

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**



ISO 9001:2015

**ỨNG DỤNG LOGIC MỜ ĐIỀU KHIỂN QUÁ
TRÌNH NHIỆT LÒ SẤY**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY
NGÀNH ĐIỆN TỬ TRUYỀN THÔNG**

HẢI PHÒNG - 2018

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**



ISO 9001:2015

**ỨNG DỤNG LOGIC MỜ ĐIỀU KHIỂN QUÁ
TRÌNH NHIỆT LÒ SẤY**

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY

NGÀNH ĐIỆN TỬ TRUYỀN THÔNG

Sinh viên: Vũ Đức Cảnh

Người hướng dẫn: Th.S Nguyễn Văn Dương

HẢI PHÒNG - 2018

Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam
Độc lập – Tự Do – Hạnh Phúc
-----o0o-----
BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên : Vũ Đức Cảnh – MSV : 1412103006.

Lớp : DT1801- Ngành Điện Tử Truyền Thông.

Tên đề tài : Ứng dụng logic mờ điều khiển quá trình nhiệt lò sấy.

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp (về lý luận, thực tiễn, các số liệu cần tính toán và các bản vẽ).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Các số liệu cần thiết để thiết kế, tính toán

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp.....

CÁC CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Người hướng dẫn thứ nhất:

Họ và tên : Nguyễn Văn Dương
Học hàm, học vị : Thạc Sĩ.
Cơ quan công tác : Trường Đại học dân lập Hải Phòng
Nội dung hướng dẫn : Toàn bộ đề tài

Người hướng dẫn thứ hai:

Họ và tên :
Học hàm, học vị :
Cơ quan công tác :
Nội dung hướng dẫn :

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày 13 tháng 08 năm 2018.
Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày 02 tháng 11 năm 2018

Đã nhận nhiệm vụ Đ.T.T.N
Sinh viên

Đã giao nhiệm vụ Đ.T.T.N
Cán bộ hướng dẫn Đ.T.T.N

Vũ Đức Cảnh

Th.S Nguyễn Văn Dương

Hải Phòng, ngày.....tháng.....năm 2018

HIỆU TRƯỞNG

GS.TS.NGƯT TRẦN HỮU NGHỊ

PHẦN NHẬN XÉT TÓM TẮT CỦA CÁN BỘ HƯỚNG DẪN

1. Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp.

.....

.....

.....

.....

.....

2. Đánh giá chất lượng của Đ.T.T.N (so với nội dung yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T.T.N, trên các mặt lý luận thực tiễn, tính toán giá trị sử dụng, chất lượng các bản vẽ..)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Cho điểm của cán bộ hướng dẫn
(Điểm ghi bằng số và chữ)

Ngày.....tháng.....năm 2018
Cán bộ hướng dẫn chính
(Ký và ghi rõ họ tên)

NHẬN XÉT ĐÁNH GIÁ CỦA NGƯỜI CHĂM PHẢN BIỆN
ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

1. Đánh giá chất lượng đề tài tốt nghiệp về các mặt thu thập và phân tích số liệu ban đầu, cơ sở lý luận chọn phương án tối ưu, cách tính toán chất lượng thuyết minh và bản vẽ, giá trị lý luận và thực tiễn đề tài.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Cho điểm của cán bộ chấm phản biện
(Điểm ghi bằng số và chữ)

Ngày.....tháng.....năm 2018
Người chấm phản biện
(Ký và ghi rõ họ tên)

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	1
CHƯƠNG 1: LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN MỜ	2
1.1. Tổng quan về lý thuyết điều khiển mờ.....	2
1.1.1. Tập hợp kinh điển.....	3
1.1.2. Định nghĩa tập mờ.....	5
1.1.3. Các dạng hàm thuộc trong logic mờ.....	6
1.1.4. Độ cao, miền xác định và miền tin cậy của tập mờ.....	7
1.1.5. Các phép toán trên tập mờ.....	9
1.1.5.1. Phép hợp 2 tập mờ.....	9
1.1.5.2. Phép giao 2 tập mờ.....	12
1.2. Biến ngôn ngữ và giá trị của nó.....	14
1.2.1. Biến ngôn ngữ.....	14
1.2.2. Luật hợp thành.....	16
1.2.2.1. Mệnh đề hợp thành.....	16
1.2.2.2. Mô tả mệnh đề hợp thành.....	17
1.2.3. Luật hợp thành mờ.....	22
1.2.3.1. Thuật toán thực hiện luật hợp thành đơn max-MIN, max - PROD có cấu trúc SISO.....	22
1.2.3.2. Thuật xác định luật hợp thành có cấu trúc MISO.....	24
1.3. Giải mờ (rõ hóa).....	25
1.3.1. Phương pháp cực đại.....	25
1.3.2. Phương pháp trọng tâm.....	27
1.4. Tổng hợp bộ điều khiển mờ.....	29
1.4.1. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ.....	29
1.4.2. Nguyên lý của bộ điều khiển mờ.....	30
1.4.3. Những nguyên tắc tổng hợp bộ điều khiển mờ.....	31
1.4.4. Các bước thực hiện khi xây dựng bộ điều khiển mờ.....	31

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ Lò SẤY	32
2.1. Giới thiệu tổng quan.....	32
2.1.1. Phân loại các hệ thống sấy (HTS).....	32
2.1.1.1. HTS tự nhiên.....	32
2.1.1.2. HTS nhân tạo.....	33
2.1.2. Các dạng lò sấy.....	37
2.1.2.1. Lò sấy gia nhiệt bằng khói lò.....	37
2.1.2.2. Lò sấy gia nhiệt bằng hơi nước.....	38
2.1.2.3. Lò sấy gia nhiệt bằng nhiệt điện trở.....	39
2.2. Điều khiển quá trình.....	47
2.2.1. Quá trình và các biến quá trình.....	47
2.2.2. Đặc điểm của điều khiển quá trình.....	49
2.2.3. Các thành phần cơ bản của một hệ thống.....	49
2.3. Mô hình hóa đối tượng lò sấy.....	51
2.3.1. Phương trình trạng thái của hệ thống.....	51
2.3.2. Mô hình toán học của lò sấy.....	53
CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG LOGIC MỜ ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH NHIỆT Lò SẤY	54
3.1. Mô hình toán học lò sấy.....	54
3.2. Mô hình điều khiển quá trình nhiệt lò sấy bằng bộ điều khiển mờ.....	57
3.3. Xác định tập mờ.....	58
3.3.1. Miền giá trị vật lý cho biến ngôn ngữ vào/ ra.....	58
3.3.2. Giá trị tập mờ.....	58
3.3.3. Xác định hàm liên thuộc.....	59
3.3.4. Xây dựng các luật điều khiển.....	60
3.4. Mô hình mô phỏng dùng bộ điều khiển mờ	62
3.5. Kết quả mô phỏng	63
KẾT LUẬN	64
TÀI LIỆU THAM KHẢO	65
PHỤ LỤC	66

LỜI NÓI ĐẦU

Ngày nay khoa học kỹ thuật không ngừng phát triển, đặc biệt đối với nước ta đang trong thời kỳ công nghiệp hóa - hiện đại hóa. Có thể nói khoa học kỹ thuật hiện đại đang và sẽ gây ảnh hưởng mạnh mẽ trên toàn thế giới. Một trong những ngành kỹ thuật hiện đại đó là điều khiển mờ. Điều khiển mờ hiện đang có vai trò quan trọng trong các hệ thống điều khiển hiện đại, vì nó đảm bảo tính khả thi của hệ thống rất cao, đồng thời lại thực hiện tốt các chỉ tiêu kỹ thuật của hệ như độ tác động nhanh. Điều khiển mờ có thể mạnh trong các hệ thống như: Hệ thống điều khiển phi tuyến; Hệ thống điều khiển mà các thông tin đầu vào hoặc đầu ra không đủ hoặc không chính xác; Hệ thống điều khiển khó xác định được mô hình hoặc không xác định được mô hình đối tượng.

Lò sấy là một đối tượng tương đối phức tạp bao gồm: Quá trình cháy, trao đổi nhiệt - ẩm, tốc độ quạt, đối lưu, bức xạ v.v... là những quá trình có quán tính lớn, thời gian chết, nhiều, trễ đối tượng cao, các thông số thu thập đôi khi không đầy đủ chính xác, đối tượng phi tuyến v.v...

Chính vì vậy, việc sử dụng điều khiển mờ để điều khiển cho đối tượng này là hoàn toàn phù hợp. Trong đề án này em chọn nghiên cứu đề tài là: ***“Ứng dụng logic mờ điều khiển quá trình nhiệt lò sấy”***. Đề án nghiên cứu các nội dung chính:

Chương 1. Lý thuyết điều khiển mờ.

Chương 2. Tổng quan về lò sấy.

Chương 3. Ứng dụng logic mờ điều khiển quá trình nhiệt lò sấy.

Tuy nhiên do khả năng và trình độ có hạn nên còn nhiều thiếu sót, rất mong được sự chỉ bảo, giúp đỡ tận tình của các thầy cô cũng như sự góp ý của bạn bè để bản đề án này được hoàn thiện hơn.

Em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến các thầy cô, bạn bè trong khoa Điện – Điện tử trường Đại Học Dân Lập Hải Phòng, đặc biệt là thầy Nguyễn Văn Dương, là giảng viên trực tiếp hướng dẫn, đã rất nhiệt tình chỉ bảo để em hoàn thành đề tài tốt nghiệp này.

CHƯƠNG 1.

LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN MỜ

1.1. TỔNG QUAN VỀ LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN MỜ

Khái niệm về logic mờ được giáo sư L.A Zadeh đưa ra lần đầu tiên năm 1965, tại trường Đại học Berkeley, bang California – Mỹ. Từ đó lý thuyết mờ đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi.

Năm 1970 tại trường Mary Queen, London – Anh, Ebrahim Mamdani đã dùng logic mờ để điều khiển một máy hơi nước mà ông không thể điều khiển bằng kỹ thuật cổ điển. Tại Đức Hann Zimmermann đã dùng logic mờ cho các hệ ra quyết định. Tại Nhật logic mờ được ứng dụng vào các nhà máy xử lý nước Fuji Electronic vào năm 1983, hệ thống xe điện ngầm của Hitachi vào 1987.

Điều đặc biệt là lý thuyết mờ ra đời ở Mỹ, ứng dụng đầu tiên ở Anh nhưng phát triển mạnh nhất ở Nhật. Trong lĩnh vực Tự động hoá logic mờ ngày càng được ứng dụng rộng rãi. Nó thực sự hữu dụng với các đối tượng phức tạp mà chúng ta chưa biết rõ hàm truyền, logic mờ có thể giải quyết các vấn đề mà điều khiển kinh điển không làm được.

Logic mờ (Fuzzy logic) là dựa trên thông tin không đầy đủ hoặc không chính xác, con người suy luận đưa ra cách xử lý và điều khiển chính xác hệ thống phức tạp hoặc đối tượng mà trước đây chưa có thể giải quyết một cách ổn định.

Điều khiển mờ dựa vào kinh nghiệm vận hành của đối tượng và cách xử lý điều khiển của các chuyên gia trong thuật toán điều khiển. Do vậy, bộ điều khiển mờ là kết quả của tư duy con người.

Bộ điều khiển mờ thường được sử dụng trong các hệ thống sau:

- Hệ thống điều khiển phi tuyến
- Hệ thống mà điều khiển thông tin đầu vào hoặc đầu ra không đầy đủ, chính xác.

- Hệ thống điều khiển không xác định được tham số hoặc mô hình đối tượng rõ ràng.

Về nguyên tắc, hệ điều khiển mờ cũng có các chức năng tương tự như các hệ thống truyền thống khác, điều khác biệt cơ bản ở đây là mệnh đề hợp thành dựa trên cấu trúc:

“NẾU A THÌ B” theo một hay nhiều điều kiện.

Bản chất của nguyên lý điều khiển mờ là xây dựng mô hình, xây dựng thuật toán điều khiển theo nguyên lý điều khiển mờ.

Những ưu điểm của điều khiển mờ:

- Khối lượng công việc thiết kế được giảm đi nhiều do không cần sử dụng mô hình đối tượng, với các bài toán thiết kế có độ phức tạp cao, giải pháp dùng bộ điều khiển mờ cho phép giảm khối lượng tính toán và giá thành sản phẩm.
- Bộ điều khiển mờ dễ hiểu hơn so với bộ điều khiển khác (cả kỹ thuật) và dễ dàng thay đổi.
- Trong nhiều trường hợp bộ điều khiển mờ làm việc ổn định hơn và chất lượng điều khiển cao hơn.
- Bộ điều khiển mờ được xây dựng trên kinh nghiệm của các chuyên gia.
- Có thể kết hợp bộ điều khiển mờ với các bộ điều khiển khác.
- Bộ điều khiển mờ được xây dựng trên các ngôn ngữ tự nhiên, do vậy rất gần gũi với cuộc sống hằng ngày.
- Trong một vài trường hợp, bộ điều khiển mờ dễ hiểu và dễ thay đổi hơn so với các bộ điều khiển khác.....

1.1.1. Tập hợp kinh điển

Khái niệm về tập hợp được hình thành dựa trên nền tảng logic và được G. Cantor định nghĩa như là một sự sắp đặt chung của các vật, các đối tượng có cùng chung một tính chất, được gọi là phần tử của tập hợp đó. Ý nghĩa logic của khái niệm tập hợp được xác định ở chỗ một vật hoặc một đối tượng

bất kỳ chỉ có thể có hai khả năng hoặc là phần tử của tập hợp đang xét hoặc không.

Cho một tập hợp A . Một phần tử x thuộc A được ký hiệu bằng $x \in A$. Ngược lại ký hiệu $x \notin A$ dùng để chỉ x không thuộc A . Một phần tử không có tập hợp nào được gọi là rỗng.

Cho một tập hợp A . Ánh xạ $\mu_A(x) : A \rightarrow \mathfrak{R}$ định nghĩa như sau:

$$\mu_A(x) \begin{cases} \mu_A(x) = 1 \text{ nếu } x \in A \\ \mu_A(x) = 0 \text{ nếu } x \notin A \end{cases} \quad (1.1)$$

Được gọi là hàm liên thuộc của tập A . Như vậy $\mu_A(x)$ chỉ nhận hai giá trị bằng 1 hoặc bằng 0. Giá trị 1 của hàm liên thuộc $\mu_A(x)$ chỉ có giá trị đúng, ngược lại 0 là giá trị sai của $\mu_A(x)$. Một tập X luôn có

$$\mu_A(x) = 1, \text{ với mọi } x \text{ được gọi là không gian nền (tập nền).}$$

Một tập A có dạng $A = \{x \in X \mid x \text{ thỏa mãn một số tính chất nào đó} \}$ thì được nói là có tập nền X , hay được định nghĩa trên tập nền X .

Như vậy, trong lý thuyết kinh điển, hàm liên thuộc hoàn toàn tương đương với định nghĩa một tập hợp. Từ định nghĩa về một tập hợp A bất kỳ ta có thể xác định được hàm liên thuộc $\mu_A(x)$ cho tập đó và ngược lại từ hàm liên thuộc $\mu_A(x)$ của tập hợp A cũng hoàn toàn suy ra được định nghĩa cho tập hợp A .

Cách biểu diễn hàm thuộc như vậy sẽ không phù hợp với những tập được mô tả “ mờ” như tập B gồm các số thực dương nhỏ hơn nhiều so với 6.

$$B = \{x \in \mathfrak{R} \mid x \leq 6 \} \quad (1.2)$$

Có tập nền \mathfrak{R} , hoặc tập C gồm các số thực gần bằng 3 cũng có trong tập \mathfrak{R}

$$C = \{x \in \mathfrak{R} \mid x \approx 3 \} \quad (1.3)$$

Lý do là những định nghĩa “ mờ” như vậy chưa đủ để xác định một số chẳng hạn $x = 3,5$ có thuộc B hoặc $x = 2,5$ có thuộc C hay không.

Nếu đã không khẳng định được $x = 3,5$ có thuộc B hay không thì cũng không khẳng định được số thực $x = 3,5$ không thuộc B. Vậy thì $x = 3,5$ thuộc B bao nhiêu phần trăm ?. Giả sử rằng có câu trả lời lúc này hàm thuộc $\mu_B(x)$ tại điểm $x = 3,5$ phải có một giá trị trong khoảng $[0,1]$, tức là:

$$0 \leq \mu_B(x) \leq 1 \quad (1.4)$$

Nói cách khác hàm $\mu_B(x)$ không còn là hàm hai giá trị như đối với tập kinh điển nữa mà là một ánh xạ (hình 1.1).

$$\mu_B : X \rightarrow [0,1] \quad (1.5)$$

Trong đó X là tập nền của tập “mờ”

Như vậy, khác với tập kinh điển A, từ “ định nghĩa kinh điển” của tập “mờ” B hoặc C không suy ra được hàm thuộc $\mu_B(x)$ hoặc $\mu_C(x)$ của chúng. Hơn thế nữa hàm phụ thuộc ở đây lại giữ một vai trò “ làm rõ định nghĩa” cho tập mờ như ví dụ hình 1.1. Do đó phải được nêu lên như là một điều kiện trong định nghĩa về tập “mờ”.

1.1.2. Định nghĩa tập mờ

Tập mờ F được định nghĩa trên tập mờ X là một tập mà mỗi phần tử của nó là một cặp giá trị $(x, \mu_F(x))$, trong đó $x \in X$ và $\mu_F(x)$ là một ánh xạ

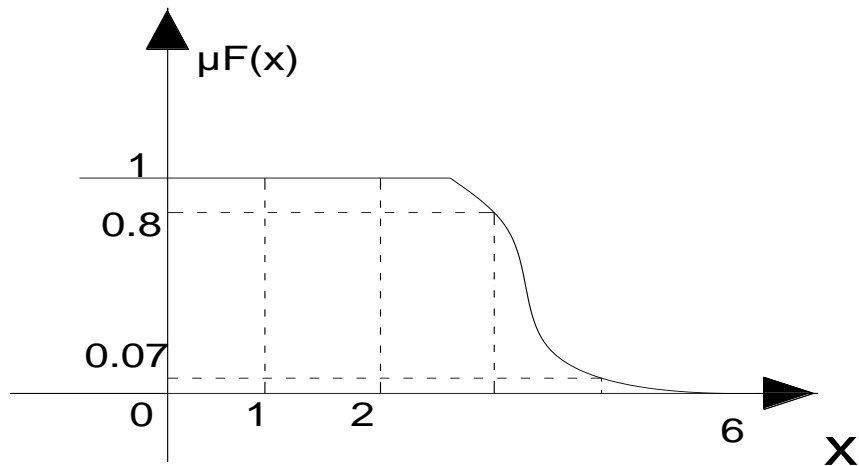
$$\mu_F(x) : B \rightarrow [0 \ 1]. \quad (1.6)$$

Ánh xạ μ_F được gọi là hàm thuộc của tập mờ F. Tập kinh điển X được gọi là tập nền (hay vũ trụ) của tập mờ F.

Ví dụ một tập mờ F của các số tự nhiên nhỏ hơn 6 với hàm thuộc $\mu_F(x)$ có dạng như hình 1.1 được định nghĩa trên nền X chứa các phần tử sau:

$$F = \{(1,1), (2,1), (3,0.8), (4,0.07)\}.$$

Số tự nhiên 1 và 2 có độ phụ thuộc $\mu_F(1) = \mu_F(2) = 1$.



Hình 1.1: Hàm thuộc của tập mờ F

Các số tự nhiên 3 và 4 có độ phụ thuộc nhỏ hơn 1 $\mu_F(3)=0.8$ và $\mu_F(4)=0.07$.

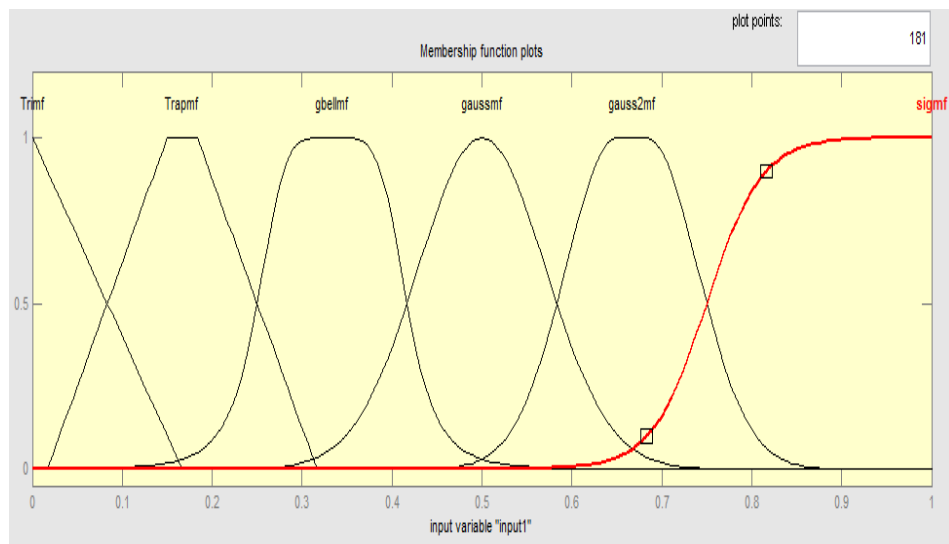
Những số không được liệt kê điều có độ phụ thuộc bằng 0.

Sử dụng các hàm thuộc để tính độ phụ thuộc của một phần tử x nào đó có hai cách sau:

- Tính trực tiếp (nếu $\mu_F(x)$ cho trước dưới dạng công thức tường minh) hoặc
- Tra bảng (nếu $\mu_F(x)$ cho dưới dạng bảng).

1.1.3. Các dạng hàm thuộc trong logic mờ

Trong logic mờ có các dạng hàm thuộc được sử dụng là gồm hàm: Gaussian, PI- shape, S- shape, Sigmoidal, Z – shape....



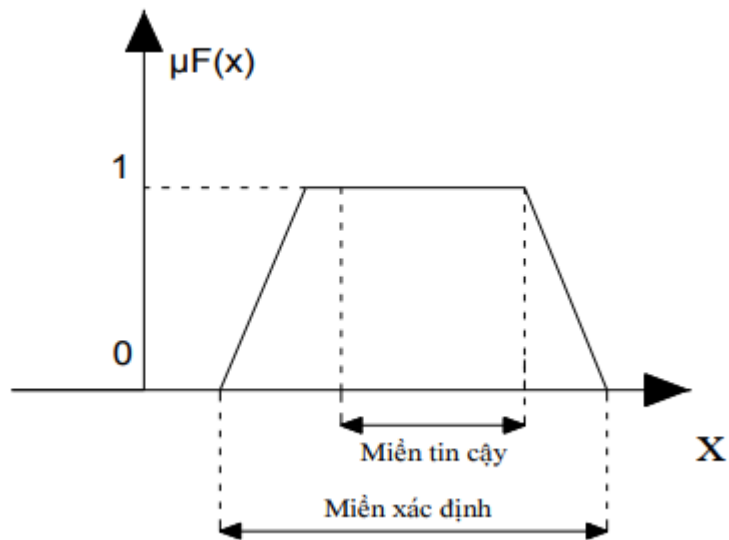
Hình 1.2: Các hàm thuộc trong logic mờ

Các hàm thuộc $\mu_F(x)$ có dạng “tròn” được gọi là hàm thuộc kiểu S. Đối với hàm thuộc kiểu S, do các công thức biểu diễn $\mu_F(x)$ có độ phức tạp lớn, nên thời gian tính độ phụ thuộc cho một phân tử lâu. Do vậy, trong kỹ thuật điều khiển mờ thông thường các hàm thuộc kiểu S hay được thay gần đúng bằng một hàm tuyến tính từng đoạn.

Hàm thuộc có dạng tuyến tính từng đoạn được gọi là hàm thuộc có mức chuyển đổi tuyến tính như hàm TRMF, TRAMF.

1.1.4. Độ cao, miền xác định và miền tin cậy của tập mờ

Các hàm thuộc của mờ đều có độ cao bằng 1, do vậy các tập mờ đều có ít nhất một phân tử với độ phụ thuộc bằng 1. Trong thực tế không phải tập mờ nào cũng có độ phụ thuộc bằng 1, tương ứng điều đó thì không phải mọi hàm điều có độ cao là 1.



Hình 1.3: Miền xác định và miền tin cậy của một tập mờ

Định nghĩa 1.1

Độ cao tập mờ F (định nghĩa trên nền X) là giá trị chỉ có giá trị

$$h = \sup_{x \in X} \mu_F(x). \quad (1.7)$$

Ký hiệu $h = \sup_{x \in X} \mu_F(x)$ chỉ có giá trị nhỏ nhất trong tất cả các chặn trên

của hàm $\mu_F(x)$.

Một tập mờ với ít nhất một phần tử có độ phụ thuộc bằng 1 được gọi là tập mờ chính tắc tức là $h = 1$. Ngược lại một tập F với $h < 1$ được gọi là tập mờ không chính tắc.

Bên cạnh khái niệm về độ cao, mỗi tập mờ F còn có hai khái niệm quan trọng khác là:

Miền xác định và miền tin cậy:

Định nghĩa 1.2

Miền xác định của tập mờ F (được định nghĩa trên nền X), được ký hiệu là S là tập con M thỏa mãn:

$$S = \text{supp } \mu_F(x) = \{ x \in X \mid \mu_F(x) > 0 \} \quad (1.8)$$

Ký hiệu $S = \text{supp } \mu_F(x)$ viết tắt của từ tiếng anh support, như công thức 2.4 đã chỉ rõ, là tập con trong X chứa các phần tử mà tại đó hàm $\mu_F(x)$ có giá trị dương.

Định nghĩa 1.3

Miền tin cậy của tập mờ F (được định nghĩa trên nền X), được ký hiệu bởi T , là tập con của M thỏa mãn

$$T = \{ x \in A \mid \mu_F(x) = 1 \}. \quad (1.9)$$

1.1.5. Các phép toán trên tập mờ

1.1.5.1. Phép hợp hai tập mờ

Định nghĩa 1.4

Hợp của hai tập hợp mờ A và B có cùng tập nền X là một tập hợp mờ $A \cup B$ cũng được xác định trên tập nền X có hàm thuộc $\mu_{A \cup B}(x)$ thỏa mãn:

- a) $\mu_{A \cup B}(x)$ chỉ phụ thuộc vào $\mu_A(x)$ và $\mu_B(x)$.
- b) $\mu_B(x) = 0$ với mọi $x \Rightarrow \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x)$.
- c) $x \Rightarrow \mu_{A \cup B}(x) = \mu_{B \cup A}(x)$, tức là có tính giao hoán.
- d) Có tính kết hợp, tức là $\mu_{(A \cup B) \cup C}(x) = \mu_{A \cup (B \cup C)}(x)$.
- e) Nếu $A_1 \subseteq A_2$ thì $A_1 \cup B \subseteq A_2 \cup B$ hay $\mu_{A \cup B}(x)$ tức là có tính không giảm
 $\mu_{A_1}(x) \leq \mu_{A_2}(x) \Rightarrow \mu_{A_1 \cup B}(x) \leq \mu_{A_2 \cup B}(x)$.

Các công thức tính hàm thuộc $\mu_{A \cup B}(x)$ cho hai tập mờ. 5 công thức sau đây điều có thể sử dụng để định nghĩa hàm thuộc $\mu_{A \cup B}(x)$ của phép hợp giữa hai tập mờ:

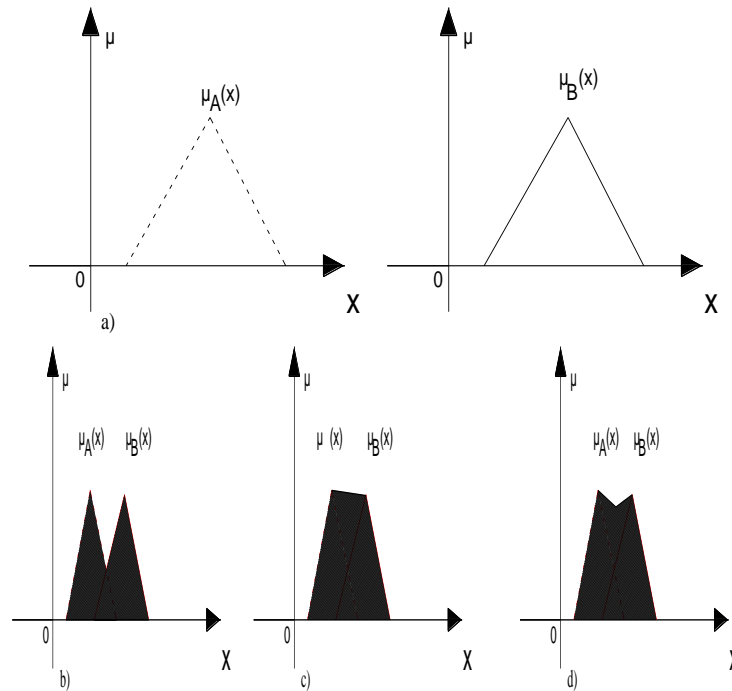
$$1) \mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \text{ (Luật lấy max)} \quad (1.10)$$

$$2) \mu_{A \cup B}(x) = \begin{cases} \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} & \text{khi } \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} = 0 \\ 1 & \text{khi } \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \neq 0 \end{cases} \quad (1.11)$$

$$3) \mu_{A \cup B}(x) = \min \{ 1, \mu_A(x) + \mu_B(x) \} \text{ (Phép hợp lukasiewicz)} \quad (1.12)$$

$$4) \mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x)}{1 + \mu_A(x) + \mu_B(x)} \quad (\text{Tổng Einstein}) \quad (1.13)$$

$$5) \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (\text{Tổng trực tiếp}) \quad (1.14)$$



Hình 1.4: Hàm thuộc của hai tập mờ có cùng không gian nền

- a) Hàm thuộc của hai tập hợp mờ A và B. b) Hợp hai tập mờ theo luật max.
c) Hợp hai tập mờ theo luật Lukasiewicz. d) Hai luật mờ tính tổng trực tiếp.

Một cách tổng quát thì bất cứ một ánh xạ dạng $\mu_{A \cup B}(x): X \rightarrow [0, 1]$

Nếu thỏa mãn 5 tiêu chuẩn đã nêu trong định nghĩa 1.4 đều được xem là hợp của hai tập mờ A và B có chung một tập nền X.

- Hợp hai tập mờ theo luật theo luật max

Hợp của hai tập mờ A với hàm thuộc $\mu_A(x)$ (định nghĩa trên tập nền M) và với hàm thuộc $\mu_B(x)$ (định nghĩa trên nền N) theo luật max là một tập mờ xác định trên tập nền $M \times N$ với hàm thuộc

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \max \{ \mu_{\underline{A}}(x, y), \mu_{\underline{B}}(x, y) \}, \quad (1.15)$$

Trong đó $\mu_{\underline{A}}(x, y) = \mu_A(x)$ với mọi $y \in N$

Và

$$\mu_{\underline{B}}(x, y) = \mu_B(y) \text{ với mọi } x \in M.$$

- Hợp hai thuật mờ theo luật sum (Lukasiewicz)

Hợp của hai tập mờ A với hàm thuộc $\mu_A(x)$ (được định nghĩa trên tập nền M) và B với hàm thuộc $\mu_B(x)$ (được định nghĩa trên tập nền N) theo luật sum là một tập mờ xác định trên tập nền $M \times N$ với hàm thuộc

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x, y) = \min \{ 1, \mu_{\underline{A}}(x, y) + \mu_{\underline{B}}(x, y) \} \quad (1.16)$$

Trong đó

$$\mu_{\underline{A}}(x, y) = \mu_A(x) \text{ mọi } y \in N$$

$$\mu_{\underline{B}}(x, y) = \mu_B(y) \text{ với mọi } x \in M.$$

Một cách tổng quát, do hàm thuộc $\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x, y)$ của hợp hai tập mờ A, B không cùng không gian nền nên chỉ phụ thuộc vào $\mu_A(x) \in [0, 1]$ và $\mu_B(x) \in [0, 1]$ nên ta có thể xem $\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x, y)$ là hàm của hai biến $\mu_A(x), \mu_B(x)$.

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x, y) = \mu(\mu_A, \mu_B) : [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1] \quad (1.17)$$

Ta định nghĩa về hàm thuộc $\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x, y)$ của hợp hai tập mờ không cùng không gian nền.

Định nghĩa 1.5

Hàm thuộc của hợp hai tập mờ A với $\mu_A(x)$ định nghĩa trên nền M và B với $\mu_B(y)$ được định nghĩa trên tập nền N là một hàm hai biến $\mu(\mu_A, \mu_B) : [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$ xác định trên nền $M \times N$ thỏa mãn:

a) $\mu_B = 0 \Rightarrow \mu(\mu_A, \mu_B) = \mu_A.$

b) $\mu(\mu_A, \mu_B) = \mu(\mu_B, \mu_A)$, tức là có tính chất giao hoán.

c) $\mu(\mu_A, \mu(\mu_B, \mu_C)) = \mu(\mu(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$, có tính kết hợp.

d) $\mu(\mu_A, \mu_B) \leq \mu(\mu_C, \mu_D)$, $\forall \mu_A \leq \mu_C, \mu_B \leq \mu_D$ tức có tính không gian giảm.

Hàm hai biến $\mu(\mu_A, \mu_B): [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$ thỏa mãn các điều kiện của định nghĩa 1.5 còn được gọi là hàm t – đối chuẩn (t-conorm).

1.1.5.2. Phép giao hai tập mờ

Định nghĩa 1.6

Giao của hai tập mờ A và B có cùng tập nền X là một tập mờ cũng xác định trên tập nền X với hàm thuộc thỏa mãn:

- a) $\mu_{A \cap B}(x)$ chỉ phụ thuộc $\mu_A(x)$ và $\mu_B(x)$.
- b) $\mu_B(x) = 1$ với mọi x $\Rightarrow \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)$.
- c) $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_{B \cap A}(x)$, tức là có tính giao hoán.
- d) $\mu_{(A \cap B) \cap C}(x) = \mu_{A \cap (B \cap C)}(x)$, tức là có tính kết hợp.
- e) $\mu_{A_1}(x) \leq \mu_{A_2}(x) \Rightarrow \mu_{A_1 \cap B}(x) \leq \mu_{A_2 \cap B}(x)$, tức là không gian giảm.

Cũng giống như phép hợp, phép giao có các công thức sau để tính hàm thuộc của một ánh xạ $\mu_{A \cap B}(x): X \rightarrow [0, 1]$ thỏa mãn 5 tiêu chuẩn đã nêu trong định nghĩa 1.6 đều được xem như là hàm thuộc của giao hai tập mờ A và B có chung nền X.

Các công thức thường dùng để tính hàm thuộc $\mu_{A \cap B}(x)$ của phép giao gồm:

$$1) \mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (1.18)$$

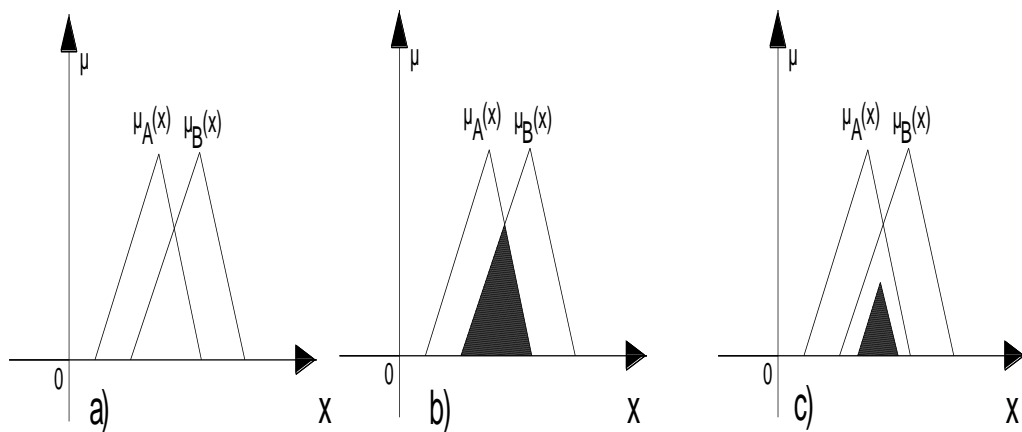
$$2) \mu_{A \cap B}(x) = \begin{cases} \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} & \text{if } \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} = 1 \\ 0 & \text{if } \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \neq 1 \end{cases} \quad (1.19)$$

$$3) \mu_{A \cap B}(x) = \max \{ 0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1 \} \text{ (Phép hợp lukasiewicz) } \quad (1.20)$$

$$4) \mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{2 - (\mu_A(x) + \mu_B(x)) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)} \quad (\text{Tích Einstein}) \quad (1.21)$$

$$5) \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (\text{Tích đại số}) \quad (1.22)$$

Tuy nhiên luật min (1.18) và tích đại số là hai luật xác định hàm thuộc của giao hai tập mờ được ưa dùng hơn cả trong kỹ thuật điều khiển mờ.



Hình 1.5: Hàm thuộc của giao hai tập mờ có cùng không gian nền

- a) Hàm thuộc của hai tập mờ A và B
- b) Giao của hai tập mờ theo luật min
- c) Giao của hai tập mờ theo luật tích đại số

Giao hai tập mờ theo luật min

Giao của tập mờ A có hàm thuộc $\mu_A(x)$ được định nghĩa trên nền M với tập mờ B các hàm thuộc $\mu_B(x)$ định nghĩa trên tập nền N là một tập mờ xác định trên tập nền $M \times N$ có hàm thuộc

$$\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x, y) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(y) \} = \min \{ \mu_{\underline{A}}(x, y), \mu_{\underline{B}}(x, y) \} \quad (1.23a)$$

Trong đó

$$\mu_{\underline{A}}(x, y) = \mu_A(x) \quad \text{với mọi } y \in N \quad \text{và} \quad \mu_{\underline{B}}(x, y) = \mu_B(y) \quad \text{với mọi } x \in M.$$

Giao hai tập mờ theo tích đại số

Giao của tập mờ A có hàm thuộc $\mu_A(x)$ được định nghĩa trên nền M với tập mờ B các hàm thuộc $\mu_B(x)$ định nghĩa trên tập nền N là một tập mờ xác định trên tập nền MxN có hàm thuộc

$$\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x, y) = \mu_{\underline{A}}(x, y) \cdot \mu_{\underline{B}}(x, y), \text{ trong đó}$$

(1.23b)

$$\mu_{\underline{A}}(x, y) = \mu_A(x) \text{ với mọi } y \in N \text{ và } \mu_{\underline{B}}(x, y) = \mu_B(y) \text{ với mọi } x \in M.$$

Định nghĩa 1.7

Hàm thuộc của giao hai tập mờ A với $\mu_A(x)$ định nghĩa trên nền M và B với $\mu_B(y)$ được định nghĩa trên tập nền N là một hàm hai biến $\mu(\mu_A, \mu_B): [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$ xác định trên nền MxN thỏa mãn:

- d) $\mu_B = 1 \Rightarrow \mu(\mu_A, \mu_B) = \mu_A$.
- e) $\mu(\mu_A, \mu_B) = \mu(\mu_B, \mu_A)$, tức là có tính chất giao hoán.
- f) $\mu(\mu_A, \mu(\mu_B, \mu_C)) = \mu(\mu(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$, có tính kết hợp
- g) $\mu(\mu_A, \mu_B) \leq \mu(\mu_C, \mu_D)$, $\forall \mu_A \leq \mu_C, \mu_B \leq \mu_D$ tức có tính không gian giảm.

1.2. BIẾN NGÔN NGỮ VÀ GIÁ TRỊ CỦA NÓ

1.2.1. Biến ngôn ngữ

Biến ngôn ngữ là các phần tử chủ đạo trong các hệ thống logic mờ. Ở đây các thành phần ngôn ngữ của cùng một ngữ cảnh được kết hợp lại với nhau.

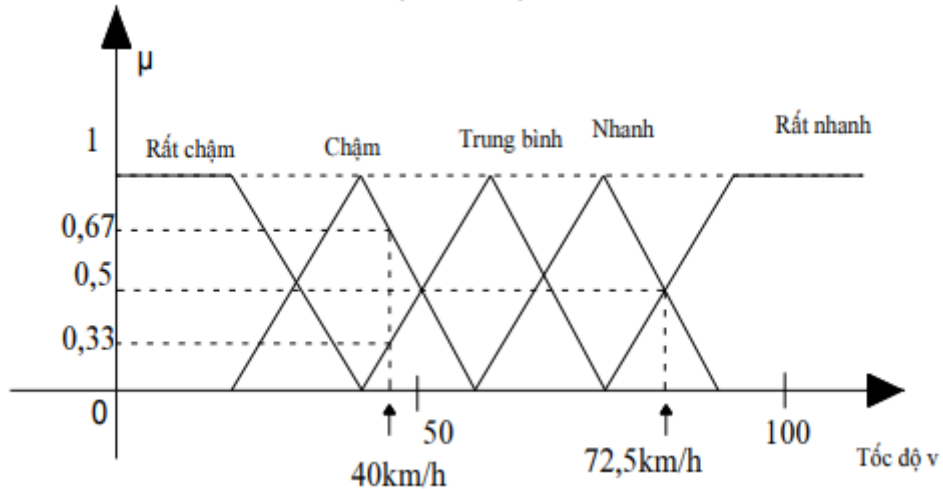
Để minh họa về hàm thuộc và biến ngôn ngữ ta xét ví dụ sau đây:

Xét tốc độ của một xe mô tô, ta có thể phát biểu xe đang chạy:

- *Rất chậm (VS)*
- *Chậm (S)*
- *Trung bình (M)*
- *Nhanh (F)*

- *Rất nhanh (VF)*

Mỗi giá trị ngôn ngữ đó của biến tốc độ được xác định bằng một tập mờ định nghĩa trên tập nền là tập các số thực dương chỉ giá trị vật lý x (đơn vị km/h) của biến tốc độ v như 40 km/h, 50km/h,... (hình 1.6)



Hình 1.6: Mô tả các giá trị ngôn ngữ bằng tập mờ
Hàm thuộc tương ứng của chúng được ký hiệu bằng

$$\mu_{\text{rất chậm}}(x), \quad \mu_{\text{chậm}}(x), \quad \mu_{\text{trung bình}}(x), \quad \mu_{\text{nhanh}}(x), \quad \mu_{\text{rất nhanh}}(x)$$

Như vậy biến tốc độ có hai miền giá trị:

- Miền giá trị ngôn ngữ:

$$N = \{ \text{rất chậm}, \text{chậm}, \text{trung bình}, \text{nhanh}, \text{rất nhanh} \}.$$

- Miền giá trị vật lý (miền giá trị rõ)

$$V = \{ x \in \mathbb{R} \mid x \geq 0 \}$$

Và mỗi giá trị ngôn ngữ (mỗi phần tử của N) lại được mô tả bằng một tập mờ có tập mềm các giá trị vật lý V .

Biến ngôn ngữ V được xác định trên miền các giá trị ngôn ngữ N , được gọi là biến ngôn ngữ. Do vậy tập nền các tập mờ mô tả giá trị ngôn ngữ của biến ngôn ngữ tốc độ lại chính là tập V các giá trị vật lý của biến nên từ một giá trị vật lý $x \in V$ có một vector $\underline{\mu}$ gồm các độ phụ thuộc của x như sau:

$$x \mapsto \underline{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_{\text{rất chậm}}(x) \\ \mu_{\text{chậm}}(x) \\ \mu_{\text{trung bình}}(x) \\ \mu_{\text{nhanh}}(x) \\ \mu_{\text{rất nhanh}}(x) \end{pmatrix} \quad (1.24)$$

Ánh xạ (1.24) có tên gọi là quá trình Fuzzy hóa (hay mờ hóa) giá trị rõ x . Ví dụ, kết quả Fuzzy hóa giá trị vật lý $x = 40\text{km/h}$ (giá trị rõ) biến tốc độ sẽ là:

$$40\text{km/h} \mapsto \underline{\mu} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,67 \\ 0,33 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Hoặc của $x = 72,5\text{km/h}$ là

$$72,5\text{km/h} \mapsto \underline{\mu} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,5 \\ 0,5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

1.2.2. Luật hợp thành

1.2.2.1. Mệnh đề hợp thành

Biến ngôn ngữ (ví dụ v chỉ tốc độ của xe) được xác định thông qua tập các giá trị mờ của nó. Cùng là một đại lượng vật lý chỉ tốc độ nhưng biến v có hai dạng thể hiện:

- Là biến vật lý với giá trị rõ như 40km/h hay $v = 72,5\text{km/h}, \dots$ (miền xác định là tập kinh điển),
- Là biến ngôn ngữ với các giá trị mờ như rất chậm, chậm, trung bình, ... (miền xác định là tập các tập mờ).

Cho hai biến ngôn ngữ χ và γ . Nếu biến χ nhận biến giá trị (mờ) A với hàm thuộc $\mu_A(x)$ và γ nhận giá trị (mờ) B có hàm thuộc $\mu_B(x)$ thì biểu thức:

$$\chi = A \tag{1.25a}$$

được gọi là mệnh đề điều kiện
và

$$\gamma = B \tag{1.25b}$$

được gọi là mệnh đề kết luận.

Ký hiệu mệnh đề (2.25a) là p và (2.25b) là q thì mệnh đề hợp thành

$p \Rightarrow q$ (từ p suy ra q), hoàn toàn tương ứng với luật điều khiển (mệnh đề hợp thành một điều kiện)

$$\text{Nếu } \chi = A \text{ thì } \gamma = B \tag{1.25c}$$

Mệnh đề hợp thành trên là một ví dụ đơn giản về bộ điều khiển mờ. Nó cho phép từ một giá trị đầu vào x_0 hay cụ thể hơn là độ phụ thuộc $\mu_A(x_0)$ đối với tập mờ A của giá trị đầu vào x_0 xác định được hệ số thỏa mãn mệnh đề kết luận q của giá trị đầu ra y. Hệ số thỏa mãn mệnh đề kết luận này được gọi là giá trị của mệnh đề hợp thành khi đầu vào bằng A và giá trị của mệnh đề hợp thành (1.25c) $A \Rightarrow B$ (A suy ra từ B), là một giá trị mờ. Biểu diễn giá trị mờ đó là tập hợp C thì mệnh đề hợp thành mờ (1.25c) chính là ánh xạ $\mu_A(x_0) \Rightarrow \mu_C(y)$.

1.2.2.2. Mô tả mệnh đề hợp thành

Ánh xạ $\mu_A(x_0) \Rightarrow \mu_C(y)$ chỉ ra rằng mệnh đề hợp thành là một tập mà mỗi phần tử là một giá trị $(\mu_A(x_0), \mu_C(y))$, tức là mỗi phần tử là một tập mờ. Mô tả mệnh đề hợp thành là mô tả ánh xạ trên.

$$\text{Nếu } \chi = A \text{ thì } \gamma = B \tag{1.26a}$$

hay

$$\mu_A(x) \Rightarrow \mu_B(y) \quad \text{với } \mu_A, \mu_B \in [0, 1] \quad (1.26b)$$

Trong đó $\mu_A(x)$ là hàm thuộc của tập mờ đầu vào A định nghĩa trên tập nền A và $\mu_B(y)$ là hàm thuộc của B trên tập nền Y.

Định nghĩa 1.8 (suy diễn đơn thuần)

Giá trị của mệnh đề hợp thành mờ (1.26) là một tập mờ định nghĩa trên nền Y (không gian nền của B) và có hàm thuộc:

$$\mu_{A \Rightarrow B}(y) : Y \rightarrow [0, 1]$$

Thỏa mãn:

a) $\mu_{A \Rightarrow B}(y)$ chỉ phụ thuộc vào $\mu_A(x)$ và $\mu_B(y)$

b) $\mu_A(x) = 0 \Rightarrow \mu_{A \Rightarrow B}(y) = 1$.

c) $\mu_A(x) = 1 \Rightarrow \mu_{A \Rightarrow B}(y) = 1$

d) $\mu_A(x) = 1$ và $\mu_B(y) = 0 \Rightarrow \mu_{A \Rightarrow B}(y) = 0$

e) $\mu_{A_1}(x) \leq \mu_{A_2}(x) \Rightarrow \mu_{A_1 \Rightarrow B}(y) \leq \mu_{A_2 \Rightarrow B}(y)$.

f) $\mu_{B_1}(y) \leq \mu_{B_2}(y) \Rightarrow \mu_{A \Rightarrow B_1}(y) \leq \mu_{A \Rightarrow B_2}(y)$

Như vậy bất cứ một hàm $\mu_{A \Rightarrow B}(y)$ nào thỏa mãn những tính chất trên đều có thể được sử dụng làm hàm thuộc cho tập mờ C là kết quả của mệnh đề hợp thành (1.26). Các hàm thuộc cho mệnh đề hợp thành mờ $A \Rightarrow B$ thường hay dùng bao gồm:

1) $\mu_{A \Rightarrow B}(x, y) = \max \{ \min \{ \mu_A(x), \mu_B(y) \}, 1 - \mu_A(x) \}$ công thức Zadeh.

2) $\mu_{A \Rightarrow B}(x, y) = \min \{ 1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y) \}$ công thức Lukasiewicz.

3) $\mu_{A \Rightarrow B}(x, y) = \max \{ 1 - \mu_A(x), \mu_B(y) \}$ công thức Kleene – Dienes.

Định lý Mamdani: “ *Độ phụ thuộc của kết luận không được lớn hơn độ phụ thuộc điều kiện* ”

Biểu diễn nguyên tắc Mamdani dưới dạng công thức ta có:

$$\mu_A(x) \geq \mu_{A \Rightarrow B}(x) \quad (1.27)$$

Do hàm $\mu_{A \Rightarrow B}(y)$

$\mu_{A \Rightarrow B}(y)$ của tập mờ kết quả $B' = A \Rightarrow B$ chỉ phụ thuộc vào $\mu_A(x)$ và $\mu_B(y)$ cũng như đã làm với phép hợp và phép giao.... hai tập mờ sẽ coi $\mu_{A \Rightarrow B}(y)$ như là một hàm hai biến μ_A và μ_B , tức là:

$$\mu_{A \Rightarrow B}(y) = \mu(\mu_A, \mu_B)$$

thì định nghĩa (1.7) với sự sửa đổi theo nguyên tắc Mamdani sẽ được phát biểu như sau:

Định nghĩa 1.9 (phép suy diễn mờ)

Giá trị mệnh đề hợp thành mờ (1.26) là một tập mờ B' định nghĩa trên nền Y (không gian nền B) và hàm thuộc

$$\mu(\mu_A, \mu_B) : [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$$

Thỏa mãn

g) $\mu_A \geq \mu(\mu_A, \mu_B)$ với mọi $(\mu_A, \mu_B \in [0, 1])$.

h) $\mu(\mu_A, 0) = 0$ với mọi $\mu_A \in [0, 1]$.

i) $\mu_{A_1}(x) \leq \mu_{A_2}(x) \Rightarrow \mu(\mu_{A_1}, \mu_B) \leq \mu(\mu_{A_2}, \mu_B)$.

j) $\mu_{B_1}(x) \leq \mu_{B_2}(x) \Rightarrow \mu(\mu_A, \mu_{B_1}) \leq \mu(\mu_A, \mu_{B_2})$.

Từ nguyên tắc của Mamdani và định nghĩa 1.8 có được các công thức xác định hàm thuộc cho mệnh đề hợp thành $B' = A \Rightarrow B$. Một trong số chúng là

$$1) \mu(\mu_A, \mu_B) = \min(\mu_A, \mu_B) \quad (1.28)$$

$$2) \mu(\mu_A, \mu_B) = \mu_A \cdot \mu_B \quad (1.29)$$

Quy tắc hợp thành MIN

Giá trị mệnh đề hợp thành mờ (1.26) là một tập mờ B' định nghĩa trên nền Y (không gian nền B) và có hàm thuộc

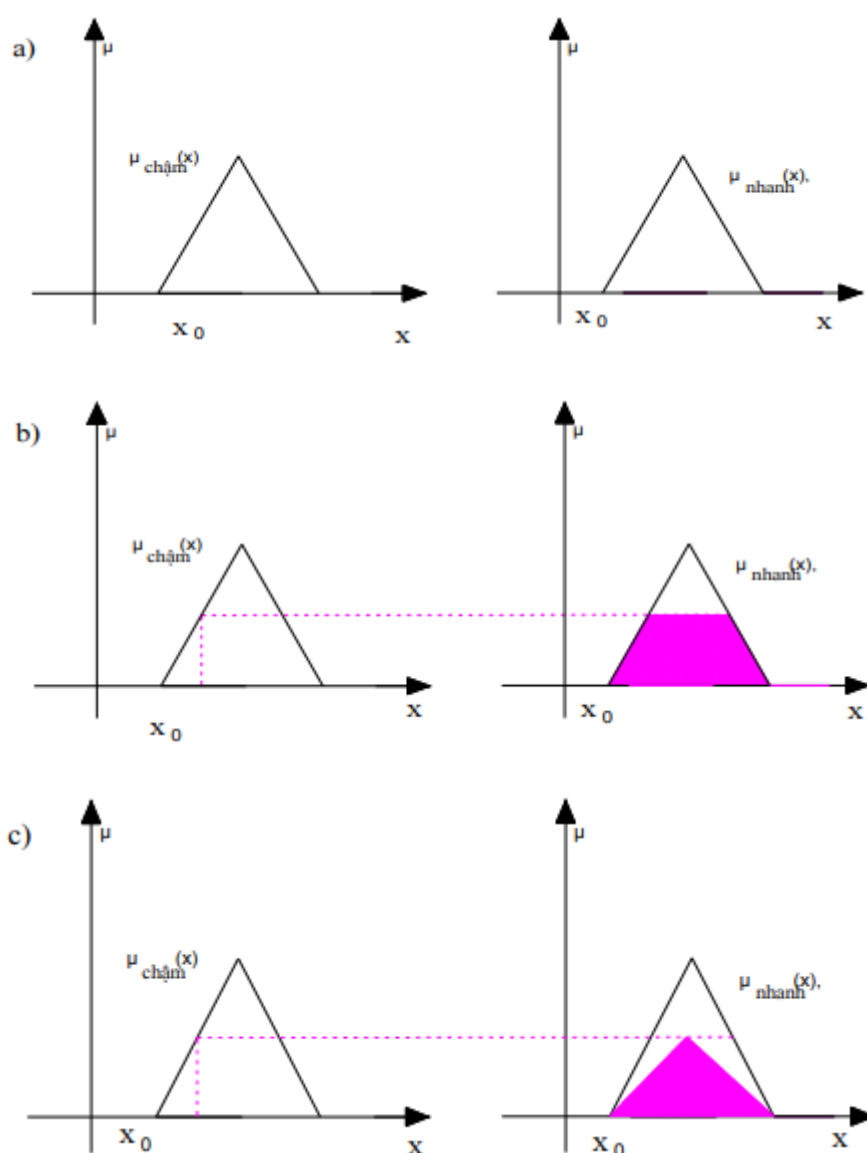
$$\mu_{B'}(y) = \min\{\mu_A, \mu_B(y)\} \quad (1.29)$$

Quy tắc hợp thành PROD

Giá trị mệnh đề hợp thành mờ (1.26) là một tập mờ B' định nghĩa trên nền Y (không gian nền B) và có hàm thuộc

$$\mu_{B'}(y) = \mu_A \cdot \mu_B(y) \quad (1.30)$$

Như vậy có hai quy tắc hợp thành xác định B' của mệnh đề hợp thành. Nếu hàm thuộc $\mu_{B'}(y)$ của B' thu được theo quy tắc MIN thì mệnh đề hợp thành có tên gọi là mệnh đề hợp thành MIN. Cũng tương tự mệnh đề hợp thành sẽ được gọi là PROD, nếu $\mu_{B'}(y)$ xác định theo quy tắc PROD.



Hình 1.7: Các hàm thuộc theo các quy tắc

a) Hàm thuộc $\mu_{cham}(x)$ và $\mu_{nhanh}(x)$

b) $\mu_{B'}(y)$ xác định theo quy tắc hợp thành MIN

c) $\mu_{B'}(y)$ xác định theo quy tắc hợp thành PROD.

Ký hiệu giá trị mờ đầu ra là B' ứng với một giá trị rõ x_0 tại đầu vào thì hàm thuộc của B' với quy tắc hợp thành MIN sẽ là

$$\mu_{B'}(y) = \min\{\mu_A(x_0), \mu_B(y)\}. \quad (1.31)$$

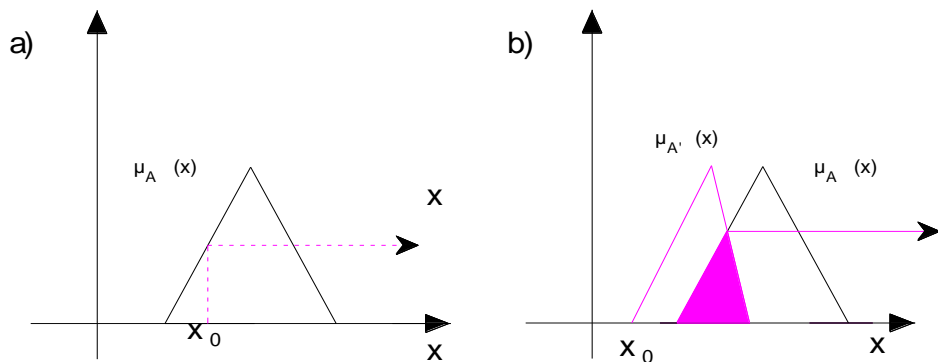
$$\text{Gọi } H = \mu_A(x_0). \quad (1.32)$$

Là độ thỏa mãn mệnh đề điều kiện hay ngắn gọn là độ thỏa mãn thì

$$\mu_{B'}(y) = \min\{H, \mu_B(y)\}. \quad (1.33)$$

Với quy tắc hợp thành PROD, hàm thuộc của B' sẽ là

$$\mu_{B'}(y) = \mu_A(x_0) \cdot \mu_B(y) = H \cdot \mu_B(y). \quad (1.34)$$



Hình 1.8: Mô tả độ thỏa mãn

a) Giá trị đầu vào rõ

b) Giá trị đầu vào mờ

Trong trường hợp tín hiệu đầu vào A' là một giá trị mờ với hàm thuộc $\mu_{A'}(x)$, đầu ra B' cũng là một giá trị mờ có hàm thuộc $\mu_{B'}(x)$ là phần dưới của hàm $\mu_B(y)$ bị chặn trên bởi độ thỏa mãn H được xác định theo nguyên tắc “tình huống xấu nhất” như sau:

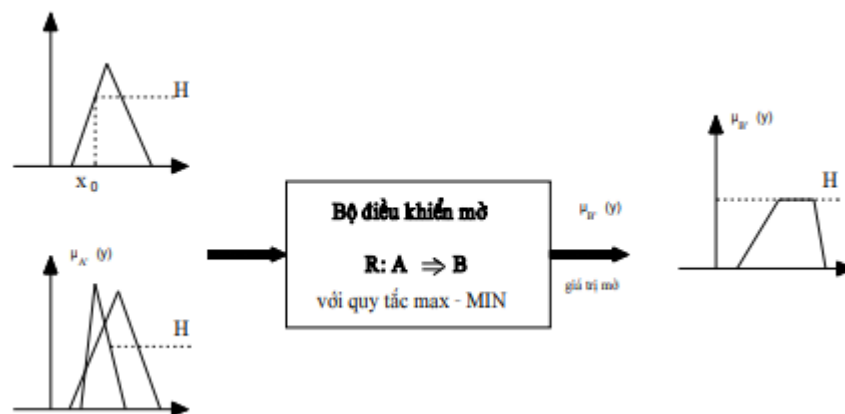
$$H = \max_x \min\{\mu_{A'}(x), \mu_A(x)\} \quad (\text{hình 1.8})$$

1.2.3. Luật hợp thành mờ

Luật hợp thành là tên chung, gọi là mô hình R biểu diễn một hay nhiều hàm thuộc cho một hay nhiều mệnh đề hợp thành, hay tập hợp của nhiều mệnh đề hợp thành. Một luật hợp thành có một mệnh đề hợp thành được gọi là luật hợp thành đơn. Ngược lại nếu có nhiều hơn một mệnh đề hợp thành thì ta nói đó là mệnh đề hợp thành kép. Phần lớn các hệ mờ trong thực tế điều có mô hình là luật hợp thành kép.

Các luật cơ bản

- Luật Max – Min
- Luật Max – Prod
- Luật Sum – Min
- Luật Sum – Prod



Hình 1.9: Bộ điều khiển mờ với quy tắc max - MIN

1.2.3.1. Thuật toán thực hiện luật hợp thành đơn max – MIN, max – PROD có cấu trúc SISO

Luật hợp thành max – MIN là tên gọi mô hình (ma trận R) của luật hợp thành mà giá trị biến mờ của nó được xác định theo quy tắc max – MIN.

Xét luật SISO chỉ có một mệnh đề hợp thành

R_1 : Nếu $\chi = A$ thì $\gamma = B$.

Trước tiên hai hàm thuộc $\mu_A(x)$ và $\mu_B(y)$ được rời rạc hóa với tần số rời rạc đủ nhỏ để không bị mất thông tin. Chẳng hạn trong ví dụ về biến vận tốc v (biến ngôn ngữ), hai giá trị $\mu_{cham}(x)$ và $\mu_{tan\ g}(x)$ được rời rạc hóa tại các điểm

$$x = \{ 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 \}$$

$$y = \{ 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 \}$$

Với các điểm rời rạc này thì theo (1.32) và (1.33) khi đầu vào giá trị rõ x_0 hàm thuộc $\mu_{R'}(y)$ tại điểm 0,7 sẽ là

$$\mu_B(0,7) |_{0,2} = \mu_R(0,2 : 0,7) = \min\{ \mu_{cham}(0,2), \mu_{tan\ g}(0,7) \} = \min\{0,5; 1\} = 0,5$$

Hoặc

$$\mu_B(0,7) |_{0,3} = \mu_R(0,3 : 0,7) = \min\{ \mu_{cham}(0,3), \mu_{tan\ g}(0,7) \} = \min\{1; 1\} = 1$$

.
.
.

Nhóm tất cả các giá trị có được của $\mu_B(y) |_{x} = \mu_R(x, y)$, gồm $5 \times 5 = 25$ giá trị thành ma trận R (được gọi là luật hợp thành max-MIN) gồm 5 hàng, 5 cột.

R	Y				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,1	0	0	0	0	0
0,2	0	0,5	0,5	0,5	0
0,3	0	0,5	1	0,5	0
0,4	0	0,5	0,5	0,5	0
0,5	0	0	0	0	0

Tổng quát lên cho một giá trị rõ x_0 bất kỳ

$$x_0 = \{ 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 \}$$

tại đầu vào, vector chuyển vị \underline{a} sẽ có dạng

$$\underline{a}^T = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$$

Trong đó phần tử a_i duy nhất chỉ có chỉ số I của x_0 trong X có giá trị bằng 1, các phần tử còn lại đều bằng 0. Hàm thuộc (rời rạc) $\mu_{B'}(y)$ được xác định với

$$\mu_{B'}(y) = \underline{a}^T \cdot R = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{15} \\ \cdot & \dots & \cdot \\ r_{51} & \dots & r_{55} \end{pmatrix} = (l_1, l_2, l_3, l_4, l_5) \quad (1.35)$$

Trong đó

$$l_k = \sum_{i=1}^5 a_i r_{ik}$$

Để tránh cài đặt thuật toán ma trận của đại số tuyến tính cho việc tính hàm thuộc $\mu_{B'}(y)$ theo (1.35) và qua đó tăng tốc độ xử lý, phép tính nhân ma trận kiểu (1.35) được thay bởi luật max –min của Zadeh với max (phép lấy cực đại) thay vào vị trí phép cộng và min (lấy theo cực tiểu) thay vào phép nhân như sau:

$$l_k = \max_{1 \leq i \leq 5} \min \{a_i, r_{ik}\} \quad (1.36)$$

Kết quả phép tính (1.35) và (1.36) với đầu vào là một giá trị rõ hoàn toàn giống nhau.

1.2.3.2. Thuật xác định luật hợp thành có cấu trúc MISO

Với mệnh đề hợp thành với d mệnh đề điều kiện

$$\text{Nếu } \chi_1 = A_1 \text{ VÀ } \chi_2 = A_2 \text{ VÀ } \dots \text{ VÀ } \chi_d = A_d \text{ THÌ } \gamma = B \quad (1.37)$$

Bao gồm d biến ngôn ngữ đầu vào $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_d$ và một biến đầu ra γ cũng được mô hình hóa giống như việc mô hình hóa mệnh đề hợp thành có một điều kiện, trong đó liên kết VÀ giữa các mệnh đề (hay giá trị mờ) được thực hiện bằng phép giao các tập mờ A_1, A_2, \dots, A_d với nhau .Kết quả phép giao là độ thỏa mãn H. Các bước xây dựng luật hợp thành R như sau:

- Rời rạc hóa miền xác định các hàm thuộc $\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2) \dots \mu_{A_d}(x_d), \mu_B(y)$ của của các mệnh đề điều kiện và mệnh đề kết luận.
- Xác định độ thỏa mãn H cho từng vector các giá trị rõ đầu vào là vector tổ hợp d điểm mẫu thuộc miền xác định của hàm thuộc $\mu_{A_i}(x_i), i=1, \dots, d$. Chẳng hạn với một vector các giá trị rõ đầu vào

- $\underline{x} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_d \end{pmatrix}$, trong đó $c_i, i=1, \dots, d$ là một trong những điểm mẫu miền xác

định của

$\mu_{A_i}(x_i)$ thì

$$H = \min\{ \mu_{A_1}(c_1), \mu_{A_2}(c_2), \dots, \mu_{A_d}(c_d) \} \quad (1.38)$$

- Lập R gồm các hàm thuộc giá trị mờ đầu ra cho từng vector các giá trị đầu vào theo nguyên tắc:

$\mu_{B'}(y) = \min\{ \mu_A(x_0), \mu_B(y) \}$ nếu sử dụng nguyên tắc là max – MIN hoặc

$\mu_{B'}(y) = H \cdot \mu_B(y)$ nếu quy tắc sử dụng là max – PROD. $\mu_{B'}(y) = H \cdot \mu_B(y)$

1.3. GIẢI MỜ (RÕ HÓA)

Giải mờ là quá trình xác định một giá trị rõ y' nào đó có thể chấp nhận được từ hàm thuộc $\mu_{B'}(y) = H \cdot \mu_B(y)$ của giá trị mờ B' (tập mờ). Có hai phương pháp giải mờ chính là phương pháp cực đại và phương pháp trọng tâm trong tập nền của tập mờ B' được ký hiệu thống nhất là Y .

1.3.1. Phương pháp cực đại

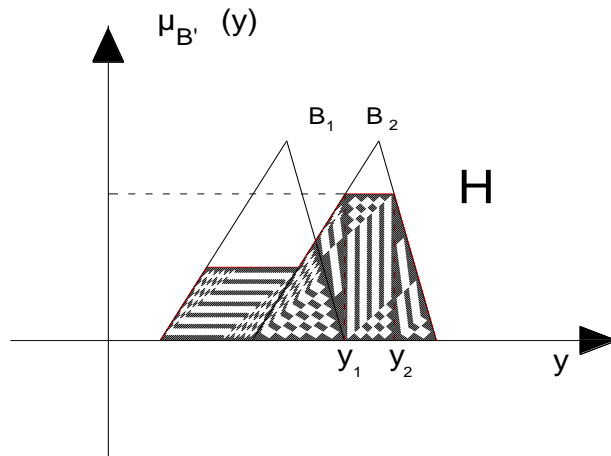
Các bước thực hiện:

a) Xác định miền chứa giá trị y' , giá trị rõ y' là giá trị mà tại đó hàm thuộc đạt giá trị cực đại (độ cao H của tập mờ B'), tức là miền

$$G = \{y \in Y \mid \mu_{B'}(y) = H\}$$

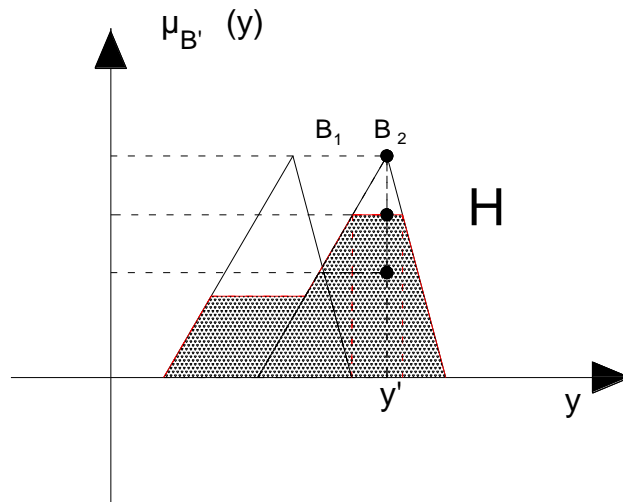
b) Xác định y' có thể chấp nhận được G .

Xác định y' theo một trong 3 cách sau:

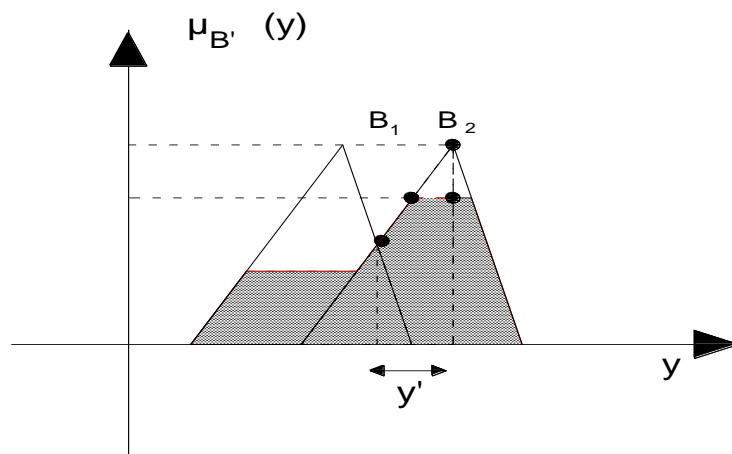


Hình 1.10: Giải mờ theo phương pháp cực đại

- Nguyên lý trung bình: $y' = \frac{y_1 + y_2}{2}$
- Nguyên lý cận trái : chọn $y' = y_1$
- Nguyên lý cận phải : chọn $y' = y_2$



Hình 1.11: Giá trị rõ y' không phụ thuộc vào đáp ứng vào của luật điều khiển



Hình 1.12: Giá trị rõ y' phụ thuộc tuyến tính với đáp ứng vào của luật điều khiển

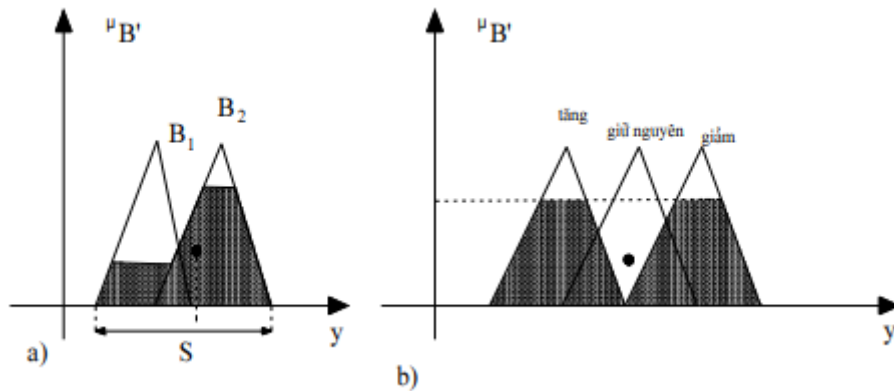
1.3.2. Phương pháp trọng tâm

Điểm y' được xác định là hoành độ của điểm trọng tâm miền được bao bởi trục hoành và đường $\mu_{B'}(y)$.

Công thức xác định:

$$y' = \frac{\int_S y \mu(y) dy}{\int_S \mu(y) dy}$$

trong đó S là miền xác định của tập mờ B'



Hình 1.13 a) Giá trị y' là hoành độ của điểm trọng tâm

b) Xác định giá trị rõ y' theo phương pháp điểm trọng tâm khi miền giá trị của tập mờ không liên thông.

Phương pháp trọng tâm cho luật Sum – Min

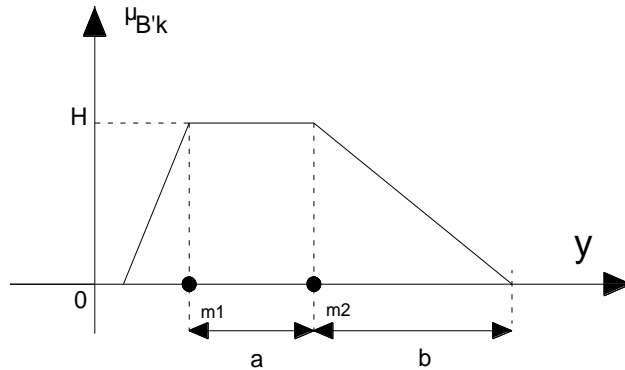
Giả sử có m luật điều khiển được triển khai, ký hiệu các giá trị mờ đầu ra của luật điều khiển thứ k là $\mu_{B_k}(y)$ thì với quy tắc Sum – Min hàm thuộc sẽ là

$\mu_{B'}(y) = \sum_{k=1}^m \mu_{B_k}(y)$, và y' được xác định:

$$y' = \frac{\int_S \left(y \sum_{k=1}^m \mu_{B_k}(y) \right) dy}{\int_S \sum_{k=1}^m \mu_{B_k}(y) dy} = \frac{\sum_{k=1}^m \int_S y \mu_{B_k}(y) dy}{\sum_{k=1}^m \int_S \mu_{B_k}(y) dy} = \frac{\sum_{k=1}^m M_k}{\sum_{k=1}^m A_k} \quad (1.39)$$

Trong đó:

$$M_i = \int_S y \mu_{B^k}(y) dy \quad \text{và} \quad A_i = \int_S \mu_{B^k}(y) dy \quad (1.40)$$



Hình 1.14: Tập mờ có hàm thuộc hình thang

Xét riêng cho các trường hợp các hàm thuộc dạng hình thang như trên :

$$M_k = \frac{H}{6} (3m_2^2 - 3m_1^2 + b^2 - a^2 + 3m_2b + 3m_1a)$$

(1.41a)

$$A_k = \frac{H}{2} (2m_2 - 2m_1 + a + b) \quad (1.41b)$$

Phương pháp độ cao

Từ công thức (1.39) , cho cả hai loại luật hợp thành max – MIN và sum – MIN với thêm một giả thiết là mỗi tập mờ $\mu_{B^k}(y)$ được xấp xỉ bằng một tập giá trị (y_k, H_k) duy nhất (singleton), trong đó H_k là độ cao của $\mu_{B^k}(y)$ và y_k là một điểm mẫu trong miền giá trị của $\mu_{B^k}(y)$ có

$$\mu_{B^k}(y_k) = H_k$$

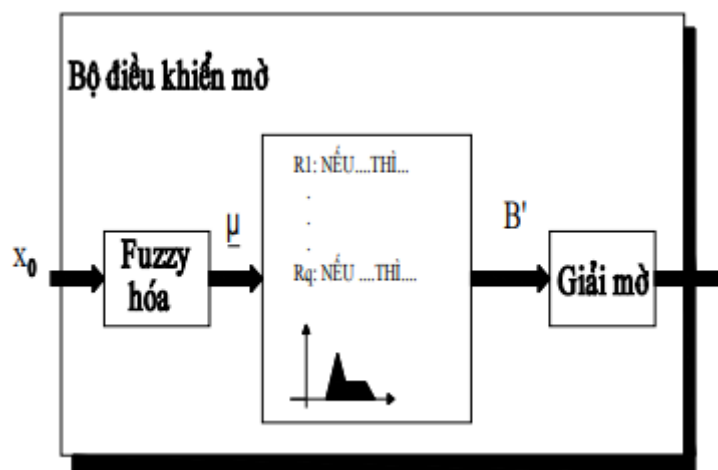
thì

$$y' = \frac{\sum_{k=1}^q y_k H_k}{\sum_{k=1}^q H_k} \quad (1.42)$$

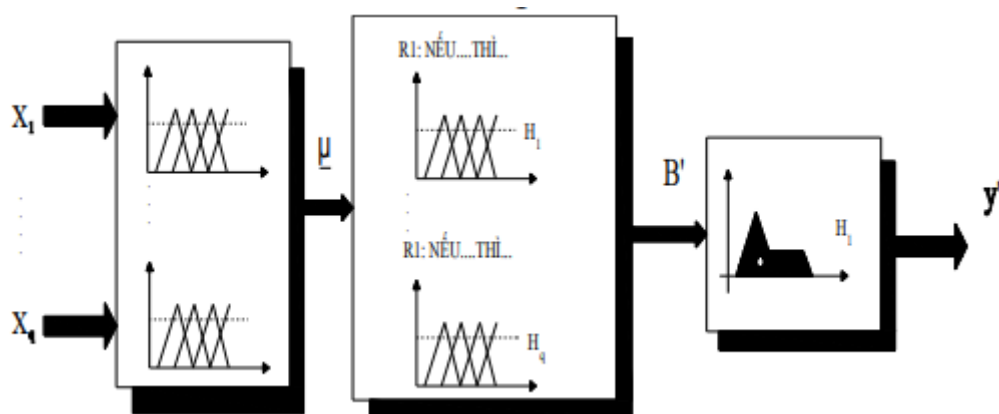
Đây là công thức giải mờ theo phương pháp độ cao.

1.4. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ

1.4.1. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ



Hình 1.15: Cấu trúc bên trong của một bộ điều khiển mờ



Hình 1.16: Bộ điều khiển mờ cơ bản

Bộ điều khiển mờ có ba khâu cơ bản gồm (hình 1.16):

Khâu Fuzzy hóa có nhiệm vụ chuyển một giá trị rõ đầu vào x_0 thành một vector $\underline{\mu}$ gồm các độ phụ thuộc của giá trị rõ đó theo các giá trị mờ (tập mờ) đã định nghĩa cho biến ngôn ngữ đầu vào.

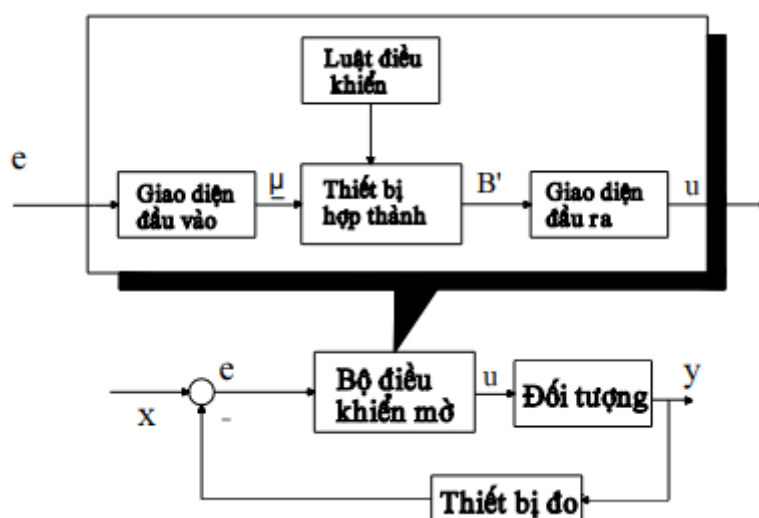
Khâu thực hiện luật hợp thành, có tên gọi là thiết bị hợp thành xử lý vector $\underline{\mu}$ và cho ra giá trị mờ B' của biến ngôn ngữ đầu ra,

Khâu mờ hóa, có nhiệm vụ chuyển đổi tập mờ B' thành một giá trị rõ y' chấp nhận được cho đối tượng (tín hiệu điều chỉnh).

Các bộ điều khiển mờ sẽ được phân loại dựa trên quan hệ vào / ra toàn cục của tín hiệu x_0 và tín hiệu ra y' biểu diễn ánh xạ $x_0 \mapsto y'$. Quan hệ toàn cục đó có tên gọi là quan hệ truyền đạt.

1.4.2. Nguyên lý của bộ điều khiển mờ

Về nguyên tắc, hệ điều khiển mờ cũng không có gì khác với các bộ điều khiển tự động thông thường khác. Sự khác biệt ở đây là bộ điều khiển mờ làm việc có tư duy như “bộ não” dưới dạng trí tuệ nhân tạo. Nếu khẳng định việc làm với bộ điều khiển mờ có thể giải quyết được mọi vấn đề từ trước đến nay chưa giải quyết được theo phương pháp kinh điển thì không hoàn toàn chính xác, vì hoạt động của bộ điều khiển phụ thuộc vào kinh nghiệm và phương pháp rút ra kết luận theo tư duy của con người, sau đó cài đặt vào máy tính trên cơ sở logic mờ. Hệ thống điều khiển mờ do đó cũng có thể coi là một hệ thống nơron (hệ thần kinh), hay đúng hơn là hệ thống điều khiển được thiết kế mà không cần biết trước mô hình đối tượng.



Hình 1.17: Hệ kín phản hồi âm với sự tham gia của bộ điều khiển mờ.

Hệ thống điều khiển mờ được thiết kế trên:

- Giao diện đầu vào bao gồm khâu Fuzzy hóa và các khâu phụ trợ thêm để thực hiện các bài toán tự động như khâu tích phân, vi phân... để thực hiện bài toán điều khiển.
- Thiết bị hợp thành là sự triển khai các luật hợp thành R được xây dựng trên cơ sở luật điều khiển thích hợp.
- Giao diện đầu ra gồm khâu giải mờ và các khâu tác động trực tiếp tới đối tượng cần điều khiển.

Nguyên tắc tổng hợp bộ điều khiển mờ hoàn toàn dựa trên cơ sở toán học, cách định nghĩa các biến ngôn ngữ vào ra và phương pháp lựa chọn luật điều khiển.

Trái tim của bộ điều khiển mờ chính là luật điều khiển mờ cơ bản có dạng là tập các mệnh đề hợp thành cùng cấu trúc Nếu... Thì... và nguyên tắc triển khai các mệnh đề hợp thành có tên gọi là max – MIN hay sum – MIN...

1.4.3. Những nguyên tắc tổng hợp bộ điều khiển mờ

Trong quá trình xây dựng bộ điều khiển mờ, người thiết kế hệ thống phải đặt câu hỏi làm thế nào để tổng hợp được các bộ điều khiển mờ có chất lượng điều khiển tốt, thỏa mãn các yêu cầu chất lượng đặt ra. Câu trả lời không đơn giản vì cho đến nay vẫn chưa có các nguyên tắc chuẩn mực cho việc thiết kế cũng như khảo sát tính ổn định của hệ thống sử dụng bộ điều khiển mờ.

Việc sử dụng bộ điều khiển mờ cho các hệ thống cần độ an toàn cao vẫn còn bị hạn chế, do những yêu cầu chất lượng và mục đích của hệ thống chỉ có thể xác định và đạt được thông qua thực nghiệm.

1.4.4. Các bước thực hiện khi xây dựng bộ điều khiển mờ

- Định nghĩa tất cả biến vào ra, định nghĩa tập mờ (giá trị ngôn ngữ) cho các biến vào ra
 - Xác định miền giá trị vật lý cho các biến ngôn ngữ vào ra
 - Xác định số lượng tập mờ cần thiết
 - Xác định kiểu hàm thuộc
 - Rời rạc hóa các tập mờ
- Xây dựng các luật điều khiển Nếu ..Thì
- Chọn luật hợp thành
- Giải mờ
- Tối ưu hóa

CHƯƠNG 2.

TỔNG QUAN VỀ LÒ SẤY

2.1. GIỚI THIỆU TỔNG QUAN

Sấy là một trong những khâu quan trọng trong dây chuyền công nghệ, được sử dụng ở nhiều ngành chế biến nông – lâm – hải sản là phương pháp bảo quản sản phẩm đơn giản, an toàn và dễ dàng. Sấy không đơn thuần là tách nước ra khỏi vật liệu ẩm mà là quá trình công nghệ phức tạp, đòi hỏi vật liệu sau khi sấy phải đảm bảo chất lượng theo chỉ tiêu nào đó với mức chi phí năng lượng (điện năng, nhiệt năng) tối thiểu.

Quá trình sấy là quá trình làm khô các vật thể, các vật liệu, các sản phẩm bằng phương pháp làm bay hơi nước ra khỏi VLS. Do vậy, quá trình sấy khô một vật thể diễn biến như sau: Vật thể được gia nhiệt để đưa nhiệt độ lên đến nhiệt độ bão hòa ứng với áp suất của hơi nước trên bề mặt vật thể, vật thể được cấp nhiệt để làm bay hơi ẩm.

2.1.1. Phân loại các thế thống sấy (HTS)

2.1.1.1. HTS tự nhiên

Quá trình phơi vật liệu ngoài trời, không có sử dụng thiết bị. VLS được sấy bằng cách phơi nắng lấy nguồn nhiệt trực tiếp từ mặt trời để làm khô vật liệu cần sấy. Do vậy, HTS này được sử dụng rộng rãi trong chế biến nông sản.

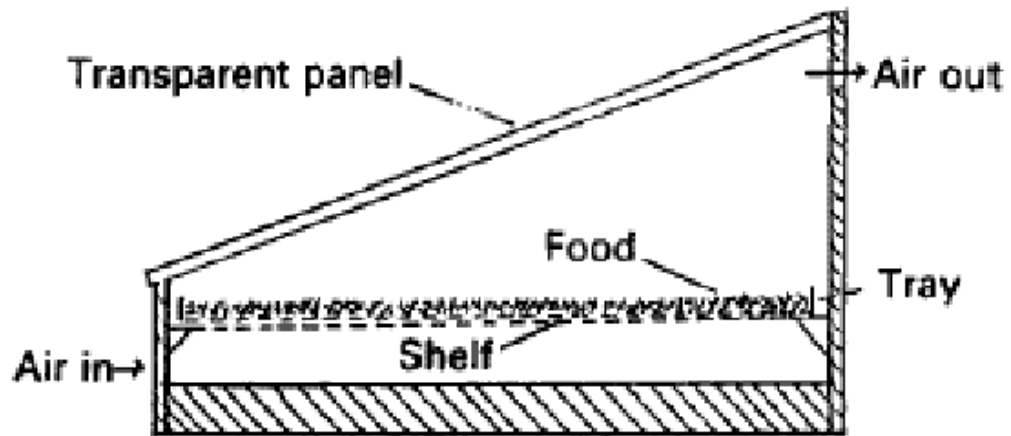
- Ưu điểm

- Công nghệ đơn giản, chi phí đầu tư và vận hành thấp.
- Không đòi hỏi cung cấp năng lượng lớn và nhân công lành nghề.
- Có thể sấy lượng lớn vụ mùa với chi phí thấp.

- Nhược điểm

- Kiểm soát điều kiện sấy rất kém
- Tốc độ sấy chậm hơn so với sấy bằng thiết bị, do đó chất lượng sản phẩm cũng kém và dao động hơn.

- Quá trình sấy phụ thuộc vào thời tiết và thời gian trong ngày.
- Đòi hỏi nhiều nhân công.



Hình 2.1: Mô hình sấy bằng năng lượng mặt trời

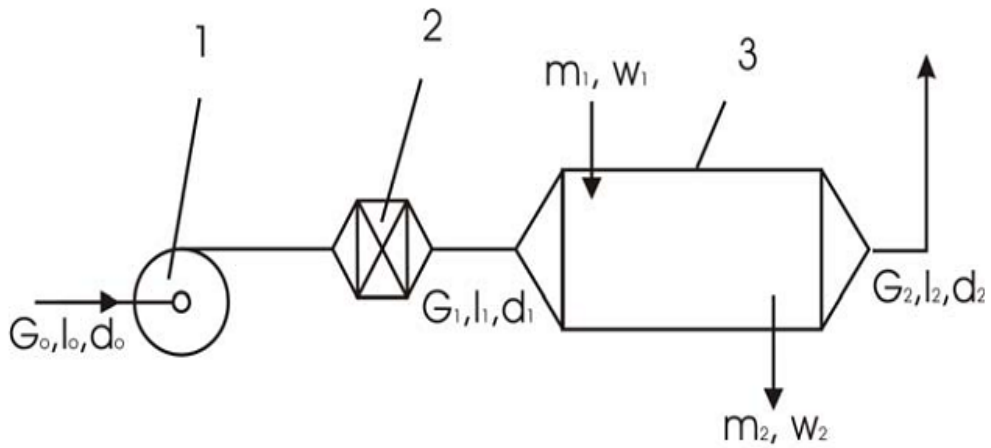
2.1.1.2. HTS nhân tạo

Được thực hiện trong các thiết bị sấy và căn cứ vào phương pháp cung cấp nhiệt, có thể chia ra các loại: Sấy đối lưu, sấy bức xạ, sấy tiếp xúc, sấy thăng hoa, sấy bằng điện trường dòng cao tần, sấy điện trở ...

- Sấy đối lưu

Không khí nóng hoặc khói lò được dùng làm TNS có nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ phù hợp, chuyển động chảy trùn lên vật sấy làm cho ẩm trong vật sấy bay hơi rồi đi theo TNS. Không khí có thể chuyển động cùng chiều, ngược chiều hoặc cắt ngang dòng chuyển động của sản phẩm.

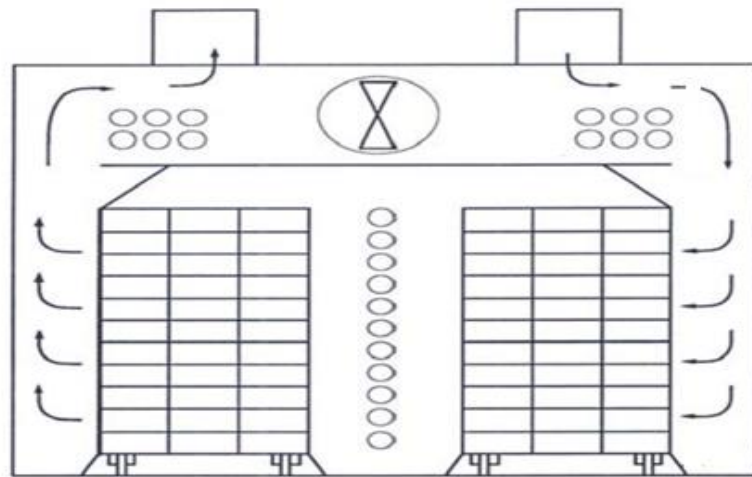
Sấy đối lưu có thể thực hiện theo mẻ (gián đoạn) hay liên tục. Trên hình vẽ dưới là sơ đồ nguyên lý sấy đối lưu bằng dòng không khí nóng.



Hình 2.2: Sơ đồ hệ HTS đối lưu

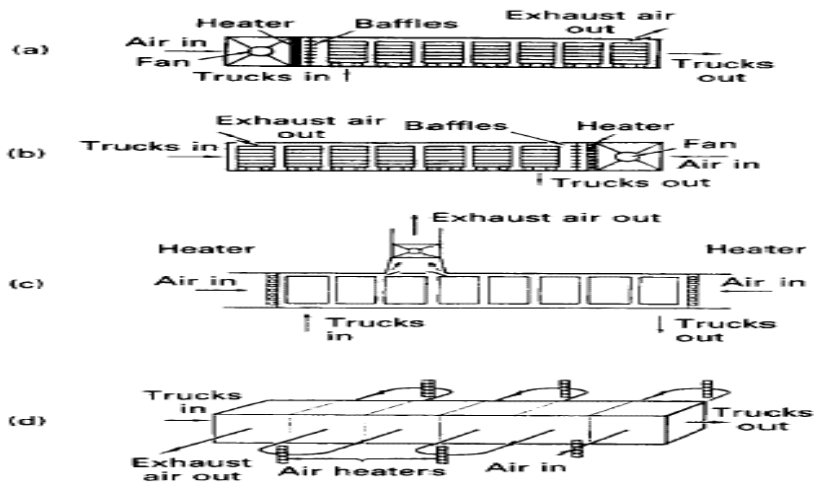
1: Quạt, 2: Calorifer, 3: Buồng sấy

- Sấy buồng: cấu tạo chủ yếu của sấy buồng là buồng sấy. Trong buồng sấy bố trí các thiết bị đỡ vật liệu gọi chung là thiết bị truyền tải (TBTT). Nếu dung lượng buồng sấy bé và TBTT là các khay sấy thì được gọi là tủ sấy. Nếu dung lượng lò sấy lớn và TBTT là xe goòng với các thiết bị chứa vật liệu thì được gọi là HTSB kiểu xe goòng.



Hình 2.3: HTS buồng

- Sấy hầm: là HTS mà thiết bị sấy là một hầm dài, VLS vào đầu này và ra đầu kia của hầm. TBTT trong HTS thường là các xe goòng với các khay chứa VLS hoặc băng tải. Đặc điểm chủ yếu của sấy hầm là bán liên tục và liên tục.



Hình 2.4: Các hình thức chuyển động của TNS trong hầm sấy

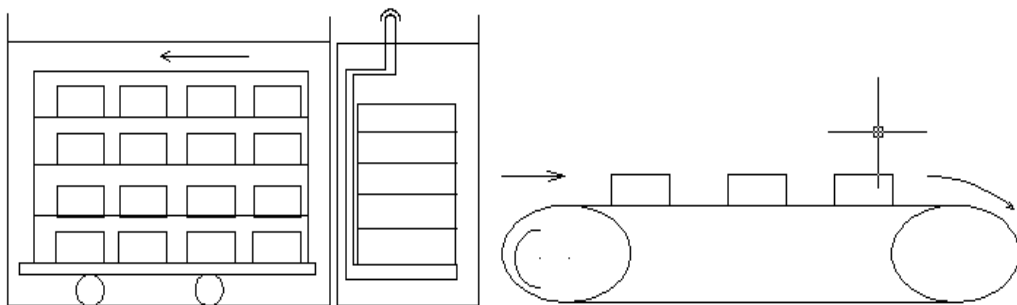
a. HTS cùng chiều

b. HTS ngược chiều

c. HTS kết hợp cùng – ngược chiều

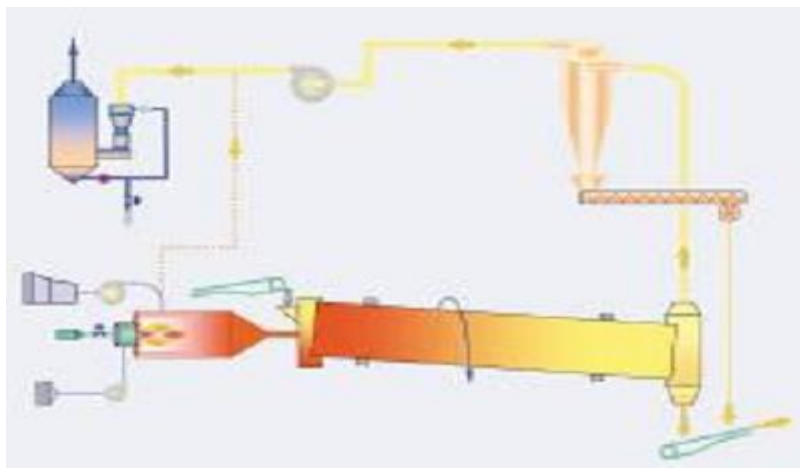
d. HTS cắt ngang-

- Sấy tháp: Đây là HTS chuyên dùng để sấy VLS dạng hạt như thóc, ngô, lúa mì.. HTS này có thể hoạt động liên tục hoặc bán liên tục. TBS trong HTS là một tháp sấy, trong đó người ta đặt một loạt các kênh dẫn xen kẽ với một loạt các kênh thải. VLS đi từ trên xuống và tác nhân sấy (TNS) từ kênh dẫn xuyên qua VLS thực hiện quá trình trao đổi nhiệt - ẩm với vật liệu rồi đi vào môi trường.



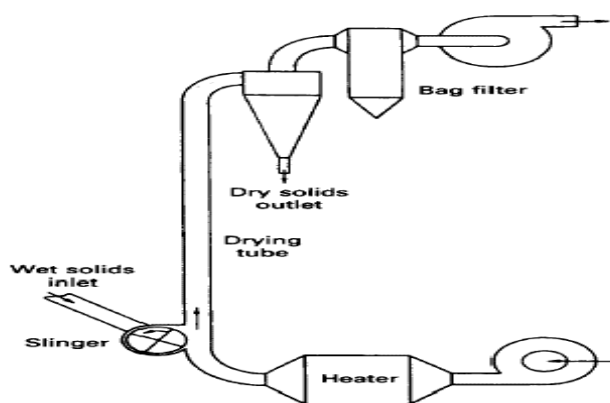
Hình 2.5: HTS kiểu xe gòong và kiểu băng tải

- Sấy thùng quay: Là một HTS chuyên dụng để sấy các VLS dạng cục, hạt, thiết bị sấy ở đây là một hình trụ tròn đặt nghiêng một góc nào đó. Trong thùng sấy có bố trí các cánh xáo trộn hoặc không. Khi thùng sấy quay, VLS dịch chuyển từ đầu này đến đầu kia vừa bị xáo trộn và thực hiện quá trình trao đổi nhiệt - ẩm với dòng TNS.



Hình 2.6: HTS thùng quay

- Sấy khí động: Có nhiều dạng khí động thiết bị sấy trong HTS có thể là một ống tròn hoặc phễu, trong đó TNS có nhiệt độ thích hợp với tốc độ cao vừa làm nhiệm vụ trao đổi nhiệt - ẩm vừa làm nhiệm vụ đưa VLS từ đầu này đến đầu kia của thiết bị sấy.



Hình 2.7: HTS khí động kiểu đứng

- Sấy tầng sôi: Là HTS chuyên dụng để sấy hạt, thiết bị sấy ở đây là một buồng sấy, trong đó vật liệu nằm trên ghi có đục lỗ, TNS có nhiệt độ cao và tốc độ thích hợp đi xuyên qua ghi và làm cho VLS chuyển động bập bùng trên mặt ghi như hình ảnh các bọt nước sôi để thực hiện quá trình trao đổi nhiệt - ẩm.



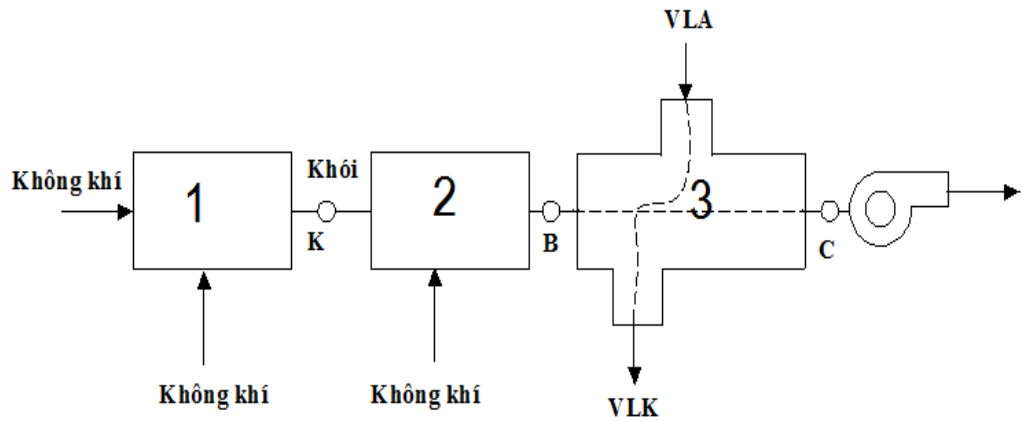
Hình 2.8: HTS tần sôi trong nhà máy đường

- Sấy phun: Là HTS dùng để sấy các dung dịch huyền phù như trong công nghệ sản xuất sữa bột. Thiết bị sấy trong HTS phun là một hình chóp trụ, phần chóp quay xuống dưới. Dung dịch huyền phù được bơm cao áp đưa vào thiết bị tạo sương mù. TNS có nhiệt độ thích hợp đi vào thiết bị sấy thực hiện quá trình trao đổi nhiệt - ẩm với sương mù VLS và thải vào môi trường.

2.1.2. Các dạng lò sấy

2.1.2.1. Lò sấy gia nhiệt bằng khói lò

Trong các HTS, khói lò có thể được dùng hoặc với tư cách là TNS hoặc tư cách là nguồn cung cấp nhiệt lượng để đốt nóng không khí trong các calorifer khí – khói. Khói lò gồm khí khô và hơi nước vốn có trong nhiên liệu và do phản ứng cháy với hydro sinh ra. Hơn nữa khói lò bao giờ cũng chứa một lượng nhất định tro bay theo và những chất độc hại như lưu huỳnh vốn có trong nhiên liệu. Do đó, khói lò chỉ dùng làm TNS trong các trường hợp VLS không sợ bám bẩn như thức ăn gia súc hoặc vật liệu xây dựng.



Hình 2.9: Sơ đồ nguyên lý của HTS dùng khói lò làm TNS

1. Buồng đốt, 2. Buồng hoà trộn, 3. Thiết bị sấy

Ưu điểm sấy bằng khói lò:

- Có thể điều chỉnh nhiệt độ dung môi chất sấy trong một khoảng rất rộng, có thể sấy ở nhiệt độ rất cao $900-1000^{\circ}\text{C}$ và ở nhiệt độ thấp $70-90^{\circ}\text{C}$ hoặc thậm chí $40-50^{\circ}\text{C}$
- Cấu trúc hệ thống đơn giản, dễ chế tạo, lắp đặt.
- Đầu tư vốn ít vì không phải dùng calorife.
- Giảm tiêu hao điện năng, do giảm trở lực hệ thống.
- Nâng cao được hiệu quả sử dụng nhiệt của thiết bị.

2.1.2.2. Lò sấy gia nhiệt bằng hơi nước

Nước được đun nóng thành hơi thông qua lò hơi, hơi quá nhiệt được đưa vào thiết bị trao đổi nhiệt sau đó được quạt gió làm đối lưu không khí làm cho hệ thống trao đổi nhiệt thông qua tiếp xúc với vật liệu cần sấy.

Lò hơi: Là thiết bị sản xuất hơi nước có áp suất và nhiệt độ nhất định. Lò hơi dùng để cung cấp hơi quá nhiệt có áp suất và nhiệt độ cao, cung cấp nhiệt công nghiệp hay dân dụng thường là hơi bão hòa có áp suất thấp (<13 at). Trong đề tài này phân cấp nguồn nhiệt cung cấp chính cho lò sấy chính là lò hơi với áp suất xác định.

Lò sấy đặt thiết bị trao đổi nhiệt là những ống nhiệt đường chạy gấp khúc được đặt trong lò. Ống nhiệt có cấu tạo gồm một đường ống được hàn kín hai đầu, bên trong chứa chất lỏng (hơi nước) thực hiện quá trình chuyển pha là sôi và ngưng. Ống nhiệt được chia thành ba phần.

Phần sôi: Phần này được đốt nóng bằng các nguồn nhiệt khác nhau, chất lỏng trong ống sẽ sôi và tạo thành hơi bão hòa.

Phần đoạn nhiệt: Hơi bão hòa sẽ chuyển động qua phần đoạn nhiệt lên phần ngang. Ở phần này không xảy ra quá trình trao đổi nhiệt.

Phần ngưng: Hơi bão hòa sẽ chuyển động qua phần ngưng trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh và được ngăn lại. Chất lỏng ngưng sẽ quay trở lại phần sôi nhờ lực trọng trường.

2.1.2.3. Lò sấy gia nhiệt bằng nhiệt điện trở

Lò sấy sử dụng năng lượng điện – nhiệt để gia nhiệt của lò sấy. Dòng điện đi qua điện trở của dây dẫn đầu trong mạch điện phát nóng, sau đó được quạt gió thổi lưu tới vật liệu cần sấy.

Do dễ thực hiện và có hiệu suất chuyển đổi khá cao, sấy bằng điện trở ngày càng được nghiên cứu ứng dụng phổ biến trong các ngành kinh tế quốc dân. Các đối tượng cần được sấy trong sản xuất nông nghiệp thường là nước, không khí, sản phẩm nông nghiệp, thực phẩm, thức ăn gia súc, gỗ...

Ưu điểm cơ bản của phương pháp đốt nóng bằng điện là:

- Thao tác và tác động nhanh, dễ điều khiển không chế theo yêu cầu đặc biệt của các công nghệ khác nhau.
- Bỏ qua giai đoạn chuẩn bị (tích nhiệt), tiết kiệm thời gian và công sức.
- Dễ thực hiện tối ưu hoá các quá trình công nghệ nhiệt, nâng cao năng suất, hiệu quả và chất lượng sản phẩm trong trồng trọt, chăn nuôi và chế biến.

Dựa vào đặc điểm và mối quan hệ giữa vật cần đốt nóng và phần tử phát nhiệt, phân biệt làm hai kiểu đốt nóng trực tiếp (đối tượng cần đốt nóng cho dòng điện đi qua trực tiếp phát nhiệt) và đốt nóng gián tiếp (đối tượng phát nóng riêng biệt - dòng điện không đi qua vật cần đốt nóng).

Nhiệt lượng phát ra từ các phần tử điện trở phát nhiệt bằng điện được tính theo công thức:

$$Q = I^2 R t \quad (2.1)$$

trong đó:

Q - nhiệt lượng toả ra, J

I - dòng điện chạy qua sợi đốt kiểu điện trở, A

R - điện trở của phần tử phát nhiệt, Ω

t - thời gian làm việc, s

Thiết bị chuyển đổi điện năng thành nhiệt năng bằng điện trở thông thường gồm có ba bộ phận chủ yếu như phần tử đốt nóng, vỏ cách điện và thiết bị điều khiển.

a) Phần tử phát nhiệt bằng kim loại

Phần tử phát nóng bằng kim loại có cấu trúc hở hoặc kín trong vỏ bọc bằng gốm, thạch anh hoặc kim loại. Vật liệu điện trở phải có nhiệt độ làm việc dài hạn cao, ổn định, có điện trở suất cao, hệ số thay đổi vì nhiệt thấp, tốc độ ôxy hoá bề mặt sợi đốt chậm, chống chịu hoá chất, chất cách điện và dầu mỡ. Vật liệu làm phần tử phát nhiệt không quá đắt, dễ chế tạo.

Nhóm vật liệu sau đây cho trong bảng 2.1 đáp ứng tốt các yêu cầu trên được sử dụng khá phổ biến.

Bảng 2.1 - Nhóm vật liệu chế tạo phần tử đốt nóng

STT	Ký mã hiệu	Điện trở suất ở nhiệt độ 20 ⁰ C, $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	Nhiệt độ cho phép, ⁰ C	
			Giới hạn	Tối ưu
1	X25H20 (Crôm - Sắt tăng cường)	1	900	800
2	X15H60 (Crôm ba)	1,1	1000	900
3	X20H80 (Crôm hai)	1,11	1100	1000
4	X20H80 (Crôm hai với Titan)	1,27	1150	1000

Nhiệt độ nóng chảy của Crôm là $1390 - 1400^{\circ}\text{C}$, khối lượng riêng $8,2 \div 8,4\text{g/cm}^3$, hệ số nhiệt độ, $0,09 \times 10^{-3}$ đến $0,35 \times 10^{-3}$ (mác X25H20).

Nhóm vật liệu hai hợp kim Sắt - Crôm - Nhôm (Phekhral) với thành phần Fe: 70 - 75%, Cr: 12 - 15%, Al: 3,5 - 5,5% có nhiệt độ làm việc đến 700°C . Nhóm Kantal có thành phần Fe: 72%, Cr: 20%, Al: 5%, Co: 3% có nhiệt độ cho phép đến 1300°C .

Nhóm vật liệu thứ ba, hợp kim Constant chứa Đồng - Niken - Constant phù hợp cho dải nhiệt độ thấp dưới $100 \div 350^{\circ}\text{C}$.

Nhóm Molipden và nhóm Wolfram có nhiệt độ làm việc đến 2000°C và 3000°C .

Trong thiết kế thiết bị phát nhiệt thông thường sử dụng các công thức tính toán sau:

Nhiệt lượng của một sợi đốt q (W), tính theo biểu thức

$$q = \alpha \cdot C \cdot l \cdot \theta \quad (2.2)$$

trong đó:

α - hệ số truyền nhiệt, $\text{W/m}^2\text{K}$;

l, d, C - chiều dài, đường kính và chu vi sợi đốt (dây điện trở), m;

θ - nhiệt độ sợi đốt, K.

Công suất tiêu thụ P (W) được tính theo công thức

$$P = p \cdot C \cdot l \quad (2.3)$$

trong đó:

p - công suất riêng bề mặt sợi đốt, W/m^2

Đường kính dây điện trở sợi đốt, tính theo biểu thức

$$d_d = 0,74 \sqrt{\left(\frac{P}{U}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{p}} \quad (2.4)$$

trong đó:

ρ - điện trở suất của dây điện trở sợi đốt, $\Omega \cdot \text{m}$;

Thông thường đường kính ngoài của lò xo dây điện trở chọn trong khoảng $D_{ng} = (5 \div 8)d$, nhưng đường kính trung bình D_{tb} không nhỏ hơn 15mm; bước lò xo $h > d$, nhưng không nhỏ hơn 8mm; số vòng lò xo $w = l/h$, với l và l_w ký hiệu chiều dài của toàn bộ và chiều dài dây điện trở của một vòng lò xo. Chiều dài của lò xo $L = w.h$.

Có thể xác định số vòng lò xo theo công thức sau:

$$W = \frac{1000.1}{\sqrt{h^2 + (\pi D_{tb})^2}} \quad (2.5)$$

Ngoài các phần tử đốt để trần trong thực tiễn phổ biến các sợi đốt dạng ống dễ sử dụng và an toàn hơn, có tuổi thọ đến $10^4 h$, đặc biệt là sợi đốt dạng ống trong bình nấu hơi nước, thiết bị Karapu, thiết bị bức xạ nhiệt...

b) Phần tử đốt nóng phi kim loại

Thường sử dụng các thanh đốt Silic (SiC) dạng que hay ống (giòn, dễ vỡ) có thể đốt nóng đến $1450^{\circ}C$. Đến $800^{\circ}C$ hệ số nhiệt của phần tử đốt này âm, ở nhiệt độ trên $800^{\circ}C$ hệ số nhiệt của nó dương. Để duy trì nhiệt độ xác định cần tăng điện áp cung cấp bằng biến áp điều chỉnh (vì công suất, tỉ lệ với bình phương điện áp: $P = U^2/R$). Phần tử Kantal - Super làm từ $MoSi_2$ làm việc trong chân không hầu như không bị ôxy hoá, giòn dễ vỡ, có thể làm việc đến $1600 \div 1700^{\circ}C$. Đặc tính ổn định, có hệ số nhiệt dương, tăng nhanh khi nhiệt độ tăng.

Các phần tử đốt nóng phi kim loại (gốm hoặc gốm kim loại) được chế tạo theo công nghệ đặc biệt. Trên nhãn có ghi công suất, điện áp, dòng điện làm việc và điện trở, kích thước. Khi tính công suất chỉ cần tổ hợp (nối tiếp hoặc song song). Số lượng phần tử đốt được xác định theo biểu thức:

$$n = \frac{l}{a} - 1 \quad (2.6)$$

Trong đó:

n - số phần tử phát nhiệt;

l - chiều dài làm việc của phần tử m ;

a - khoảng cách bố trí, chọn $a = 4d$ (đường kính thanh/ống phát nhiệt).

Kiểm tra sức tải nhiệt bề mặt cho phép đối với thanh đốt Silit theo điều kiện:

$$P_s = P_0/\pi.d.l \quad (2.7)$$

Trong đó:

P_0 - Công suất của một thanh điện trở (phần tử phát nhiệt):

tại $1100 \div 1200^\circ\text{C}$: $P_s \leq 22\text{W}/\text{cm}^2$,

tại $1250 \div 1300^\circ\text{C}$: $P_s \leq 16\text{W}/\text{cm}^2$,

tại $1250 \div 1400^\circ\text{C}$: $P_s \leq 6\text{W}/\text{cm}^2$.

Từ đó xác định công suất toàn phần:

$$P_{tp} = N.P_0 \quad (2.8)$$

Trong các thiết bị gia nhiệt, nhiệt độ cao thường sử dụng chất cách nhiệt như azbest, Cliuđa, cát thạch anh, oxit magie, đáp ứng các yêu cầu trên, nhiệt độ làm việc đến 1000°C , sau oxit magie là oxit nhôm.

c) Tính chọn sợi đốt và quạt gió cho máy sấy

Theo mục đích và chất lượng nông - lâm sản mà xác định nhiệt độ sấy cho thích hợp. Thông thường, chọn nhiệt độ sấy cao hơn nhiệt độ môi trường không khí khoảng $3 \div 30^\circ\text{C}$ (trong một số trường hợp, nhiệt độ sấy cao hơn 80°C). Quạt gió được tính toán và chọn theo các thông số lưu lượng và cột áp không khí. Lượng không khí cần thiết để làm bay hơi nước trong nguyên VLS nông sản, tính theo công thức

$$V = \frac{B_{bh}}{\delta}, \quad \text{với } B_{bh} = \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{100 - \varphi_2} m_1 \quad (2.9)$$

trong đó:

V - lượng không khí, m^3 ;

B_{bh} - lượng hơi cần làm bay hơi, kg;

m_1 - khối lượng nông sản đưa vào sấy, t;

φ_1, φ_2 - ẩm độ tương đối của nguyên vật liệu trước và sau khi sấy, %;

δ - Khả năng chứa ẩm của không khí, g/m^3 (tra bảng xác định theo biểu đồ i-d, ứng với độ ẩm không khí tương ứng.

Năng suất quạt (lưu lượng không khí) L (m^3/h), tính theo biểu thức:

$$L = \frac{V}{t_c} \quad (2.10)$$

trong đó:

t_c - Thời gian sấy cần thiết

Cột áp của quạt H (m), xác định theo công thức:

$$H = H_v + H_1 + H_2 + H_{ll} \quad (2.11)$$

trong đó:

H_v - Cột áp vận tốc, $H_v = \frac{\gamma v^2 h_{lh}}{2g}$

γ - tỷ trọng không khí (tại nhiệt độ $95^{\circ}C$: $\gamma_{95} = 0,95$), kg/m^3 ;

h_{lh} - áp suất bão hoà không khí ở nhiệt độ xác định;

v - tốc độ luồng không khí (TNS), chọn bằng $3 \div 10m/s$;

H_{v1} - tổn thất cột áp qua lớp VLS, m;

H_o - tổn thất cột áp trên thành ống ($H_o = 4\rho' \frac{L_T}{d_T} \cdot H_{v1}$), m;

ρ' - hệ số ma sát, đối với ống bằng kim loại và bằng gỗ: $\rho' = 0,0034$;

d_T, L_T - đường kính và chiều dài ống, m;

$H_2 = \mu H_v$ - tổn thất cột áp tại các cở cong (μ - hệ số thực nghiệm).

Công suất động cơ quạt $P_1(W)$ được xác định theo biểu thức:

$$P_1 = \frac{L.H.k_z}{102.3.6.10^3 \eta_{td} \eta_q} \quad (2.12)$$

Trong đó:

L - năng suất quạt, m^3/h ;

H - cột áp, m;

k_z - hệ số dự trữ ($k_z = 1,1 \div 1,5$);

η_{td} - hiệu suất..

η_q - hiệu suất quạt gió (chọn $\eta_q = 0,4 \div 0,6$).

Xác định nhiệt lượng tính toán

$$Q_{tt2} = m_1 \cdot p \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{100 - \varphi_2} \quad (2.13)$$

trong đó:

p - nhiệt lượng hoá hơi nước ($p = 2674 \text{kJ/kg}$);

Nhiệt lượng của thiết bị gia nhiệt được xác định theo công thức

$$Q_k = \frac{B_{bh} \cdot p}{\eta_m \eta_k} \quad (2.14)$$

trong đó:

η_m - hiệu suất của máy sấy ($\eta_m = 0,5 \div 0,7$);

η_k - hiệu suất của thiết bị phát nhiệt ($\eta_k = 0,9 \div 0,98$).

Công suất thiết bị điện cung cấp nhiệt (Kaloripher) P_2 , W được xác định theo biểu thức

$$P_2 = \frac{Q_k}{3600 \eta_k} \quad (2.15)$$

Công suất của một phần tử phát nhiệt P_{pt} , tính theo công thức

$$P_{pt} = \frac{P_2}{3n} \quad (2.16)$$

trong đó: n - số phần tử nhiệt (điện trở) đấu song song.

Dòng làm việc qua mỗi sợi đốt (phần tử phát nhiệt), tính theo công thức

$$I_{pt} = \frac{P_{pt}}{U_{pt}} \quad (2.17)$$

Chọn đường kính sợi đốt bằng dây điện trở Crôm-niken , trên cơ sở dòng điện và nhiệt độ làm việc của dây điện trở theo thiết kế: từ 200 °C đến 800°C (Bảng 2.2). Thông thường, chọn nhiệt độ làm việc 600°C, và nếu dòng điện làm việc tính toán (theo thiết kế) là 5,4A, tra bảng chọn dây Crôm-niken đường kính 0,6 mm, tiết diện 0,283 mm².

Bảng 2.2 - Hướng dẫn chọn dây điện trở Crôm-niken theo dòng điện và nhiệt độ làm việc

Dòng điện và nhiệt độ làm việc của sợi dây điện trở, °C				Tiết diện dây dẫn	Đường kính dây dẫn
200	400	600	800		
1,00	1,63	2,13	2,78	0,0707	0,3
1,50	2,35	3,10	4,05	0,1257	0,4
1,95	3,15	4,20	5,45	0,1963	0,5
2,48	4,00	5,40	7,05	0,2827	0,6
3,00	4,90	6,64	8,75	0,3848	0,7
3,55	5,80	7,95	10,50	0,5027	0,8
4,10	6,80	9,40	12,40	0,6362	0,9
4,70	7,80	10,90	14,40	0,7854	1,0
5,90	9,80	13,70	18,70	1,1310	1,2
7,30	12,00	17,00	23,20	1,5394	1,4
8,70	14,40	20,20	27,80	2,0106	1,6
10,20	17,00	23,80	32,70	2,5447	1,8
11,90	19,70	27,60	37,90	3,1416	2,0

15,40	25,40	35,70	48,70	4,5239	2,4
19,30	31,50	44,50	60,00	6,1575	2,8

Xác định chiều dài dây điện trở của một phần tử phát nhiệt, theo biểu thức:

$$l_{pt} = \frac{3600P_{pt}}{\pi d \alpha [t_{pt} - 0,5(t_2 + t_1)]} \quad (2.18)$$

trong đó:

t_{pt} - nhiệt độ phần tử phát nhiệt, $^{\circ}\text{C}$;

t_1, t_2 - nhiệt độ lớn nhất và bé nhất của không khí trong dải làm việc, $^{\circ}\text{C}$.

α - hệ số truyền nhiệt đối lưu, $\text{kJ/h.m}^2.{}^{\circ}\text{C}$.

$$\alpha = 11,3 \sqrt{\frac{v}{d}}; \quad \text{với } v = \frac{V}{3600F_k}, \quad (\text{thông thường } v = 5 \div 10 \text{ m/s})$$

trong đó:

V - lượng không khí đi qua các phần tử phát nhiệt, m^3/h ;

F_k - mặt cắt ngang của buồng phát nhiệt, m^2 .

Số vòng của cuộn dây sợi đốt tính theo mục a.

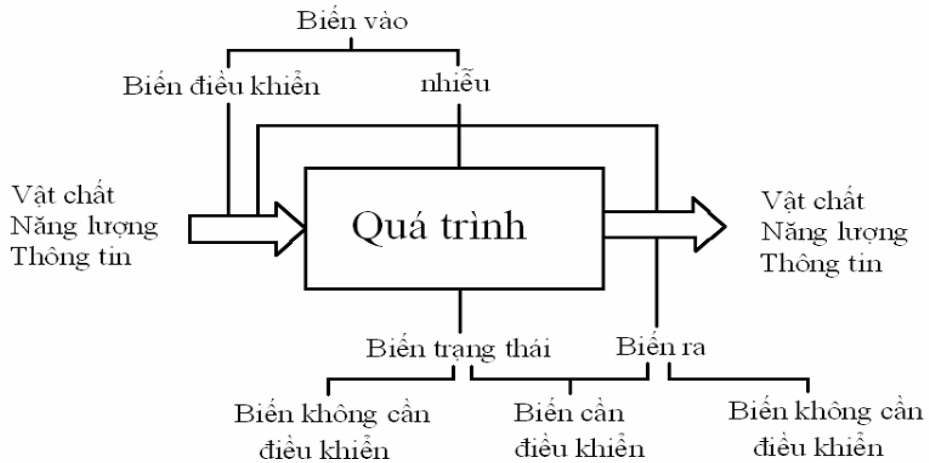
2.2. ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH

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 đảm bảo chất lượng sản phẩm, hiệu quả sản xuất và an toàn cho con người, máy móc và môi trường.

2.2.1. Quá trình và các biến quá trình

Quá trình là một trình tự các biểu diễn vật lý, hoá học hoặc sinh học, trong đó vật chất, năng lượng hoặc thông tin được biến đổi, vận chuyển hoặc lưu trữ. Quá trình công nghệ là những quá trình liên quan đến biến đổi, vận chuyển hoặc lưu trữ vật chất và năng lượng, nằm trong dây chuyền công

nghệ hoặc một nhà máy sản xuất, năng lượng. Quá trình kỹ thuật là quá trình với các đại lượng kỹ thuật được đo hoặc được can thiệp.



Hình 2.10: Quá trình và phân loại quá trình

Trạng thái hoạt động và diễn biến của một quá trình thể hiện qua các biến quá trình. Biến vào là một đại lượng hoặc một điều kiện phản ánh tác động từ bên ngoài vào quá trình. Biến ra là một đại lượng hoặc một điều kiện để thực hiện tác động của quá trình ra bên ngoài, một góc nhìn từ lý thuyết hệ thống thì biến ra thể hiện nguyên nhân, thì biến vào thể hiện kết quả. Bên cạnh biến ra và biến vào còn có biến trạng thái. Các biến trạng thái mang thông tin về trạng thái bên trong quá trình, ví dụ như nhiệt độ lò, áp suất hơi hoặc mức chất lỏng, hoặc cũng có thể là dẫn xuất từ các đại lượng đặc trưng khác như (tốc độ) biến thiên nhiệt độ, áp suất hoặc mức.

Nhiệm vụ của điều khiển quá trình là can thiệp các biến vào của quá trình một cách hợp lý để các biến ra của nó thoả mãn các chỉ tiêu cho trước, đồng thời giảm thiểu xấu của quá trình kỹ thuật đối với con người và môi trường xung quanh.

Biến cần điều khiển: (Controlled variable, VC) là một biến ra hoặc là một biến trạng thái của quá trình được điều khiển, điều chỉnh sao cho gần với một giá trị mong muốn hay giá trị đặt (Set point ,SP) hoặc bám theo biến chủ đạo / tín hiệu mẫu (command variable/ reference signal).

Biến điều khiển: (manipulated variable, MP) là một biến vào của quá trình có thể can thiệp trực tiếp từ bên ngoài, qua đó tác động tới biến ra theo ý

muốn. Trong điều khiển quá trình thì lưu lượng là biến điều khiển tiêu biểu nhất.

Các biến còn lại không can thiệp trực tiếp hay gián tiếp trong phạm vi quá trình đang quan tâm được gọi là nhiễu. Nhiễu tác động gồm có nhiễu quá trình (disturbance) và nhiễu đo (noise). Nhiễu quá trình là những biến vào tác động lên quá trình kỹ thuật một cách cố hữu nhưng không can thiệp được, còn nhiễu đo hay nhiễu tạp là nhiễu tác động lên phép đo, gây ra sai số trong giá trị đo được.

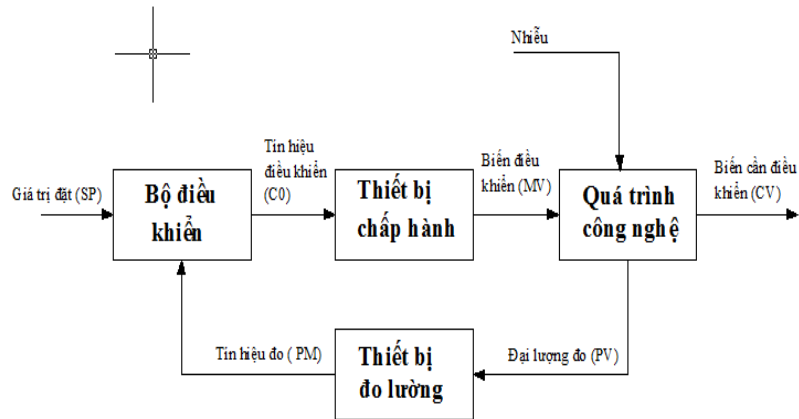
2.2.2. Đặc điểm của điều khiển quá trình

- Là khâu có quán tính lớn.
- Xảy ra liên tục không ngừng nghỉ, thời gian điều khiển lớn.
- Có thời gian trễ lớn: thời gian trễ là thời gian không mong muốn. Ở chỗ nào có thể, không nên đưa nhiều thời gian trễ nhiều vào vòng lặp. Nếu chúng ta chưa điều chỉnh cho quá trình nơi vẫn tồn tại thời gian trễ, chúng ta không thể bỏ qua nó. Đặt vòng điều khiển để tối thiểu hoá giá trị mà không cần thêm thời gian trễ cho quá trình.
- Có tồn tại khâu tích phân
- Có nhiều điều khiển xen kẽ: điều khiển đại lượng này nhưng lại gây ảnh hưởng đến đại lượng khác.
- Là hệ thống đa thông số, với hệ thống nhiều đầu vào ra (MIMO), nhiều mạch vòng điều chỉnh.
- Là hệ có thông số, các thông số biến thiên lớn. Đo tham số rất khó khăn và phức tạp nên phải có cách đo thích hợp.
- Phần lớn các đối tượng điều khiển là phi tuyến. Hệ có tính phi tuyến, đặc tính thay đổi như độ mở van của thiết bị vận hành.

2.2.3. Các thành phần cơ bản của một hệ thống

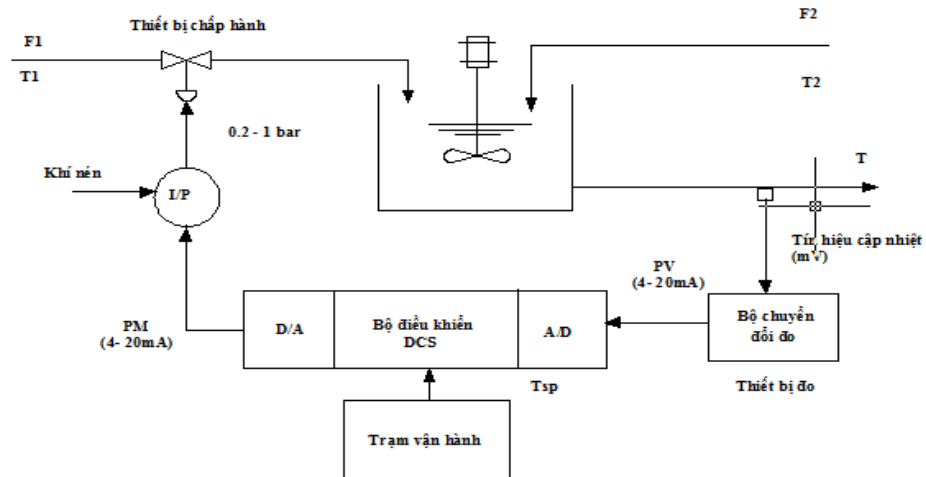
Tuỳ theo quy mô và mức độ tự động hoá, các hệ thống điều khiển quá trình công nghiệp có thể từ đơn giản đến phức tạp, nhưng chúng đều dựa vào ba thành phần cơ bản là thiết bị đo, thiết bị chấp hành và thiết bị điều khiển.

Chức năng của mỗi thành phần hệ thống và quan hệ của chúng được thể hiện một cách trực quan với sơ đồ khối hình 2.11.



Hình 2.11: Các thành phần cơ bản của một hệ thống điều khiển quá trình

Giá trị đặt (Set point: SP), tín hiệu điều khiển (Control signal: CO), biến điều khiển (Manipulated: MV), biến cần điều khiển (Controlled variable: CV), đại lượng đo (Process value: PV), tín hiệu đo (Process Measurement: PM).



Hình 2.12: Các thành phần trong điều khiển nhiệt độ

Nhiệt độ chất lỏng ra khỏi bình (T) được đo bằng cặp cảm biến cặp nhiệt, tín hiệu điện áp ra được một bộ chuyển đổi chuẩn (transmitter) chuyển sang tín hiệu chuẩn dòng dòng 4 – 20 mA và đưa tới bộ điều khiển DCS (Distributed Control System). Tín hiệu đo tương tự 4- 20 mA phải được

chuyển sang tín hiệu số (khâu biến đổi A/D) trước khi được xử lý tiếp trong máy tính số. Giá trị nhiệt độ mong muốn (T_{SP}) được người vận hành đặt tại trạm vận hành. Qua so sánh giữa giá trị đo và giá trị mong muốn, chương trình điều khiển tính toán giá trị biến thiên điều khiển theo một thuật toán đã được cài đặt. Ví dụ với thuật toán tỉ lệ, giá trị biến điều khiển sẽ tỉ lệ thuận với biến sai lệch. Giá trị này được khâu biến đổi số - tương tự (D/A) chuyển thành tín hiệu điều khiển theo chuẩn dòng điều khiển 4 – 20 mA để đưa xuống van điều khiển (thiết bị chấp hành). Cuối cùng, tín hiệu điều khiển được qua khâu I/P thành tín hiệu khí nén 0.2 – 1 bar để thay đổi độ mở van cấp dòng nóng. Lưu lượng dòng nóng F_1 được thay đổi và thông qua đó để điều chỉnh nhiệt độ ra T tới giá trị đặt T_{SP} .

2.3. MÔ HÌNH HÓA ĐỐI TƯỢNG Lò SẤY

2.3.1. Phương trình trạng thái của hệ thống

Từ phương trình không gian trạng thái của hệ m bậc tự do ở dạng vi phân:

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= \dot{x}(t) = \phi[x(t), u(t)], \\ y(t) &= \psi[x(t)], \end{aligned} \quad (2.19)$$

trong đó:

$u(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)]^T$ là p biến tín hiệu vào.

$x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ là n biến trạng thái.

$y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)]^T$ là m biến tín hiệu ra.

Với yêu cầu thoả mãn điều kiện ổn định, điều khiển được, quan sát được.

Nếu $u(t)$, $x(t)$, $y(t)$ là các biến dạng rời rạc thì phương trình (2.19) có thể viết như sau:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \Phi[x(k), u(k)], \\ y(k+1) &= \Psi[x(k)]. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Với hệ tuyến tính:

$$\begin{aligned}x(k+1) &= A.x(k) + Bu(k), \\y(k+1) &= C.x(k+1),\end{aligned}\tag{2.21}$$

trong đó : Φ ma trận phi tuyến bậc $(n \times p)$, Ψ véc tơ phi tuyến bậc m , A, B, C các ma trận tuyến tính bậc $(n \times n)$, $(n \times p)$, $(m \times n)$. Với các hệ tuyến tính, phương trình (2.21) với tín hiệu ra $y_p(k+1)$ là tổng hợp giá trị quá khứ của các tín hiệu vào $u(k-j)$ và tín hiệu ra $y_p(k-j)$ được viết dạng:

$$y_p(k+1) = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i y_p(k-i) + \sum_{j=0}^{m-1} \beta_j u(k-j),\tag{2.22}$$

trong đó: α_i, β_j các hệ số chưa biết ($m \leq n$). Với các hệ phi tuyến phương trình (2.19) có thể viết dạng sau:

$$y(k+1) = f\left(\begin{array}{l} y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1) \\ u(k+1), u(k), \dots, u(k-m+1) \end{array}\right)\tag{2.23}$$

Ở đây f là hàm phi tuyến của $y(k)$ và $u(k)$. Phương trình (2.23) có bốn dạng biểu diễn cụ thể hơn ($m \leq n$):

Dạng 1:

$$y_p(k+1) = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i y_p(k-i) + g[u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]\tag{2.24}$$

Dạng 2:

$$y_p(k+1) = f[y_p(k), y_p(k-1), \dots, y_p(k-n+1)] + \sum_{j=0}^{m-1} \beta_j u(k-j),\tag{2.25}$$

Dạng 3:

$$\begin{aligned}y_p(k+1) &= \\& f[y_p(k), y_p(k-1), \dots, y_p(k-n+1)] + g[u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)],\end{aligned}\tag{2.26}$$

Dạng 4:

$$\begin{aligned}y_p(k+1) &= \\& f[y_p(k), y_p(k-1), \dots, y_p(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)],\end{aligned}\tag{2.27}$$

trong đó: $u(k), y_p(k)$ là cặp tín hiệu vào ra của hệ thống tại thời điểm k .

2.3.2. Mô hình toán học của lò sấy

Dựa vào số mô hình toán học và số liệu thu thập từ lò sấy thực tế ta có mô hình toán học sau:

$$T(k) = T(k-1) + \Delta t \left(\frac{kv(k-5)}{V_{ls}} (T_0 - T(k-1)) + \frac{U}{\rho V_{ls} c_p} (T_1 - T(k-1)) + \frac{G}{\rho V_{ls} c_p} u^2(k-4) + \frac{Q}{\rho V_{ls} c_p} \right) \quad (2.28)$$

Ở đây ta đặt: $T(k) = y(k)$

- Δt : thời gian lấy mẫu (s)
- k : hệ số truyền nhiệt (1/s)
- T_0 : Nhiệt độ môi trường $^{\circ}\text{C}$
- T_1 : Nhiệt độ thiết bị đo $^{\circ}\text{C}$
- U : hệ số truyền nhiệt ($\text{J}^{\circ}\text{C s}$)
- ρ : Khối lượng riêng của không khí (kg/l)
- V_{ls} : Thể tích của lò (l)
- C_p : Nhiệt dung riêng của không khí (J/g C)
- G : Điện dẫn (Ω^{-1})
- Q : Nhiệt lượng (J)

Viết lại mô hình lò sấy như sau:

$$y(k+1) = y(k) + \Delta t \left(\frac{kv(k-4)}{V} (T_0 - T(k)) + \frac{U}{\rho V c_p} (T_1 - T(k)) + \frac{G}{\rho V c_p} u^2(k-3) + \frac{Q}{\rho V c_p} \right) \quad (2.29)$$

CHƯƠNG 3.

ỨNG DỤNG LOGIC MỜ ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH NHIỆT LÒ SẤY

3.1. MÔ HÌNH TOÁN HỌC LÒ SẤY

$$y(k+1) = y(k) + \Delta t \left(\frac{kv(k-4)}{V} (T_0 - T(k)) + \frac{U}{\rho V c_p} (T_1 - T(k)) + \frac{G}{\rho V c_p} u^2(k-3) + \frac{Q}{\rho V c_p} \right) \quad (3.1)$$

Thu thập các số liệu tại lò sấy gỗ dựa trên thực tế và tham khảo qua internet ta có các số liệu sau:

- Chiều cao lò sấy: $H_{ls} = 4,1$ (m)
- Chiều rộng lò sấy: $R_{ls} = 4,1$ (m)
- Chiều dài lò sấy: $L_{ls} = 6,1$ (m)
- Khối lượng riêng không khí: $\rho = 1,2$ (g/l)
- Thời gian lấy mẫu: $\Delta t = 0,5$ (s)
- Nhiệt dung riêng không khí: $C_p = 1,025$ (J/g 0 C)
- Thể tích của lò sấy: $V = R_{ls}.H_{ls}.L_{ls}.1000$ (l)
- Mật độ truyền nhiệt/thời gian: $U = 9000$ (J/K s)
- Điện áp: $U_p = 220/380$ (V)
- Nhiệt lượng yêu cầu: $Q = 50000$ (kJ/h)
- Hiệu suất của thiết bị cấp nhiệt: $\eta_k = 0,95$
- Công suất của thiết bị đốt nóng: $P = \frac{Q}{3600.\eta_k} = \frac{50000}{3600.0,95} = 14,6$ kW
- Nếu bố trí mỗi pha hai phần tử đốt nóng (hai cuộn dây điện trở), công suất của mỗi phần tử: $P_{pt} = \frac{14,6}{3.2} = 2,43$ kW
- Dòng điện qua mỗi phần tử đốt nóng: $I_{pt} = \frac{P_{pt}}{U_{pha}} = \frac{2,43}{220} = 11,1$ A

Giả sử chọn dây crôm-niken với nhiệt độ đốt nóng 600°C , tra bảng (1.2) ta có: đường kính dây điện trở $d = 1,0 \text{ mm}$ (tiết diện $0,7854 \text{ mm}^2$). Chọn tốc độ gió 5 m/s , tính gần đúng hệ số truyền nhiệt đối lưu:

$$\alpha = 11,3 \sqrt{\frac{5000}{1,0}} = 799 \text{ kJ/h.m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

- Chiều dài sợi dây điện trở:

$$l_{pt} = \frac{3600 \cdot P_{pt}}{\pi d \alpha [600 - 0,5(50 + 70)]} = \frac{3600 \cdot 2,431000}{3,141,0799 \cdot 540} = 6,457 \text{ (m)}$$

- Chiều dài toàn bộ dây điện trở: $L = 3 \cdot n \cdot 6,457 = 3 \cdot 2 \cdot 6,457 = 38,74 \text{ (m)}$

- Tính bước lò xo: $h = (2 \div 4)d = 2 \div 4 < 8 \text{ mm}$, chọn $h = 8 \text{ mm}$.

- Tính đường kính trung bình của lò xo: $D_{tb} = (5 \div 8)d = 5 \div 8 < 15 \text{ mm}$, chọn $D_{tb} = 15 \text{ (mm)}$

- Xác định số vòng dây trong một phần tử phát nhiệt (cuộn dây điện trở)

$$w = \frac{1000 l_{pt}}{\sqrt{h^2 + (\pi D_{tb})^2}} = \frac{1000 \cdot 6,457}{\sqrt{8^2 + (3,1415^2)}} = 135$$

- Chiều dài của lò xo sợi đốt (phần tử phát nhiệt): $L_{PT} = 1000 \cdot h \cdot w = 1,08 \text{ (m)}$

- Hệ số truyền nhiệt : $k = Q/(d \cdot C_p \cdot (70-50)) = 2,103 \text{ (l/s)}$

- Nhiệt trở suất của hợp kim Crom và Niken : $r_0 = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ (}\Omega \cdot m\text{)}$

- Tiết diện dây: $S = 2,0106 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}$

- Điện trở dây : $R_d = (r_0 \cdot L_{pt})/S \text{ (}\Omega\text{)}$

- Mật độ truyền nhiệt theo thời gian: $U = 9000 \text{ (J/}^{\circ}\text{C s)}$

- Điện dẫn: $G = 1/R_d \text{ (}\Omega^{-1}\text{)}$

- Từ biểu thức (3.1) biến đổi và rút gọn ta được mô hình sau:

$$y(k+1) = y(k) \cdot \left(1 - \frac{U}{\rho V C_p}\right) + \Delta t \cdot \frac{k}{V} T_0 v(k-4) - \Delta t \cdot \frac{k}{V} \cdot v(k-4) \cdot y(k) + \frac{G}{\rho V C_p} \cdot u^2(k-3) + \frac{U}{\rho V C_p} T_1 + \frac{Q}{\rho V C_p} \quad (3.2)$$

- Ta đặt: $T = \Delta t$ (thời gian lấy mẫu)
- $a = (1 - U / (p \cdot V \cdot C_p))$
- $b = (T \cdot k \cdot T_0) / V$
- $c = (T \cdot k) / V$
- $d = G / (p \cdot V \cdot C_p)$
- $e = (U \cdot T_1) / (p \cdot V \cdot C_p) + Q / (p \cdot V \cdot C_p)$
- Thay các thông số vào ta có phương trình rút gọn sau:

$$y(k+1) = a \cdot y(k) + b \cdot v(k-4) - c \cdot v(k-4) \cdot y(k) + d \cdot u^2(k-3) + e \quad (3.3)$$

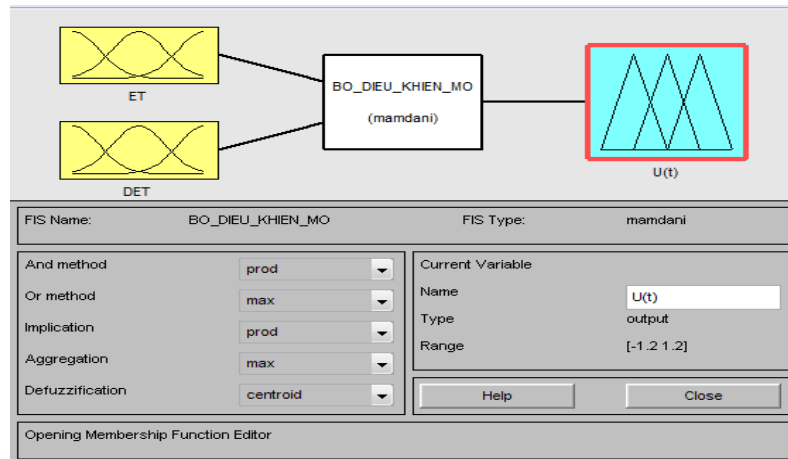
Phương trình (3.3) là một phương trình phi tuyến có tính trễ bậc 3. Cho v là một hằng số mở van với hằng số 55^0 . Mô hình lò sấy được mô tả là một hàm phi tuyến với mối quan hệ :

$$y(k+1) = f(y(k), u(k-3)) \quad (3.4)$$

Thay các tham số a, b, c, d, e từ m.file ta có mô hình toán học hoàn chỉnh

$$y(k+1) = 0,9286 \cdot y(k) + 0,4955 \cdot v - 0,0099 \cdot v \cdot y(k) + 1,3325 \cdot 10^{-5} u^2(k-3) + 5,3915 \quad (3.5)$$

Mô hình hóa hệ thống trên phần mềm matlab Simulink, ta có mô hình đối tượng sau:



Hình 3.3: Cấu trúc của bộ điều khiển mờ

3.3. XÁC ĐỊNH TẬP MỜ

3.3.1. Miền giá trị vật lý cho biến ngôn ngữ vào / ra

Dựa vào kinh nghiệm vận hành của lò, đặc tính sai lệch nhiệt độ của bộ điều khiển PI, đặc tính vật lý và các số liệu thu thập tại lò sấy thực nghiệm ta xây dựng bộ điều khiển theo luật sau:

Căn cứ vào nhiệt độ sai lệch của lò sấy, ta quy đổi giá trị vật lý tương ứng, xác định các miền giá trị rõ tới hạn cho các biến vào/ ra như sau:

- Sai lệch nhiệt độ đầu vào được chọn trong miền giá trị: $ET = [-20 \ 20]$
- Đạo hàm biến thiên nhiệt độ đầu vào được chọn trong miền giá trị:
 $DET = [-30 \ 30]$
- Đầu ra tín hiệu điều khiển được chọn trong miền giá trị: $U(t) = [-1.2 \ 1.2]$

3.3.2. Giá trị tập mờ

Xác định số lượng tập mờ (giá trị ngôn ngữ) cần thiết cho các biến.

Với mô hình mờ Mamdani theo luật max – Prod.

Về nguyên tắc, số lượng các giá trị ngôn ngữ cho mỗi biến ngôn ngữ nên nằm trong khoảng 3 đến 10 giá trị. Nếu số lượng giá trị ít hơn 3 thì ít có ý nghĩa, vì không thực hiện được lấy vi phân. Nếu lớn hơn 10, con người khó có khả năng bao quát, để thông tin đầy đủ đồng thời dễ phân biệt ta chọn

khoảng 5 đến 9 biến ngôn ngữ khác nhau. Đối với quá trình điều khiển nhiệt độ lò sấy, ta có thể chọn số lượng tập mờ cho mỗi biến đầu vào, đầu ra như sau:

- $ET \in \{NM, NS, ZE, PS, PM\}$.
- $DET \in \{NM, NS, ZE, PS, PM\}$.
- $U(t) \in \{NM, NS, ZE, PS, PM\}$

Trong đó:

NM: Âm vừa

NS: Âm ít

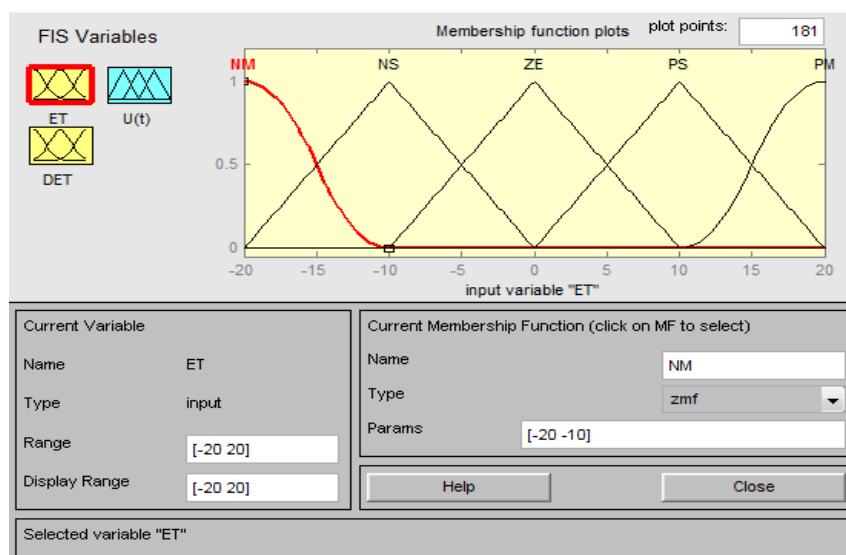
ZE: Không

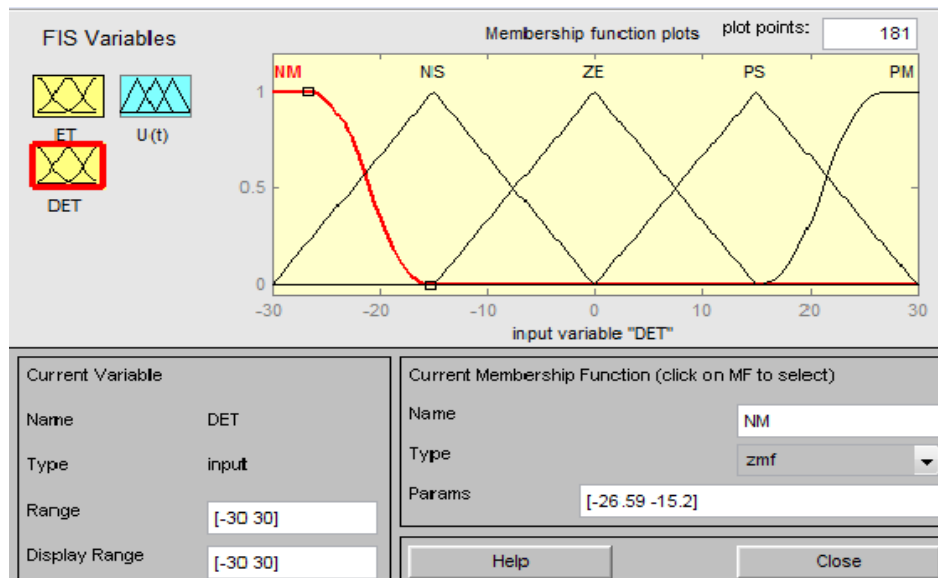
PS: Dương ít

PM: Dương

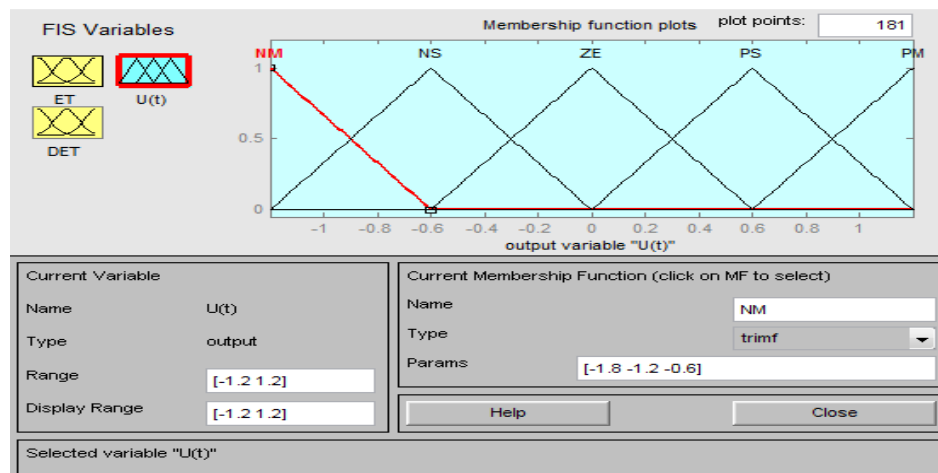
3.3.3. Xác định hàm liên thuộc

Hàm liên thuộc là vấn đề cực kỳ quan trọng và rất khó nói để đi đến độ chính xác cao. Tuy nhiên trong kỹ thuật điều khiển thường chọn hàm liên thuộc kiểu hình tam giác hoặc hình thang. Các loại điều khiển kiểu này có biểu thức đơn giản, dễ tính toán nhưng các hàm liên thuộc kiểu này chỉ gồm các đoạn thẳng nên không mềm mại ở điểm gãy.





Hình 3.5: Xác định tập mờ cho biến vào DET



Hình 3.6: Xác định tập mờ cho biến ra của U(t)

3.3.4. Xây dựng các luật điều khiển

Dựa vào tính chất vật lý, các số liệu vào ra có được, kinh nghiệm và dựa vào đặc tính quá độ ta xây dựng luật điều khiển như sau:

Nếu ET dương nhiều và DET Zero thì điện áp U(t) dương nhiều .

Nếu ET Zero và DET là dương nhiều thì U(t) Zero .

Với mỗi suy luận tương tự, mỗi một biến ra ta có tổ hợp của $5 \times 5 = 25$ luật cụ thể như sau:

Luật điều khiển

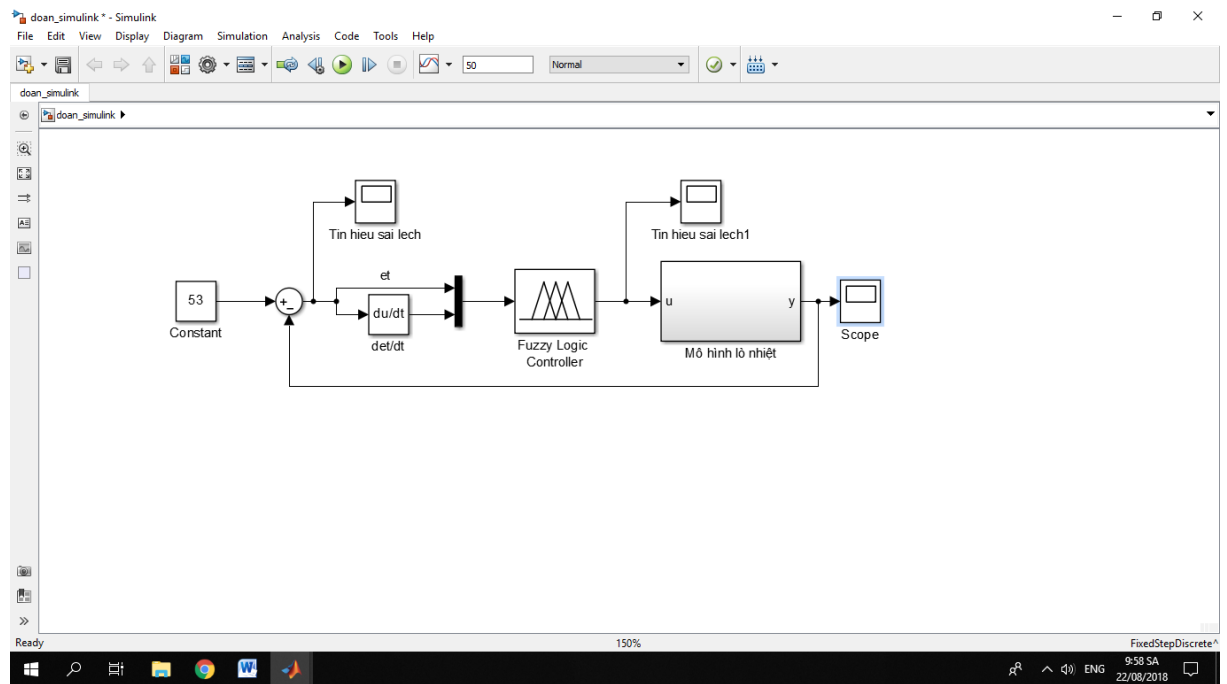
U(t)		ET				
		MN	NS	ZE	PS	PM
DET	NM	NM	NS	ZE	PS	PM
	NS	NM	NS	ZE	PS	PM
	ZE	NM	NS	ZE	PS	PM
	PS	NM	NS	ZE	PS	PM
	PM	NM	NS	ZE	PS	PM

Luật hợp thành là luật max - Prod, phương pháp giải mờ theo phương pháp trọng tâm, khi đó hệ số U(t) được tính toán lúc điều khiển là:

$$U(t) = \frac{\sum_{l=1}^{25} y_p^{-1} \mu_{A_l}(e(t)) \mu_{B_l}(dn/dt)}{\sum_{l=1}^{25} \mu_{A_l}(e(t)) \mu_{B_l}(dn/dt)} \quad (3.5)$$

Trong đó y_p^{-1} là tâm của các tập mờ tương ứng.

3.4. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG DÙNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ



Hình 3.7: Mô hình mô phỏng dùng bộ điều khiển mờ

Ở mô hình trên ta sẽ mô phỏng tại nhiệt độ đặt đầu vào là 53°C (nhiệt độ phù hợp nhất cho lò sấy gỗ theo yêu cầu) tại khối Constant và có bao gồm các tín hiệu sai lệch.

Tiếp đến nhiệt độ đầu vào sẽ được đưa qua khối Sum, khối này thực hiện cộng hoặc trừ tín hiệu đầu vào.

Bộ điều khiển mờ được dùng để điều khiển đối tượng của lò sấy, bộ điều khiển mờ gồm có hai đầu vào và một đầu ra.

- Đầu vào thứ 1 là sai lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ vào và nhiệt độ ra của lò sấy, đại lượng này được ký hiệu ET.
- Đầu vào thứ hai là tốc độ biến thiên theo thời gian của nhiệt độ thực tế $\frac{dET}{dt}$ (khối tính đạo hàm) đại lượng này ký hiệu là DET.
- Đầu ra là tín hiệu điều khiển đưa vào đối tượng điều khiển (mô hình lò sấy), đại lượng này ký hiệu là $U(t)$.

Và cuối cùng là khối Scope hiển thị tín hiệu quá trình mô phỏng đối tượng nhiệt lò sấy bằng bộ điều khiển mờ (fuzzy) dưới dạng đồ thị.

3.5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG



Hình 3.8: Tín hiệu điều khiển nhiệt độ dùng bộ điều khiển mờ

Dựa trên kết quả mô phỏng trên cho ta thấy bộ điều khiển dùng để điều khiển nhiệt độ lò sấy bám khá tốt theo giá trị đặt ở nhiệt độ 53°C (nhiệt độ phù hợp nhất cho lò sấy gỗ theo yêu cầu) khi không có tín hiệu nhiễu và khi thêm tín hiệu nhiễu vào bộ điều khiển thì bộ điều khiển mờ đều đáp ứng được tốt yêu cầu đặt ra. Đối tượng lò sấy là một hàm phi tuyến mạnh, trễ bậc 3 khi dùng bộ điều khiển mờ để điều khiển với kết quả mô phỏng thu được, cho chúng ta nhận thấy rằng tín hiệu đáp ứng được yêu cầu bài toán điều khiển đưa ra. Bộ điều khiển tốt trong thời gian từ trong khoảng $(0 \div 50)$ giây.

KẾT LUẬN

Điều khiển quá trình nhiệt lò sấy là đối tượng khá phức tạp và nhiều khâu cần điều khiển, mục tiêu cuối cùng là đảm bảo chất lượng tín hiệu điều khiển bám sát tín hiệu đặt 53°C . Trong luận văn này em chỉ dừng ở giới hạn điều khiển nhiệt theo thông số nhiệt độ khô được khảo sát, tìm hiểu thực tiễn. Với mô hình đối tượng phi tuyến, trễ bậc ba của lò sấy thì sử dụng bộ điều khiển mờ với các thông số thiết lập, luật điều khiển cho ta kết quả mô phỏng của nhiệt độ điều khiển bám khá tốt, chất lượng điều khiển được đảm bảo, các thông số về chất lượng điều chỉnh như sai lệch tĩnh, quá độ điều chỉnh, thời gian quá độ, số lần dao động của bộ điều khiển mờ tốt hơn rất nhiều so với việc dùng bộ điều khiển PID kinh điển.

Bên cạnh đó, đề án chỉ dừng lại ở mức độ mô phỏng, để bộ điều khiển mờ hoạt động tốt hơn thì không thể dùng đơn lẻ mà phải biết kết hợp thêm nhiều bộ điều khiển khác như: bộ điều khiển PID, bộ điều khiển thích nghi (adaptive), hệ nơron (neural)... hoặc lấy các thông số thực nghiệm và điều khiển bằng phương pháp nhận dạng đối tượng phi tuyến để thay đổi tham số điều khiển một cách linh hoạt và mềm dẻo thì sẽ có kết quả tốt hoàn thiện, tối ưu và chất lượng.

Một lần nữa, em xin chân thành cảm ơn thầy Nguyễn Văn Dương, thầy giáo hướng dẫn trực tiếp và các thầy cô khác trong bộ môn đã tận tình giúp đỡ và tạo điều kiện để em hoàn thành đề tài tốt nghiệp này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thị Phương Hà, Huỳnh Thái Hoàng (2003), *Lý thuyết điều khiển tự động*, Nhà xuất bản Đại học quốc gia Thành Phố Hồ Chí Minh.
- [2] Phan Xuân Minh, Nguyễn Doãn Phước (2002), *Lý thuyết điều khiển mờ*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3] Lý Ngọc Minh (2007), *Quá trình và thiết bị truyền nhiệt*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4] Huỳnh Tân Mẫn (2007), *Điều khiển theo chương trình nhiệt độ lò nhiệt, Luận văn thạc sĩ*, Trung tâm học liệu Đại Học Đà Nẵng.
- [5] Nguyễn Phương Ngô (2003), *Lý thuyết điều khiển tự động thông thường và hiện đại*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

PHỤ LỤC

a	Khoảng cách bố trí
C	Chu vi sợi đốt
C_p	Nhiệt dung riêng
d	Đường kính sợi đốt
d_d	Đường kính dây điện trở
D_{tb}	Đường kính trung bình
F_k	Mặt cắt ngang của buồng phát nhiệt
α	Hệ số truyền nhiệt
φ	Độ ẩm
δ	Khả năng chứa ẩm của không khí
I_{pt}	Dòng điện làm việc qua mỗi sợi đốt
k	Hệ số truyền nhiệt
k_z	Hệ số dự trữ
l	Chiều dài
L	Năng suất quạt
l_{pt}	Chiều dài của phần tử phát nhiệt
L_{ls}	Chiều dài lò sấy
m	Khối lượng vật liệu cần sấy
n	Số phần tử phát nhiệt
P	Công suất tiêu thụ
P_0	Công suất của một thanh điện trở
P_1	Công suất động cơ quạt
P_{pt}	Công suất mỗi phần tử phát nhiệt
p	Công suất riêng bề mặt sợi đốt
ρ	Điện trở suất của dây điện trở sợi đốt
θ	Nhiệt độ sợi đốt

R_{ls}	Chiều rộng lò sấy
H_{ls}	Chiều cao lò sấy
H	Cột áp của quạt
t	Thời gian là việc
t_c	Thời gian sấy cần thiết
ρ'	Hệ số ma sát
γ	Tỷ trọng không khí
v	Vận tốc quạt
V	Lượng không khí đi qua các phần tử phát nhiệt.
V_{ls}	Thể tích lò sấy
η_{td}	Hiệu suất
η_q	Hiệu suất quạt gió
R	Điện trở phần tử phát nhiệt
Q_{tt2}	Nhiệt lượng tính toán
Q_k	Nhiệt lượng gia nhiệt
Q	Nhiệt lượng tỏa ra
q	Nhiệt lượng của phần tử đốt nóng
T_0	Nhiệt độ ban đầu
T_1	Nhiệt độ cuối
U_{pt}	Điện áp qua mỗi phần tử
U	Hệ số truyền nhiệt
W	Số vòng của lò so