và thông tin không chính xác về đối tượng
 - Giảm thiểu ảnh hưởng xấu của quá trình kỹ thuật đối với con người và môi trường xung quanh
- ➔ Vai trò của kỹ thuật điều khiển tự động!

Khái niệm: điều khiển quá trình

Điều khiển quá trình là ứng dụng kỹ thuật điều khiển tự động trong điều khiển, vận hành và giám sát các quá trình công nghệ, nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất và đảm bảo các yêu cầu về bảo vệ con người, máy móc và môi trường.

- Phạm vi ứng dụng: Công nghiệp chế biến, khai thác & năng lượng
- Bài toán đặc thù và quan trọng nhất: Điều chỉnh
- Đối tượng điều khiển: Quá trình công nghệ

Đặc thù của các quá trình công nghệ

- Qui mô sản xuất thông thường vừa và lớn
- Yêu cầu rất cao về độ tin cậy và tính sẵn sàng
- Các quá trình liên quan tới *biến đổi* năng lượng và vật chất
 - Bài toán điều chỉnh là tiêu biểu
 - Các đại lượng cần điều khiển: lưu lượng, áp suất, nhiệt độ, nồng độ, thành phần,...
 - Diễn biến tương đối chậm
 - Mô hình khó xác định
 - Khả năng điều khiển hạn chế
 - Khó thay đổi thiết kế công nghệ

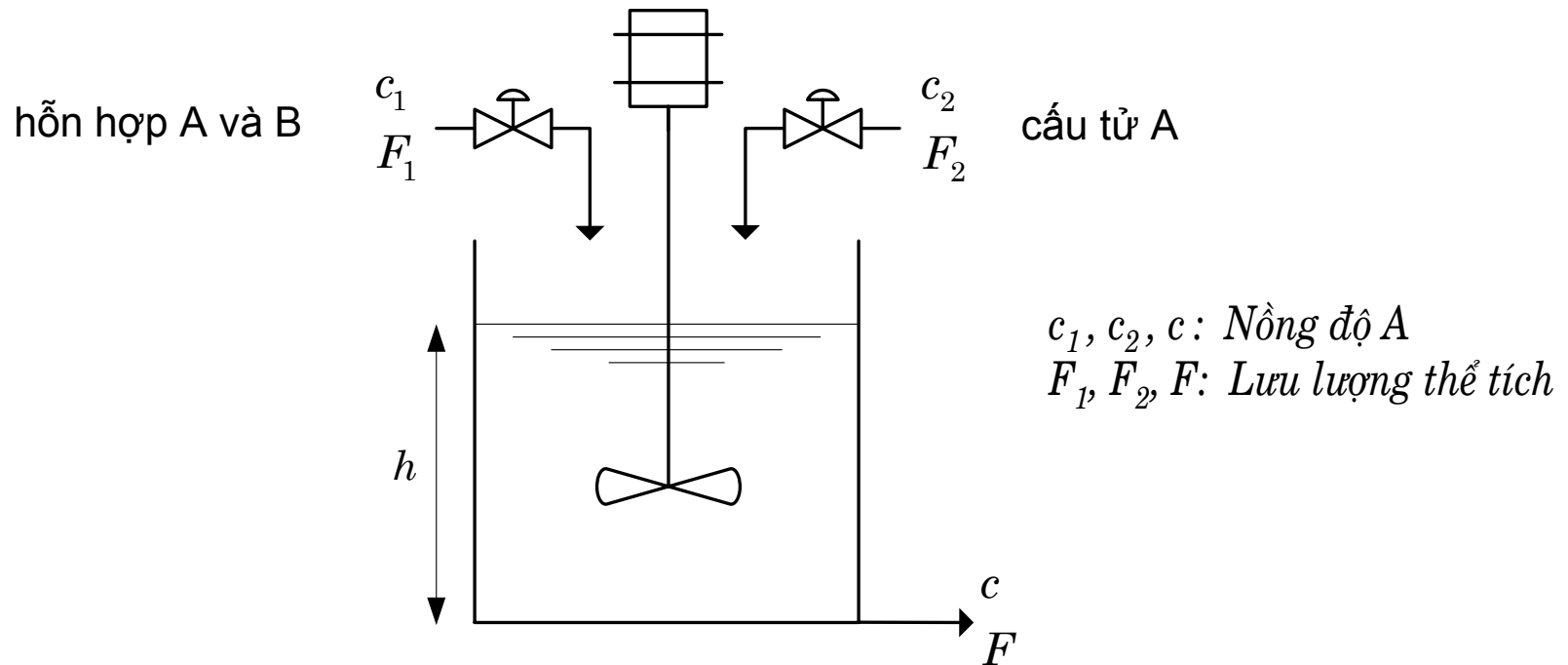
Điều khiển quá trình công nghệ

- Điều khiển quá trình liên tục (*continuous process control*):
 - điều khiển một quá trình công nghệ hoạt động liên tục
 - ví dụ các quá trình chưng cất, quá trình sản xuất điện, quá trình sản xuất xi măng
- Điều khiển quá trình mẻ (*batch process control*):
 - điều khiển các quá trình công nghệ hoạt động theo mẻ
 - ví dụ quá trình trộn bê tông, quá trình phản ứng hóa chất, quá trình sản xuất bia,...

1.2 Mục đích điều khiển

1. **Đảm bảo hệ thống vận hành ổn định, trơn tru:** đảm bảo các điều kiện vận hành bình thường, kéo dài tuổi thọ máy móc, vận hành thuận tiện
2. **Đảm bảo năng suất và chất lượng sản phẩm:** thay đổi tốc độ sản xuất theo ý muốn, giữ các thông số chất lượng sản phẩm biến động trong giới hạn qui định
3. **Đảm bảo vận hành an toàn:** nhằm mục đích bảo vệ con người, máy móc, thiết bị và môi trường
4. **Bảo vệ môi trường:** Giảm nồng độ các chất độc hại trong khí thải, nước thải, giảm bụi, giảm sử dụng nguyên liệu và nhiên liệu
5. **Nâng cao hiệu quả kinh tế, tăng lợi nhuận:** giảm chi phí nhân công, nguyên liệu và nhiên liệu, thích ứng nhanh với yêu cầu thay đổi của thị trường

Ví dụ: Điều khiển bình trộn



Yêu cầu công nghệ: *Đảm bảo chất lượng sản phẩm*

Chế độ vận hành: *Vận hành liên tục*

Ổn định hệ thống

- Các đại lượng cần ổn định trong ví dụ:
 - Mức trong bình trộn
 - Nồng độ của A trong sản phẩm
- Các yêu cầu về ổn định liên quan tới:
 - Nguyên lý cân bằng vật chất (trong ví dụ)
 - Nguyên lý cân bằng năng lượng
 - Nguyên lý cân bằng pha
 - Nguyên lý cân bằng phản ứng hóa học
 - Các nguyên lý động lực học

của hệ thống ở *trạng thái xác lập!*

Chất lượng sản phẩm

- Ổn định chưa chắc đã đảm bảo chất lượng:
 - Trong ví dụ: Nồng độ của A trong sản phẩm được giữ ổn định nhưng có thể xa với chất lượng yêu cầu!
- Đảm bảo chất lượng sản phẩm: Giá trị đại lượng cần điều khiển càng gần với giá trị đặt càng tốt!
 - Trong ví dụ: nồng độ A trong sản phẩm không những được duy trì ổn định, mà phải gần với một giá trị mong muốn.
- Chất lượng sản phẩm được đánh giá thông qua một số chỉ tiêu chất lượng
 - Đáp ứng với thay đổi giá trị đặt (đáp ứng quá độ)
 - Đáp ứng với tác động của nhiễu (đáp ứng loại nhiễu)

An toàn hệ thống

- Lỗi thiết bị, đường truyền -> sách lược điều chỉnh thông thường không đáp ứng được.
 - Trong ví dụ, có thể cần đặt cảm biến (logic) báo tràn hoặc cạn bình, quá tốc, quá dòng động cơ khuấy -> điều khiển rời rạc động cơ và các van an toàn
- Khóa liên động nhằm:
 - Tránh xảy ra các tình huống nguy hiểm (ví dụ động cơ chỉ được khởi động khi mức trong bình đạt một giá trị nào đó)
 - Giảm thiểu tác hại khi sự cố xảy ra (bằng các biện pháp ngắt từng phần hoặc dừng khẩn cấp)

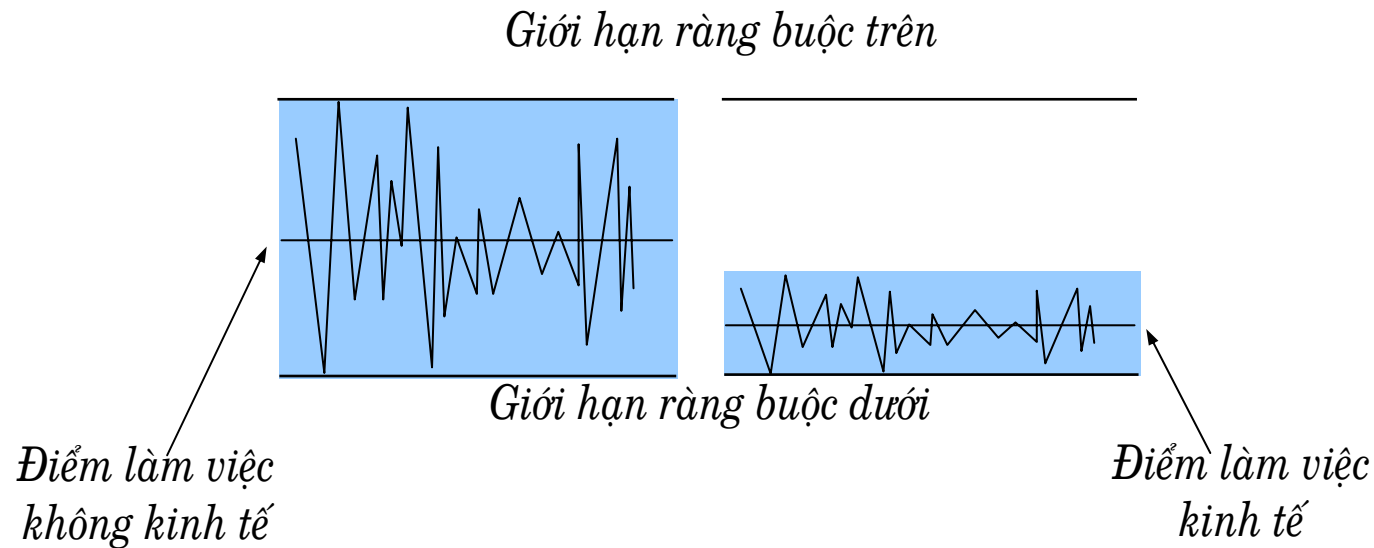
Bảo vệ môi trường

- Các dây chuyền công nghệ ngày nay được thiết kế với nhiều yêu cầu giảm ô nhiễm môi trường:
 - Giảm nhiên liệu tiêu thụ
 - Giảm sử dụng nước sạch
- Các thiết kế "recycling" tạo tính phi tuyến cao và tương tác lớn trong hệ thống => vai trò của các phương pháp điều khiển hiện đại
- Yêu cầu cao hơn trong các tiêu chuẩn quốc gia và quốc tế về xử lý nước thải và khí thải

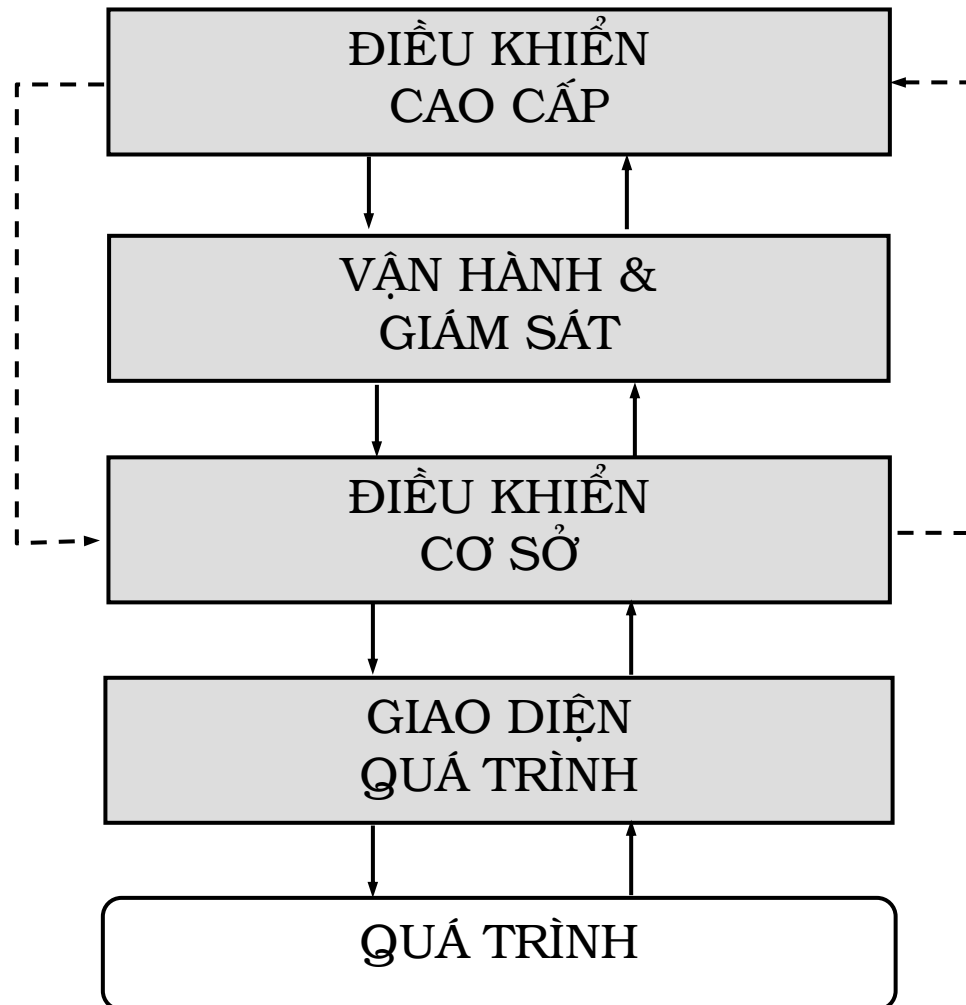
Hiệu quả kinh tế

- Các yêu cầu cụ thể:
 - Chất lượng ổn định (nồng độ A trong sản phẩm)
 - Năng suất thích ứng với yêu cầu thị trường (liên quan tới lưu lượng sản phẩm ra)
 - Tiêu hao năng lượng thấp (cho động cơ khuấy và cho các van điều khiển)
 - Tác động điều khiển êm ả, trơn tru (tốc độ động cơ cũng như độ mở van ít khi phải thay đổi hoặc thay đổi chậm)
- Các yêu cầu cụ thể có thể mâu thuẫn => 2 phương án giải quyết:
 - sử dụng các tiêu chuẩn hòa đồng => điều khiển tối ưu
 - đáp ứng *vừa đủ* các yêu cầu thiết yếu, sau đó tập trung vào các yêu cầu còn lại: ví dụ cho phép chất lượng dao động trong một phạm vi chấp nhận được để tránh thay đổi liên tục tác động điều khiển

Hiệu quả kinh tế phụ thuộc nhiều vào điểm làm việc và chất lượng điều khiển



1.3 Các chức năng ĐKQT



Điều khiển cơ sở

- Điều chỉnh (*regulatory control*)
 - Điều chỉnh tự động
 - Điều chỉnh bằng tay
- Điều khiển rời rạc (*discrete control*):
 - Điều khiển thiết bị (*device control*)
 - Khóa liên động quá trình (*process interlocks*)
- Điều khiển trình tự (*sequential control, sequence control*)
 - Khởi động và dừng hệ thống
 - Điều khiển phối hợp
 - Điều khiển theo mẻ
- Điều khiển an toàn (*safety control*):
 - khóa liên động an toàn (*safety interlocks*)

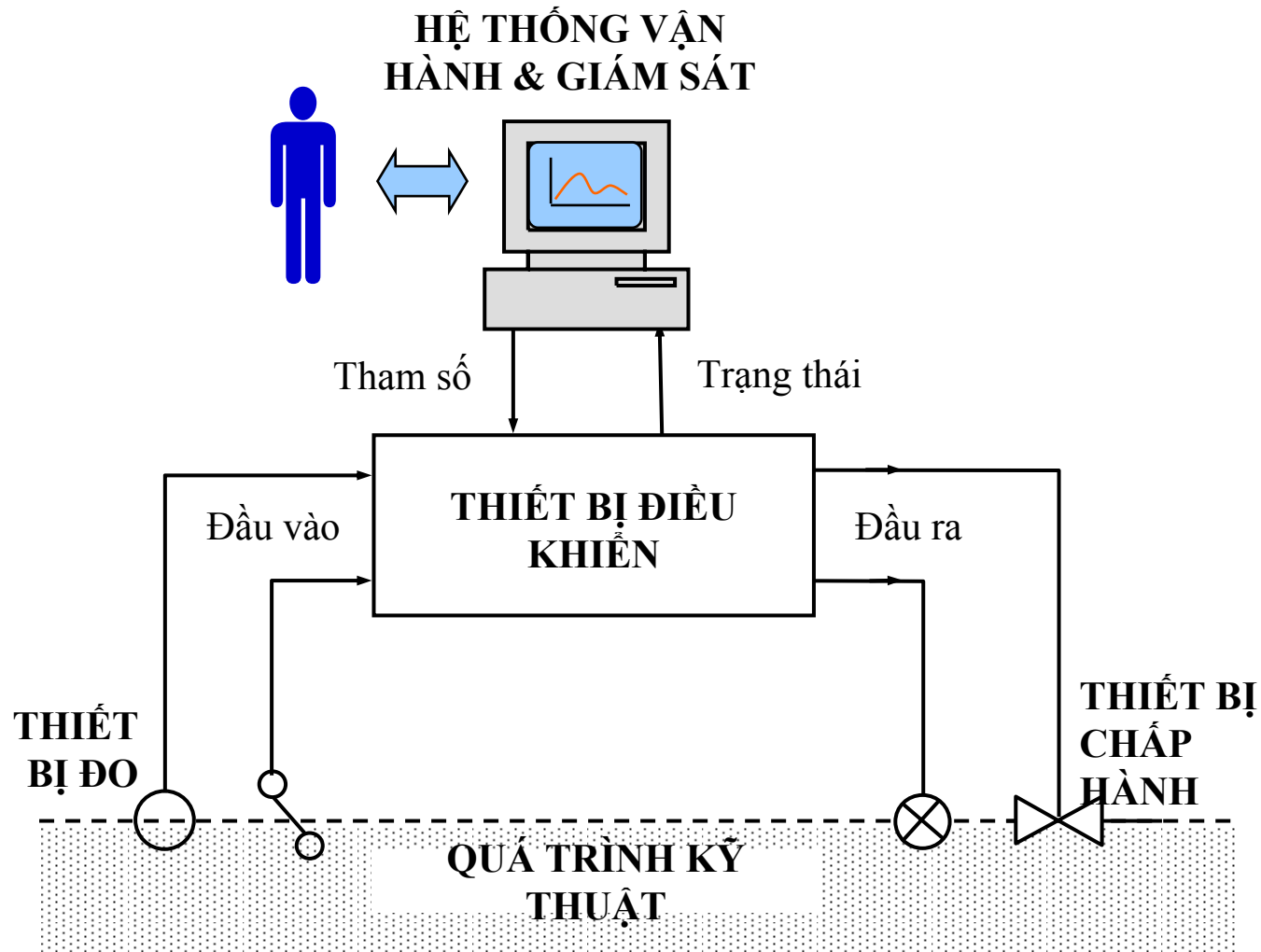
Vận hành & giám sát

- Thu thập & quản lý dữ liệu
- Giao diện người-máy
- Cảnh báo & báo động
- Giám sát & chẩn đoán
- Lập báo cáo tự động

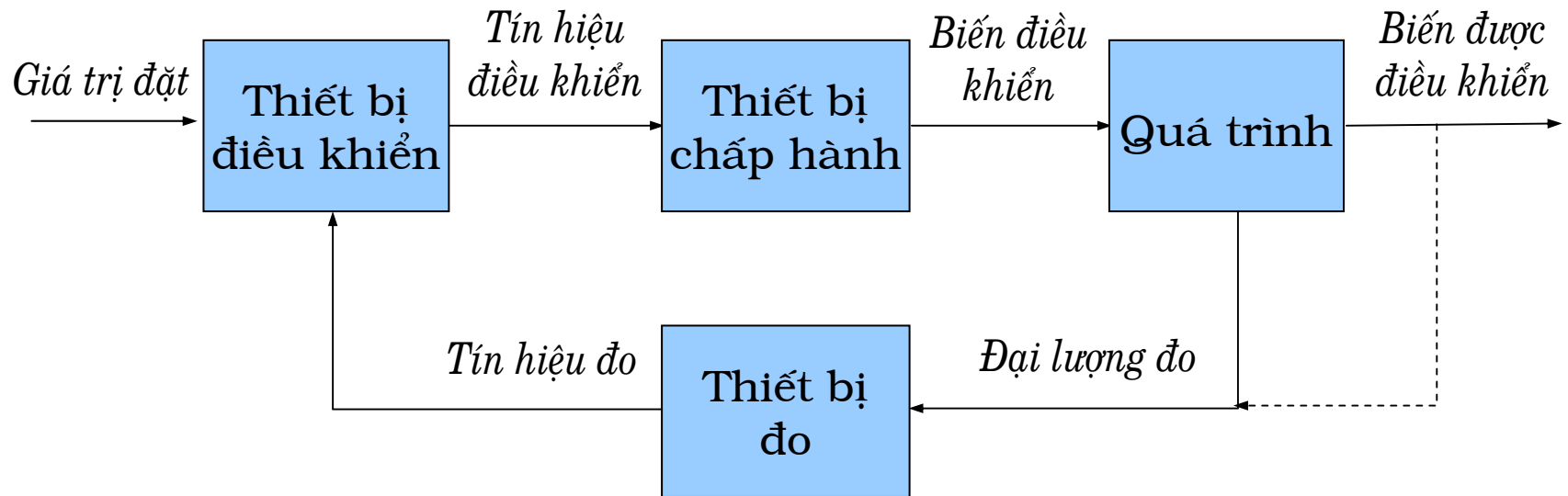
Điều khiển cao cấp

- Điều khiển quản lý mẻ (*Batch management*)
- Điều khiển chất lượng (*Quality control*), điều khiển thống kê (*Statistical Process Control*, SPC)
- Tối ưu hóa quá trình (*Process Optimization*), điều khiển tối ưu hóa (*Optimizing Control*)

1.4 Cấu trúc cơ bản một HTĐKQT



Sơ đồ khối một vòng điều khiển



Thuật ngữ:

Giá trị đặt

Tín hiệu điều khiển

Biến điều khiển

Biến được điều khiển

Đại lượng đo

Set Point (SP), Set Value (SV)

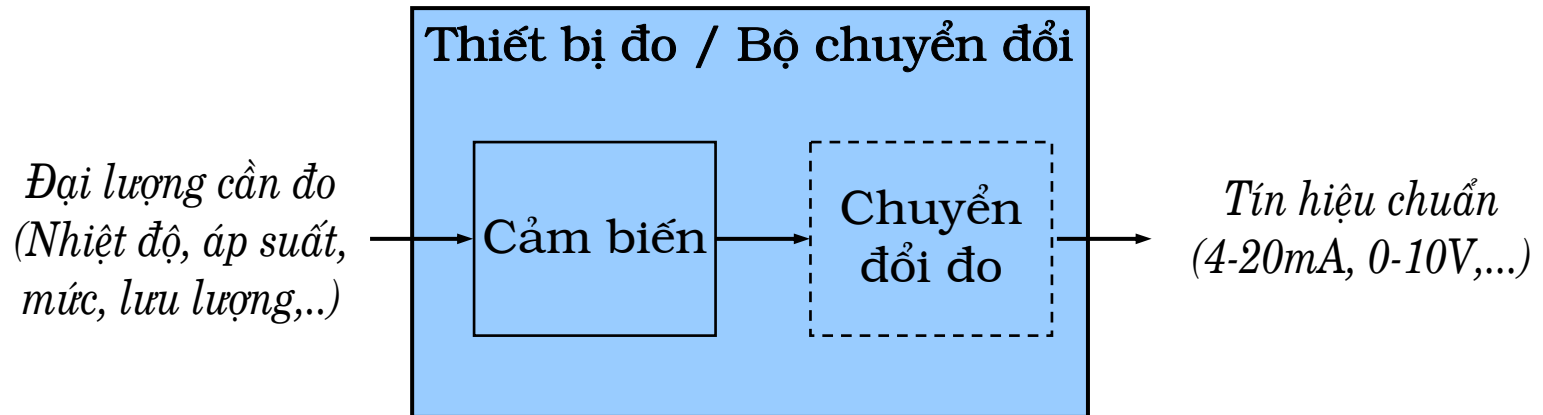
Control Signal, Controller Output (CO)

Control Variable, Manipulated Variable (MV)

Controlled Variable (CV), Process Value (PV)

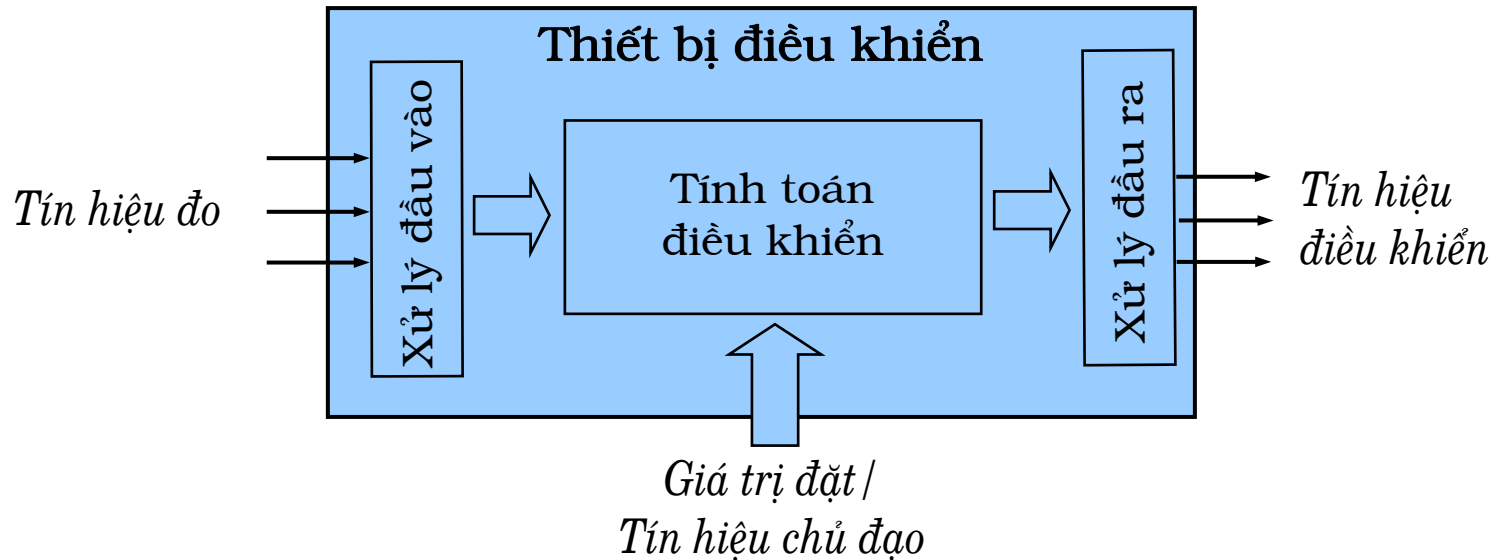
Measured Variable

Thiết bị đo quá trình



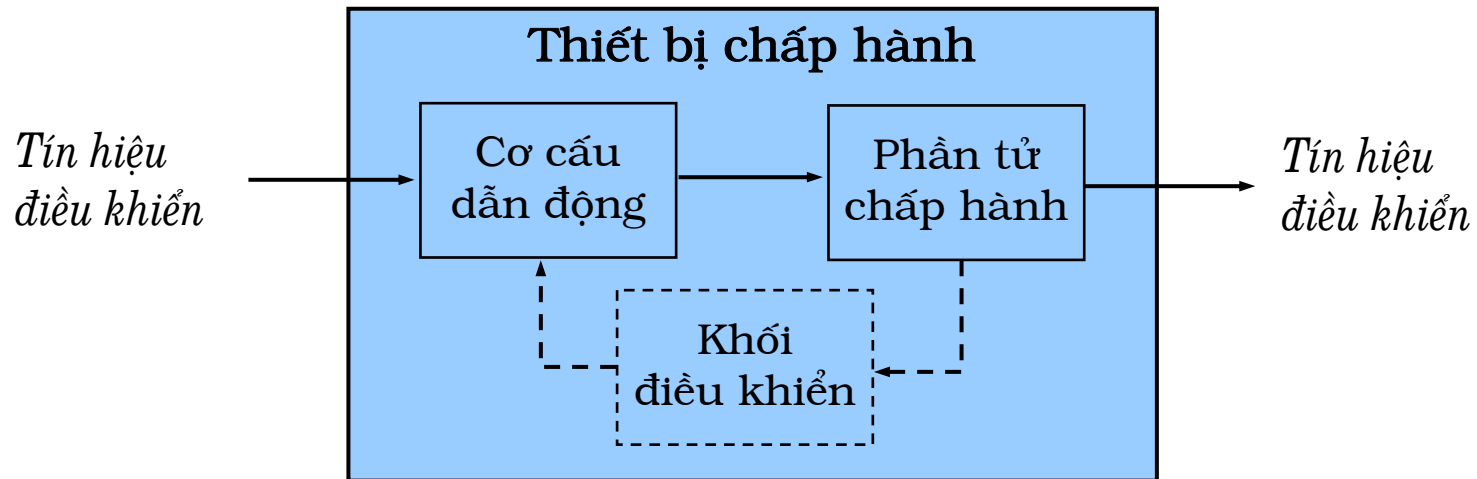
- *Measurement device*: Thiết bị đo, vd đo nhiệt độ, áp suất, nồng độ
- *Transducer*: Bộ chuyển đổi theo nghĩa rộng, ví dụ áp suất-dịch chuyển, dịch chuyển-điện áp
- *Sensor*: Cảm biến, cũng là một dạng chuyển đổi, vd cặp nhiệt, ống venturi, siêu âm,...
- *Sensor element*: Cảm biến, phần tử cảm biến
- *Signal conditioning*: Điều hòa tín hiệu
- *Transmitter*: Chuyển đổi tín hiệu + truyền phát tín hiệu chuẩn

Thiết bị điều khiển



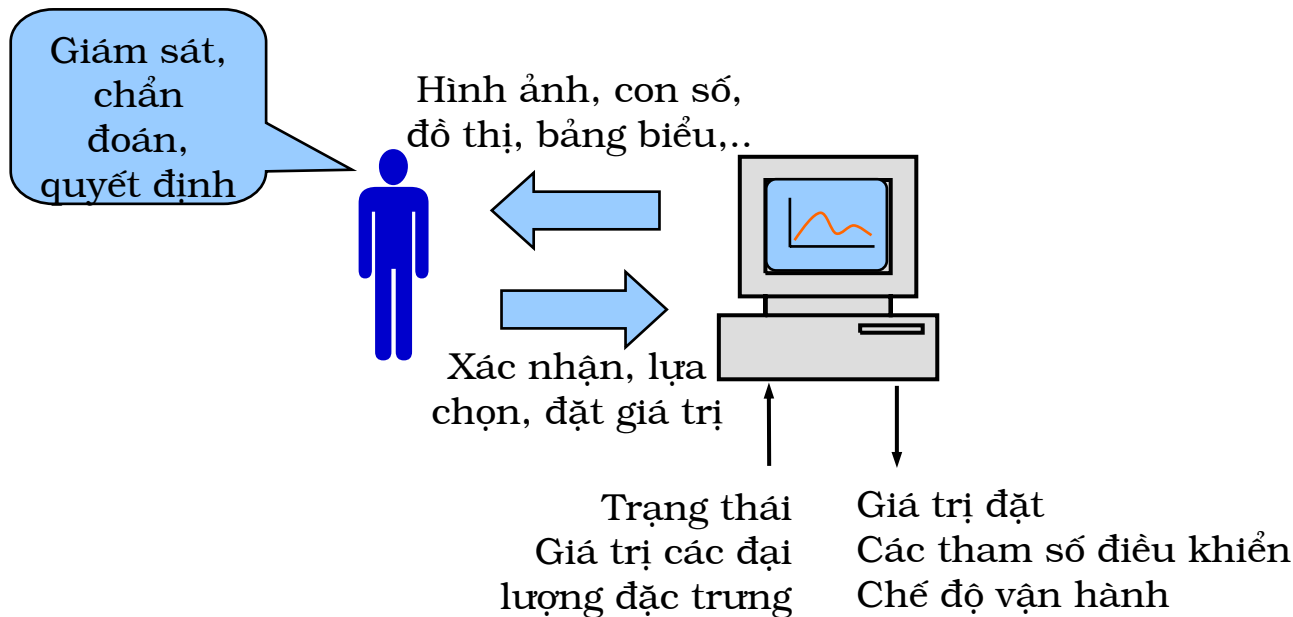
- *Control equipment:* Thiết bị điều khiển, vd PLC, IPC, Digital Controller, DCS Controller,...
- *Controller:* Bộ điều khiển, có thể hiểu là
 - Cả thiết bị điều khiển, hoặc
 - Chỉ riêng khối tính toán điều khiển, vd PI, PID, FLC, ON/OFF,...

Thiết bị chấp hành



- *Actuator*: Thiết bị chấp hành, cơ cấu chấp hành (van điều khiển, máy bơm, quạt gió, chấn gió, rơ-le,...)
- *Actuator, actuating element*: cơ cấu dẫn động, phần tử dẫn động (động cơ điện, khối chuyển đổi dòng-khí nén, cuộn hút từ,...)
- *Final control element*: Phần tử chấp hành (thân van, tiếp điểm, sợi đốt)

Hệ thống vận hành & giám sát

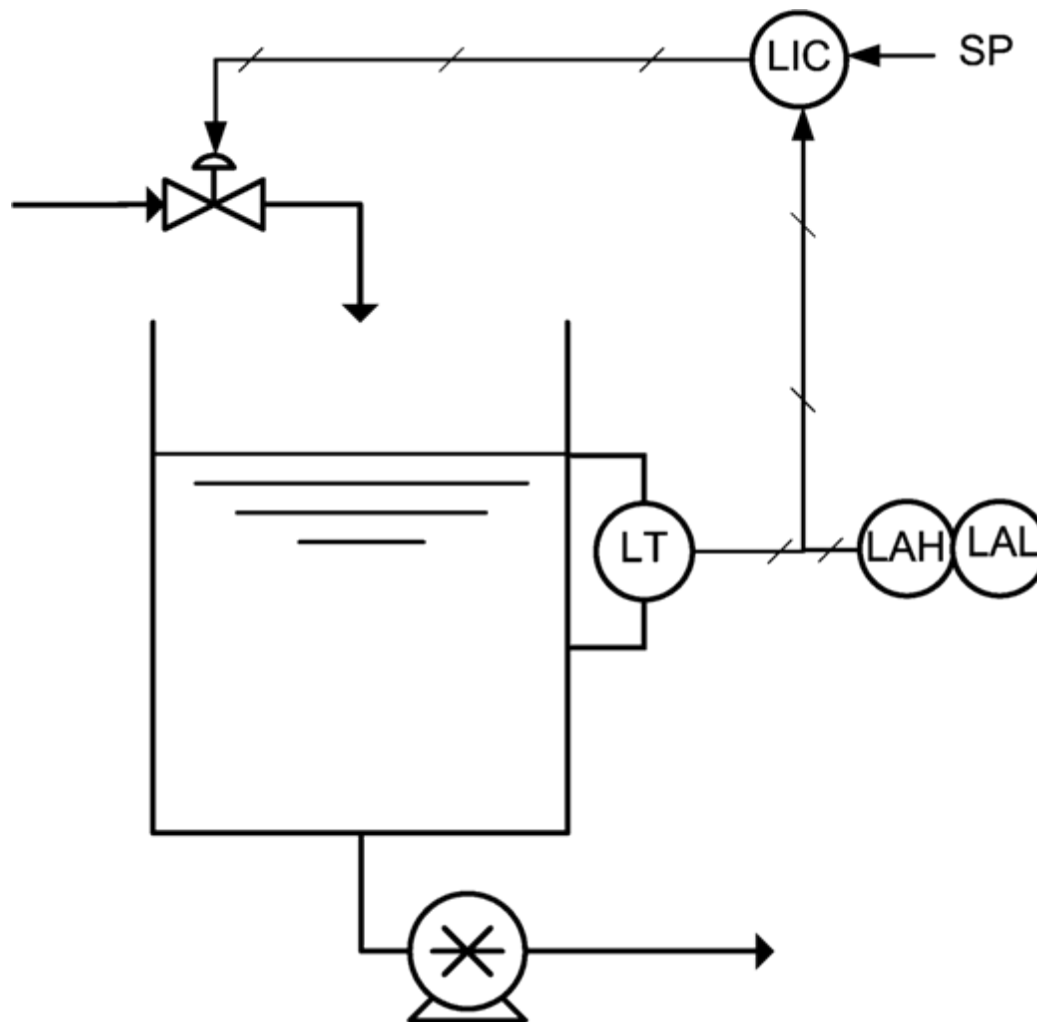


- Vận hành (*Operation*)
- Giám sát, theo dõi (*Monitoring*)
- Chẩn đoán (*Diagnosis*)
- Giao diện người-máy (*Human-Machine Interface, HMI*)

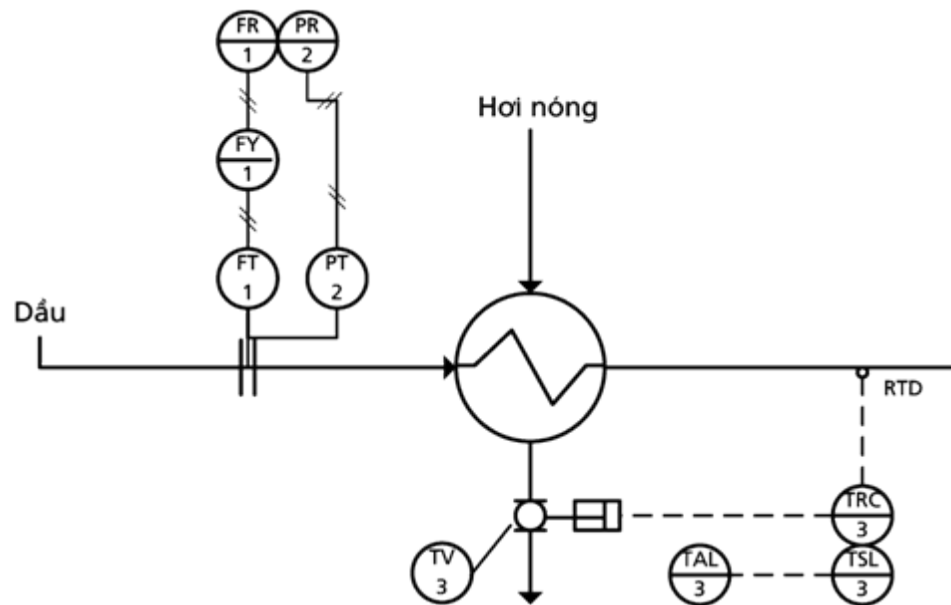
1.5 Mô tả chức năng - lưu đồ P&ID

- Lưu đồ P&ID: *Pipe and Instrumentation Diagram* (VD)
 - Lưu đồ công nghệ + các biểu tượng thiết bị và chức năng tự động hóa
 - Một trong các tài liệu thiết kế quan trọng nhất về hệ thống đo lường, điều khiển và giám sát
 - Cơ sở cho lựa chọn và lắp đặt thiết bị, phát triển phần mềm điều khiển và giám sát quá trình (bài toán điều khiển quá trình)
- Các biểu tượng lưu đồ được ISA (*Instrumentation Society of America*) chuẩn hóa:
 - ISA S5.1: *Instrumentation Symbols and Identification*
 - ISA S5.3: *Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computer Systems*
- Các biểu tượng lưu đồ bao gồm:
 - Các biểu tượng thiết bị
 - Các biểu tượng tín hiệu và đường nối
 - Ký hiệu nhãn thiết bị và các biểu tượng chức năng

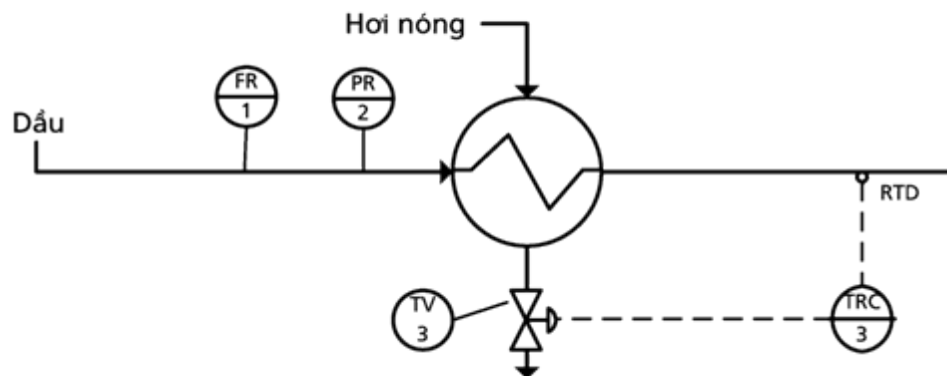
Ví dụ: Điều khiển mức



Ví dụ: Điều khiển bộ trao đổi nhiệt

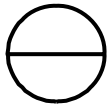
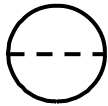
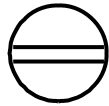
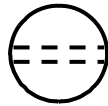
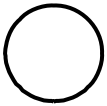
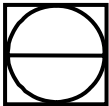
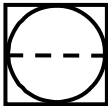
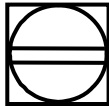
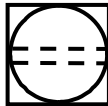
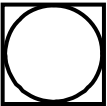





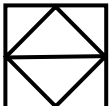
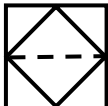
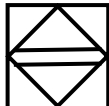
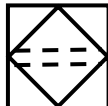
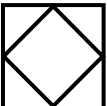
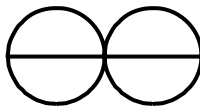


a) Lưu đồ chi tiết



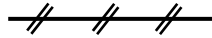




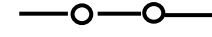

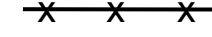


b) Lưu đồ đơn giản hóa

Biểu tượng thiết bị

	Phòng điều khiển trung tâm (Remote)	Vị trí mở rộng (Auxiliary Location)	Hiện trường (Local)
<i>Phần cứng</i> Thiết bị đơn lẻ	 	 	
<i>Phần cứng chia sẻ</i> - Hiện thị chia sẻ - Điều khiển chia sẻ	 	 	
<i>Phần mềm</i> Chức năng máy tính	 	 	
<i>Logic chia sẻ</i> Điều khiển logic khả trình	 	 	
Thiết bị cho hai biến hoặc một biến với hai hoặc nhiều chức năng			

Biểu tượng tín hiệu và đường nối

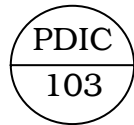
Tín hiệu không định nghĩa	
Đường nối tới quá trình kỹ thuật hoặc cấp năng lượng	
Tín hiệu khí nén	
Tín hiệu điện	
Tín hiệu thủy lực	
Tín hiệu điện từ hoặc âm thanh (có dẫn định) *	
Tín hiệu điện từ hoặc âm thanh (không dẫn định)*	
Đường nối nội bộ hệ thống (liên kết phần mềm hoặc dữ liệu)	
Đường nối cơ học	
Ống mao dẫn	

* Các hiện tượng điện từ gồm cả nhiệt, sóng vô tuyến, phóng xạ nguyên tử và ánh sáng.

Ký hiệu các đường cấp năng lượng

- | | |
|--|------|
| ■ AS (<i>Air supply</i>): cấp không khí | AS → |
| ■ ES (<i>Electric supply</i>): cấp điện | ES → |
| ■ GS (<i>Gas supply</i>): cấp gas | GS → |
| ■ HS (<i>Hydraulic supply</i>): cấp thủy lực | HS → |
| ■ NS (<i>Nitrogen supply</i>): cấp nito | NS → |
| ■ SS (<i>Steam supply</i>): cấp hơi nước | SS → |
| ■ WS (<i>Water supply</i>): cấp nước | WS → |

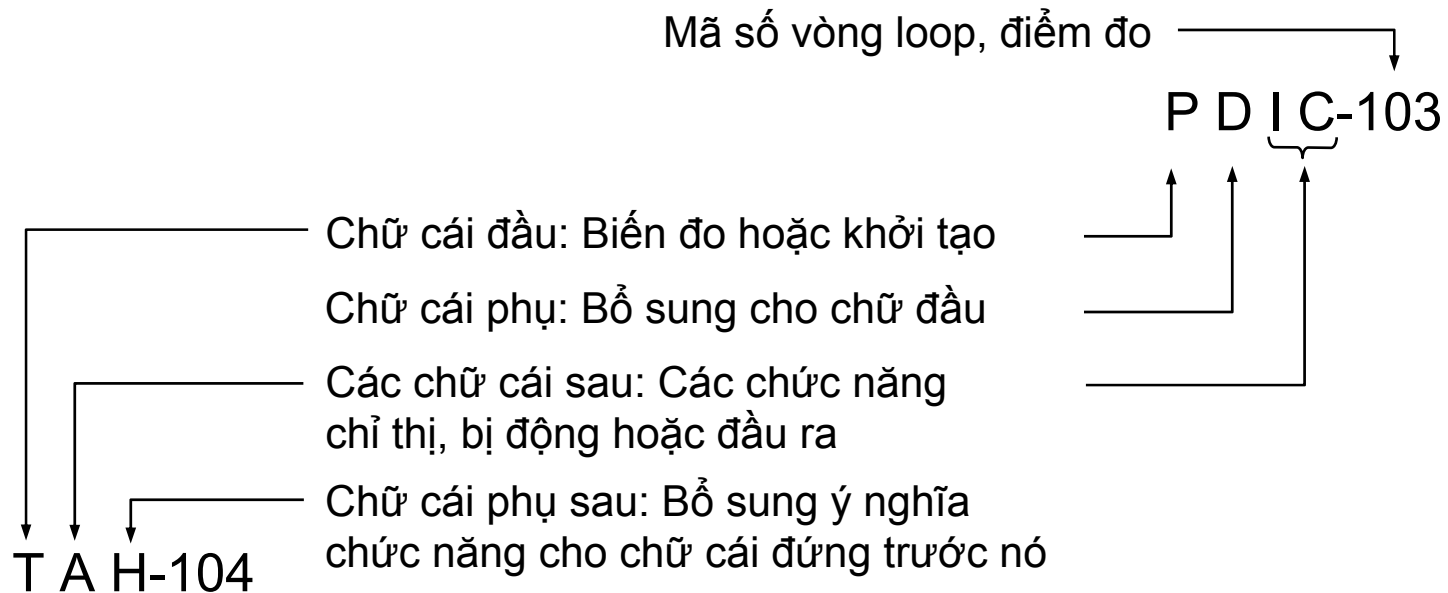
Nhãn thiết bị và ký hiệu chức năng



Chỉ thị (Indication) và điều khiển (Control) chênh áp (Differential Pressure), vòng loop 103.



Báo động (Alarm) vượt ngưỡng trên (High) nhiệt độ (Temperature), cảnh giới quá nhiệt vòng loop 104.



Ý nghĩa các chữ cái

	Chữ cái đầu		Các chữ cái đứng sau		
	<i>Biến đo hoặc khởi tạo</i>	<i>Bổ sung, thay đổi</i>	<i>Chức năng chỉ thị hoặc bị động</i>	<i>Chức năng đầu ra</i>	<i>Bổ sung, thay đổi</i>
A	Analysis		Alarm		
B	Burner, Combustion		Tự chọn	Tự chọn	Tự chọn
C	Tự chọn			Control	
D	Tự chọn	Differential			
E	Voltage		Sensor		
F	Flow Rate	Ratio (Fraction)			
G	Tự chọn		Glass, Viewing Device		
H	Hand				High
I	Current		Indicate		
J	Power	Scan			
K	Time, Time Schedule	Time Rate of Change		Control Station	
L	Level		Light		Low
M	Tự chọn	Momentary			Middle
N	Tự chọn		Tự chọn	Tự chọn	Tự chọn

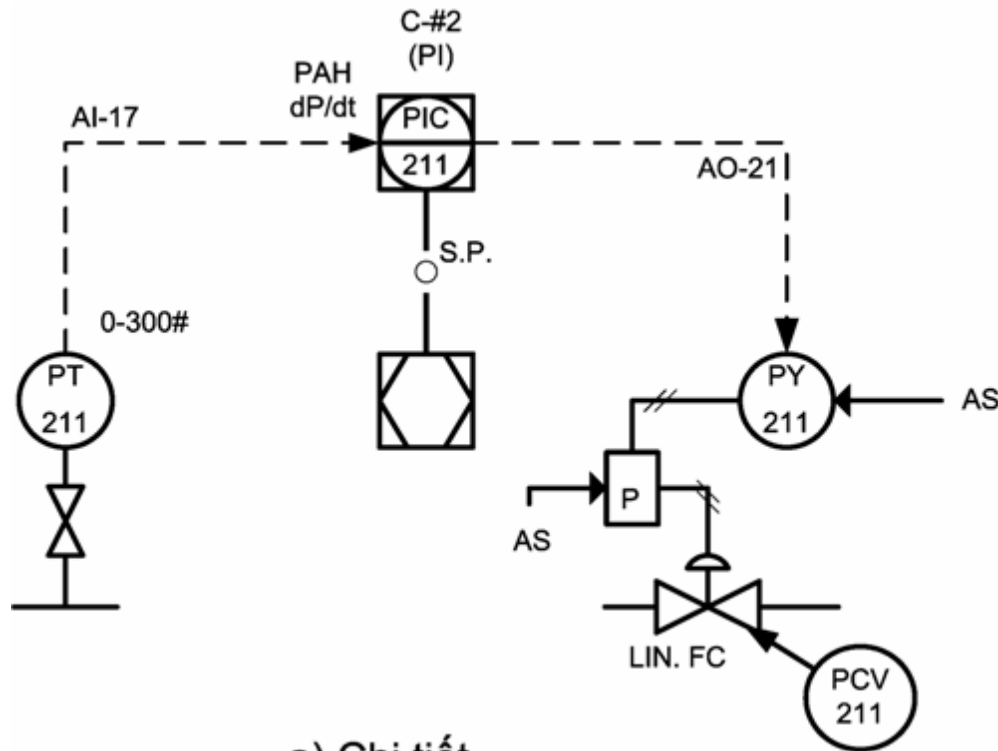
Ý nghĩa các chữ cái (tiếp)

	Chữ cái đầu		Các chữ cái đứng sau		
	<i>Biến đo hoặc khởi tạo</i>	<i>Bổ sung, thay đổi</i>	<i>Chức năng chỉ thị hoặc bị động</i>	<i>Chức năng đầu ra</i>	<i>Bổ sung, thay đổi</i>
O	Tự chọn		Orifice, Restriction		
P	Pressure, Vacuum		Point (Test Connection)		
Q	Quantity	Integrate, Total			
R	Radiation		Record		
S	Speed, Frequency	Safety		Switch	
T	Temperature			Transmit	
U	Đa biến (Universal)		Đa chức năng	Đa chức năng	Đa chức năng
V	Vibration, Mech. Analysis			Valve, Damper, Louver	
W	Weight, Force		Well		
X	Không xếp loại	Trục X	Không xếp loại	Không xếp loại	Không xếp loại
Y	Event, State, Presence	Trục Y		Relay, Compute, Convert	
Z	Position, Dimension	Trục Z		Driver, Actuator, Phần tử ĐK	

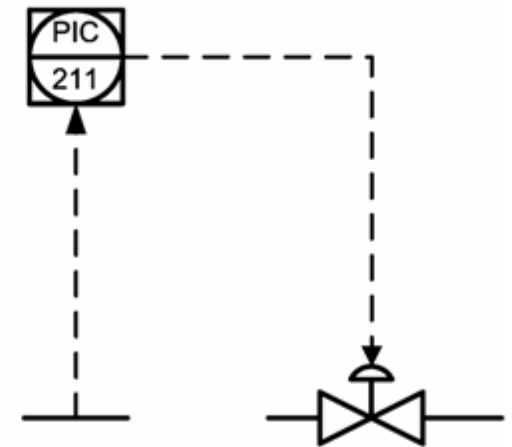
Các ký hiệu chức năng tính toán

Ký hiệu	Chức năng
1-0 hoặc ON/OFF	Điều khiển ON/OFF hoặc chuyển mạch (<i>Switch</i>)
Σ hoặc ADD	Cộng hoặc tổng (cộng và trừ), với 2 hoặc nhiều đầu vào
Δ hoặc SUB	Hiệu (với hai hoặc nhiều đầu vào)
\pm , +, $\boxed{-}$	Độ dịch (1 đầu vào)
AVG.	Trung bình
%, 1:3 hoặc 2:1	Khuếch đại (đầu vào : đầu ra)
$\boxed{\times}$, \div	Nhân, chia (2 hoặc nhiều đầu vào)
$\boxed{\sqrt{\quad}}$ hoặc SQ. RT.	Căn bậc hai
x^n hoặc $x^{1/n}$	Lũy thừa
$f(x)$	Hàm
1:1	Tăng cường
$\boxed{>}$ hoặc HIGHEST	Chọn giá trị lớn nhất
$\boxed{<}$ hoặc LOWEST	Chọn giá trị nhỏ nhất
REV.	Đảo ngược
E/P, P/I, A/D, D/A	Biến đổi (E, H, I, O, P, R)
\int	Tích phân (theo thời gian)
D hoặc d/dt	Đạo hàm hoặc tốc độ
I/D	Nghịch đảo đạo hàm

Ví dụ: điều khiển vòng kín



a) Chi tiết



b) Sơ lược

1.6 Các bước phát triển hệ thống

