

PGS, TS NGUYỄN TRỌNG THUẦN

---

ĐIỀU KHIỂN

# Logic

Logic  
& ỨNG DỤNG

---



NHÀ XUẤT BẢN  
KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

PGS.TS. NGUYỄN TRỌNG THUẦN

# ĐIỀU KHIỂN LOGIC VÀ ỨNG DỤNG

TẬP MỘT

- HỆ THỐNG LOGIC HAI TRẠNG THÁI VÀ ỨNG DỤNG
- LOGIC MỜ VÀ ĐIỀU KHIỂN MỜ

*Tái bản có sửa chữa*



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HA NỘI - 2004

Mã số  $\frac{6T.65}{KHKT-2000}$  84-42/1-2000

## Lời nói đầu

Môn học "Điều khiển logic" đã được đưa vào nội dung đào tạo đại học và sau đại học của ngành Tự động hoá - Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội từ hàng chục năm nay. Sau một thời gian giảng dạy, nội dung của môn học đã được bổ sung và hoàn chỉnh, cập nhật nhiều kiến thức mới nhằm cung cấp cho học viên những kiến thức cơ bản và hiện đại về phương pháp tiếp cận hệ thống điều khiển logic, từ logic rõ đến logic mờ và việc ứng dụng bộ điều khiển logic khả trình (PLC) trong công nghiệp.

Nội dung chính của cuốn "Điều khiển logic và ứng dụng" đã được giảng dạy cho sinh viên đại học và cao học ngành Tự động hoá xí nghiệp trong những năm gần đây, đồng thời cũng được bổ sung thêm một số kiến thức mới nhằm tăng cường tính hệ thống của điều khiển logic từ cơ sở lý thuyết đến ứng dụng thực tế.

Ngoài mục đích phục vụ cho chương trình đào tạo đại học và sau đại học ngành Tự động hoá, cuốn "Điều khiển logic và ứng dụng" có thể làm tài liệu tham khảo cho sinh viên, kỹ sư và các cán bộ kỹ thuật thuộc lĩnh vực Điện- Điện tử và Tự động hoá.

Trong quá trình chuẩn bị và soạn thảo tài liệu này, tác giả đã nhận được sự góp ý và động viên của các đồng nghiệp ở bộ môn Tự động hoá xí nghiệp, các thầy giáo khoa Toán ĐHBK Hà Nội và đặc biệt là sự giúp đỡ chuẩn bị bản thảo của một số học viên cao học TĐH 97 và sinh viên K40 ngành TĐH. Tác giả xin chân thành cảm ơn tất cả đồng nghiệp và người thân đã giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi cho tác giả hoàn thành quyển sách này.

Vì trình độ và thời gian có hạn, sách không tránh khỏi sai sót. Tác giả mong nhận được các góp ý, nhận xét của đồng đạo bạn đọc. Mọi thư từ góp ý xin gửi về Bộ môn Tự động hoá xí nghiệp, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

**Tác giả**



## **PHẦN I**

# **HỆ THỐNG LOGIC HAI TRẠNG THÁI VÀ ỨNG DỤNG**

# Chương 1. LÝ THUYẾT CƠ SỞ

## 1.1. KHÁI NIỆM VỀ LOGIC HAI TRẠNG THÁI

Trong cuộc sống hàng ngày, các sự vật và hiện tượng thường biểu hiện ở hai mặt đối lập thông qua hai trạng thái đối lập rõ rệt của nó và con người thường nhận thức sự vật và hiện tượng một cách nhanh chóng bằng cách phân biệt hai trạng thái đó. Chẳng hạn khi nói về nước sinh hoạt ta thường nói nước sạch hay nước bẩn, hoặc nói nước sôi hay nước chưa sôi; khi nói về chất lượng và giá cả hàng hóa ta thường có khái niệm đắt và rẻ hay tốt và xấu; khi nói về kết quả của một học sinh đi thi ta thường nói đỗ hay hỏng v.v...

Trong kỹ thuật, đặc biệt trong kỹ thuật điện và điều khiển, ta thường có khái niệm về hai trạng thái: đóng và cắt; chẳng hạn đóng mạch điện (để lấy điện dùng) và cắt mạch điện (để không sử dụng điện nữa); đóng máy (để cho máy vào làm việc) và cắt máy (để cho máy nghỉ).

Trong toán học, để lượng hóa hai trạng thái đối lập của sự vật hay hiện tượng người ta dùng hai giá trị: 0 và 1. Giá trị 0 hàm ý đặc trưng cho một trạng thái của sự vật hoặc hiện tượng thì giá trị 1 hàm ý đặc trưng cho trạng thái đối lập của sự vật hay hiện tượng đó. Ta gọi đó là các giá trị 0 và 1 logic.

Các nhà bác học đã xây dựng các cơ sở toán học để tính toán các hàm và biến chỉ lấy với hai giá trị 0 và 1 này, hàm và biến đó được gọi là hàm và biến logic, cơ sở toán học để tính toán các hàm và biến đó gọi là đại số logic. Đại số logic cũng có tên là đại số Boole vì lấy theo tên nhà toán học Boole, người có công đầu trong việc xây dựng nên công cụ đại số logic này.

## 1.2. CÁC HÀM CƠ BẢN CỦA ĐẠI SỐ LOGIC VÀ TÍNH CHẤT CƠ BẢN CỦA CHÚNG

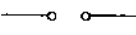
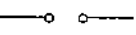
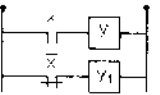
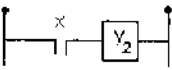
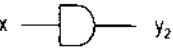
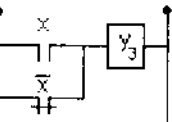
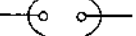
### 1.2.1. Hàm logic cơ bản

Một hàm  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  với các biến  $x_1, x_2, \dots, x_n$  chỉ nhận hai giá trị: 0 hoặc 1 và hàm  $y$  cũng chỉ nhận hai giá trị: 0 hoặc 1 thì gọi là hàm logic.

- **Hàm logic một biến**:  $y = f(x)$

Vì biến  $x$  sẽ nhận một trong hai giá trị: hoặc là 0 hoặc là 1, nên hàm  $y$  có 4 khả năng hay thường gọi là 4 hàm  $y_0, y_1, y_2, y_3$ . Các khả năng và các ký hiệu mạch rẽ và điện tử của hàm một biến như trong bảng 1.1. Trong đó hai hàm  $y_0$  và  $y_3$  có giá trị luôn luôn không đổi nên ta ít quan tâm, thường ta chỉ xét hai hàm  $y_1$  và  $y_2$ .

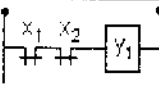
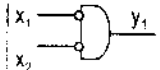
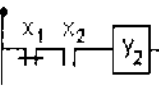
**Bảng 1.1.** Hàm logic một biến  $y = f(x)$

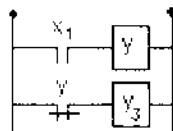
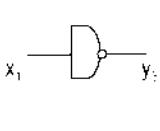
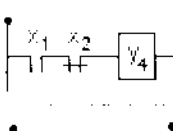
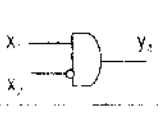
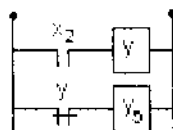
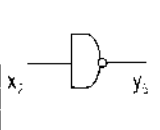
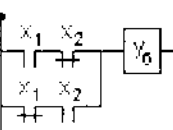
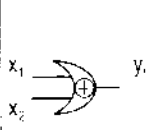
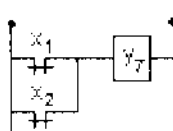
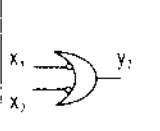
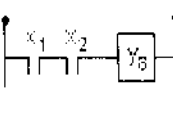
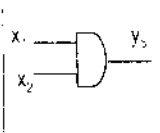
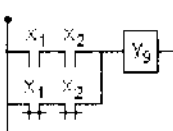
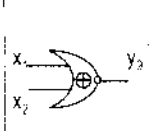
| Tên hàm    | Bảng chân lý |   |   | Thuật toán logic                 | Ký hiệu sơ đồ                                                                     |                                                                                   | Ghi chú         |
|------------|--------------|---|---|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|            | x            | 0 | 1 |                                  | Kiểu rơle                                                                         | Kiểu khối điện tử                                                                 |                 |
| Hàm không  | $y_0$        | 0 | 0 | $y_0 = 0$<br>$y_0 = x\bar{x}$    |  |  | Hàm luôn bằng 0 |
| Hàm đảo    | $y_1$        | 1 | 0 | $y_1 = \bar{x}$                  |  |  |                 |
| Hàm lập    | $y_2$        | 0 | 1 | $y_2 = x$                        |  |  |                 |
| Hàm đơn vị | $y_3$        | 1 | 1 | $y_3 = 1$<br>$y_3 = x + \bar{x}$ |  |  | Hàm luôn bằng 1 |

**- Hàm logic hai biến  $y = f(x_1, x_2)$**

Với hai biến logic  $x_1, x_2$ , mỗi biến nhận hai giá trị là 0 và 1, như vậy có 16 tổ hợp logic tạo thành 16 hàm. Bảng 1.2 là tóm tắt của 16 hàm từ  $y_0 - y_{15}$ .

**Bảng 1.2.** Hàm logic hai biến  $y = f(x_1, x_2)$

| Tên hàm       | Bảng chân lý |   |   |   |   | Thuật toán logic                                              | Ký hiệu sơ đồ                                                                       |                                                                                     | Ghi chú                    |
|---------------|--------------|---|---|---|---|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|               | $x_1$        | 1 | 1 | 0 | 0 |                                                               | Kiểu rơle                                                                           | Kiểu khối điện tử                                                                   |                            |
|               | $x_2$        | 1 | 0 | 1 | 0 |                                                               |                                                                                     |                                                                                     |                            |
| Hàm không     | $y_0$        | 0 | 0 | 0 | 0 | $y_0 = x_1\overline{x_1} + x_2\overline{x_2}$                 |                                                                                     |                                                                                     | Hàm luôn có giá trị bằng 0 |
| Hàm Pic       | $y_1$        | 0 | 0 | 0 | 1 | $y_1 = \overline{x_1}\overline{x_2}$ $= \overline{x_1 + x_2}$ |  |  |                            |
| Hàm cấm $x_1$ | $y_2$        | 0 | 0 | 1 | 0 | $y_2 = \overline{x_1}x_2$                                     |  |  |                            |

| Tên hàm           | Bảng chân lý |   |   |   |   | Thuật toán logic                              | Ký hiệu sơ đồ                                                                       |                                                                                     | Ghi chú                 |
|-------------------|--------------|---|---|---|---|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                   | $x_1$        | 1 | 1 | 0 | 0 |                                               | Kiểu rơle                                                                           | Kiểu khối điện tử                                                                   |                         |
|                   | $x_1$        | 1 | 0 | 1 | 0 |                                               |                                                                                     |                                                                                     |                         |
| Hàm đảo $x_1$     | $y_1$        | 0 | 0 | 1 | 1 | $y_1 = \bar{x}_1$                             |    |    | Chỉ phụ thuộc $x_1$     |
| Hàm cấm $x_1$     | $y_2$        | 0 | 1 | 0 | 0 | $y_2 = x_1 \bar{x}_1$                         |    |    |                         |
| Hàm đảo $x_2$     | $y_3$        | 0 | 1 | 0 | 1 | $y_3 = \bar{x}_2$                             |    |    | Hàm chỉ phụ thuộc $x_2$ |
| Hàm Hoặc loại trừ | $y_5$        | 0 | 1 | 1 | 0 | $y_5 = x_1 \bar{x}_2 + \bar{x}_1 x_2$         |    |    | Cộng modul              |
| Hàm Creffer       | $y_7$        | 0 | 1 | 1 | 1 | $y_7 = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2}{x_1 x_2}$ |   |   |                         |
| Hàm Và            | $y_8$        | 1 | 0 | 0 | 0 | $y_8 = x_1 x_2$                               |  |  |                         |
| Hàm cùng dấu      | $y_9$        | 1 | 0 | 0 | 1 | $y_9 = x_1 x_2 + \bar{x}_1 \bar{x}_2$         |  |  |                         |

| Tên hàm            | Bảng chân lý |   |   |   |   | Thuật toán logic                               | Ký hiệu sơ đồ |                   | Ghi chú             |
|--------------------|--------------|---|---|---|---|------------------------------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
|                    | $x_1$        | 1 | 1 | 0 | 0 |                                                | Kiểu rơle     | Kiểu khối điện tử |                     |
|                    | $x_2$        | 1 | 0 | 1 | 0 |                                                |               |                   |                     |
| Hàm lặp theo $x_2$ | $y_{10}$     | 1 | 0 | 1 | 0 | $y_{10} = x_2$                                 |               |                   | Chỉ phụ thuộc $x_2$ |
| Hàm kéo theo $x_2$ | $y_{11}$     | 1 | 0 | 1 | 1 | $y_{11} = \bar{x}_1 + x_2$                     |               |                   |                     |
| Hàm lặp theo $x_1$ | $y_{12}$     | 1 | 1 | 0 | 0 | $y_{12} = x_1$                                 |               |                   | Chỉ phụ thuộc $x_1$ |
| Hàm kéo theo $x_1$ | $y_{13}$     | 1 | 1 | 0 | 1 | $y_{13} = x_1 + \bar{x}_2$                     |               |                   |                     |
| Hàm Hoặc           | $y_{14}$     | 1 | 1 | 1 | 0 | $y_{14} = x_1 + x_2$                           |               |                   |                     |
| Hàm đơn vị         | $y_{15}$     | 1 | 1 | 1 | 1 | $y_{15} = (x_1 + \bar{x}_2) (x_2 + \bar{x}_1)$ |               |                   | Hàm luôn bằng 1     |

Ta nhận thấy rằng, các hàm đối xứng nhau qua trục nằm giữa  $y_7$  và  $y_8$ , nghĩa là  $y_0 = \bar{y}_{15}, y_1 = \bar{y}_{14}, \dots$

- **Hàm logic n biến**  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

Với hàm logic n biến, mỗi biến nhận một trong 2 giá trị 0 hoặc 1 nên ta có  $2^n$  tổ hợp biến, mỗi tổ hợp biến lại nhận hai giá trị 0 hoặc 1, do vậy số hàm logic tất cả là  $2^{2^n}$ . Ta thấy với 1 biến có 4 khả năng tạo hàm, với 2 biến có 16 khả năng tạo hàm, với 3 biến có 256 khả năng tạo hàm, như vậy khi số biến tăng thì số hàm có khả năng tạo thành rất lớn. Tuy nhiên tất cả khả năng này đều được biểu hiện qua các khả năng tổng logic, tích logic và nghịch đảo logic của các biến.

Trong tất cả các hàm được tạo thành, ta đặc biệt chú ý đến loại hàm tổng chuẩn và hàm tích chuẩn. Hàm tổng chuẩn là hàm chứa tổng các tích mà mỗi tích có đủ tất cả các biến của hàm. Hàm tích chuẩn là hàm chứa tích các tổng mà mỗi tổng đều có đủ tất cả các biến của hàm.

### 1.2.2. Tính chất và một số hệ thức cơ bản của đại số logic

Tính chất của đại số logic được thể hiện ở 4 luật cơ bản là : luật hoán vị, luật kết hợp, luật phân phối và luật nghịch đảo.

- Luật hoán vị:

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1$$

$$x_1 . x_2 = x_2 . x_1$$

- Luật kết hợp:

$$x_1 + x_2 + x_3 = (x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3)$$

$$x_1 . x_2 . x_3 = (x_1 . x_2) . x_3 = x_1 . (x_2 . x_3)$$

- Luật phân phối:

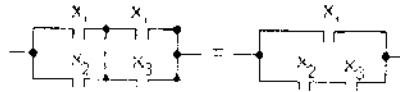
$$(x_1 + x_2) . x_3 = x_1 . x_3 + x_2 . x_3 \quad (a)$$

$$x_1 + x_2 . x_3 = (x_1 + x_2) . (x_1 + x_3) \quad (b)$$

Ta có thể minh hoạ để kiểm chứng tính đúng đắn của biểu thức (a), (b) theo luật phân phối bằng cách lập bảng dưới đây:

| $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $(x_1 + x_2)(x_1 + x_3)$ | $x_1 + x_2 . x_3$ |
|-------|-------|-------|--------------------------|-------------------|
| 0     | 0     | 0     | 0                        | 0                 |
| 0     | 0     | 1     | 0                        | 0                 |
| 0     | 1     | 0     | 0                        | 0                 |
| 0     | 1     | 1     | 1                        | 1                 |
| 1     | 0     | 0     | 1                        | 1                 |
| 1     | 0     | 1     | 1                        | 1                 |
| 1     | 1     | 0     | 1                        | 1                 |
| 1     | 1     | 1     | 1                        | 1                 |

Biểu thức (a), (b) cũng được thể hiện qua mạch logic như trên hình 1.1



Hình 1.1

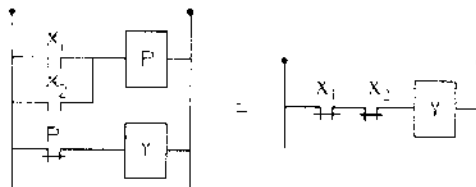
Luật nghịch đảo:

$$\overline{\overline{x_1 x_2}} = \overline{\overline{x_1}} + \overline{\overline{x_2}} \quad ; \quad \overline{\overline{x_1} + \overline{\overline{x_2}}} = \overline{\overline{x_1}} \cdot \overline{\overline{x_2}}$$

Ta cũng minh hoạ tính đúng đắn của luật nghịch đảo bằng cách thành lập bảng dưới đây:

| $\overline{x_1 + \overline{x_2}}$ | $x_1$ | $x_2$ | $\overline{x_1}$ | $x_2$ | $\overline{x_1 + \overline{x_2}}$ | $\overline{\overline{x_1}} \cdot \overline{\overline{x_2}}$ | $\overline{\overline{x_1} \cdot \overline{\overline{x_2}}}$ |
|-----------------------------------|-------|-------|------------------|-------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1                                 | 0     | 0     | 1                | 1     | 1                                 | 1                                                           | 1                                                           |
| 1                                 | 0     | 1     | 1                | 0     | 0                                 | 0                                                           | 1                                                           |
| 1                                 | 1     | 0     | 0                | 1     | 0                                 | 0                                                           | 1                                                           |
| 0                                 | 1     | 1     | 0                | 0     | 0                                 | 0                                                           | 0                                                           |

Tính chất trên được thể hiện qua mạch rơle như trên hình 1. 2.



Hình 1.2

Luật nghịch đảo tổng quát được thể hiện bằng định lý De Morgan:

$$\overline{x_1 + x_2 + x_3 + \dots} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \dots$$

$$\overline{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots} = \overline{x_1} + \overline{x_2} + \overline{x_3} + \dots$$

Một số hệ thức cơ bản thường dùng trong đại số logic được cho ở bảng 1.3.



Bảng 1.3

|   |                   |               |    |                                     |                               |
|---|-------------------|---------------|----|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | $x + 0$           | $= x$         | 10 | $x_1 \cdot x_2$                     | $= x_2 \cdot x_1$             |
| 2 | $x \cdot 1$       | $= x$         | 11 | $x_1 + x_1 \cdot x_2$               | $= x_1$                       |
| 3 | $x \cdot 0$       | $= 0$         | 12 | $x_1(x_1 + x_2)$                    | $= x_1$                       |
| 4 | $x + 1$           | $= 1$         | 13 | $x \cdot x_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2$ | $= x_1$                       |
| 5 | $x + x$           | $= x$         | 14 | $(x_1 + x_2)(x_1 + \bar{x}_2)$      | $= x_1$                       |
| 6 | $x \cdot x$       | $= x$         | 15 | $(x_1 + x_2 + x_3)$                 | $= (x_1 + x_2) + x_3$         |
| 7 | $x + \bar{x}$     | $= 1$         | 16 | $x_1 x_2 x_3$                       | $= (x_1 x_2) x_3$             |
| 8 | $x \cdot \bar{x}$ | $= 0$         | 17 | $\bar{x}_1 + x_2$                   | $= \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$ |
| 9 | $x + x_2$         | $= x_2 + x_1$ | 18 | $\overline{x \cdot x_2}$            | $= \bar{x} + \bar{x}_2$       |

## 1.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP BIỂU DIỄN HÀM LOGIC

### 1.3.1. Phương pháp biểu diễn thành bảng

Ở đây các giá trị của hàm phụ thuộc vào các biến được trình bày trong một bảng. Nếu hàm  $n$  biến thì bảng có  $n+1$  cột ( $n$  cột cho biến và một cột cho hàm) và  $2^n$  hàng tương ứng với  $2^n$  tổ hợp của biến. Bảng này thường gọi là bảng chân lý.

Ví dụ : một hàm 3 biến với giá trị hàm đã cho được biểu diễn thành bảng như bảng 1.4.

Bảng 1.4

| Giá trị thập phân của tổ hợp biến | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $y$ |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-----|
| 0                                 | 0     | 0     | 0     | 1   |
| 1                                 | 0     | 0     | 1     | 0   |
| 2                                 | 0     | 1     | 0     | "x" |
| 3                                 | 0     | 1     | 1     | "x" |
| 4                                 | 1     | 0     | 0     | 0   |
| 5                                 | 1     | 0     | 1     | 1   |
| 6                                 | 1     | 1     | 0     | "x" |
| 7                                 | 1     | 1     | 1     | 1   |

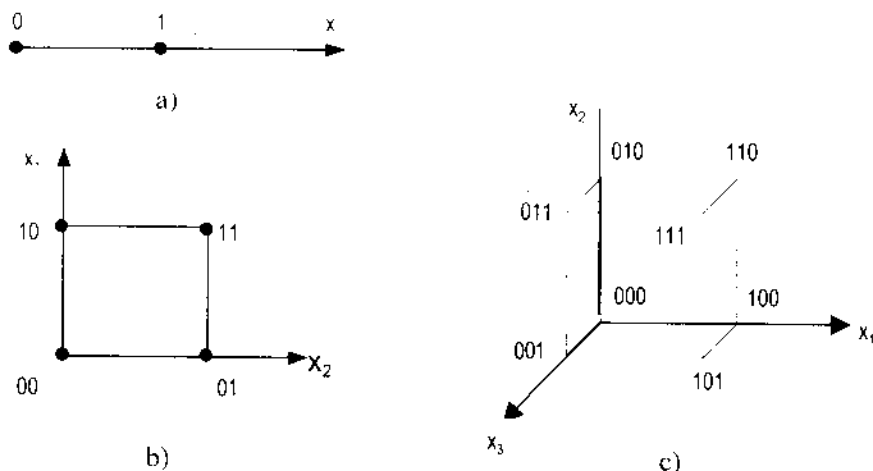
Ghi chú: Những chỗ đánh dấu "x" là giá trị hàm không xác định (có thể là 0 hoặc 1).

Ưu điểm của cách biểu diễn hàm bằng bảng là dễ nhìn, ít nhầm lẫn. Nhược điểm của phương pháp này là cồng kềnh, đặc biệt khi số biến lớn.

### 1.3.2. Phương pháp hình học

Ở đây miền xác định của hàm được biểu diễn trong không gian  $n$  chiều. Mỗi tổ hợp biến được biểu diễn thành một điểm ở trong không gian đó. Hàm  $n$  biến tương ứng với không gian  $n$  chiều và có  $2^n$  điểm trong không gian đó, ứng với mỗi điểm sẽ ghi một giá trị của hàm. Hai điểm nằm trên cùng một trục chỉ khác nhau bởi sự thay đổi giá trị của một biến. Hình 1.3 là cách cho hàm logic 1, 2 và 3 biến dưới dạng hình học.

Nhược điểm của phương pháp này là khi số biến lớn thì hình vẽ rất phức tạp.



Hình 1.3. Biểu diễn hình học hàm logic

a - Hàm 1 biến; b - Hàm 2 biến; c - Hàm 3 biến

### 1.3.3. Phương pháp biểu thức đại số

Người ta đã chứng minh rằng, một hàm logic  $n$  biến bất kỳ bao giờ cũng có thể biểu diễn thành các hàm tổng chuẩn đầy đủ và tích chuẩn đầy đủ.

#### Cách viết hàm dưới dạng tổng chuẩn đầy đủ

- Chỉ quan tâm đến tổ hợp biến mà hàm có giá trị bằng 1. Số lần hàm bằng 1 sẽ chính là số tích của các tổ hợp biến.
- Trong mỗi tích, các biến có giá trị bằng 1 được giữ nguyên, còn các biến có giá trị bằng 0 thì được lấy giá trị đảo; nghĩa là nếu  $x_i = 1$  thì trong biểu thức tích sẽ được viết là  $x_i$ , còn nếu  $x_i = 0$  thì trong biểu thức của tích được viết bằng  $\bar{x}_i$ .
- Hàm tổng chuẩn đầy đủ sẽ là tổng các tích đó.

### Cách viết hàm dưới dạng tích chuẩn đầy đủ

- Chỉ quan tâm đến các tổ hợp biến mà hàm có giá trị bằng 0. Số lần hàm bằng không sẽ chính là số tổng các tổ hợp biến.

- Trong mỗi tổng các biến có giá trị 0 được giữ nguyên, còn các biến có giá trị 1 được lấy đảo; nghĩa là nếu  $x_i = 0$  thì trong biểu thức tổng sẽ được viết là  $x_i$ , còn nếu  $x_i = 1$  thì trong biểu thức của tổng được viết bằng  $\bar{x}_i$ .

- Hàm tích chuẩn đầy đủ sẽ là tích của các tổng đó.

Ví dụ, lấy ví dụ của hàm cho ở bảng 1.4.

Dạng tổng chuẩn đầy đủ: Hàm  $f$  có giá trị 1 tại các tổ hợp biến có thứ tự là 0; 5; 7 và được viết lại ở bảng 1.5.

**Bảng 1.5**

| Thứ tự tổ hợp biến | Tổ hợp giá trị biến |       |       | Tích thành phần                   |
|--------------------|---------------------|-------|-------|-----------------------------------|
|                    | $x_3$               | $x_2$ | $x_1$ |                                   |
| 0                  | 0                   | 0     | 0     | $\bar{x}_3, \bar{x}_2, \bar{x}_1$ |
| 5                  | 1                   | 0     | 1     | $x_3, \bar{x}_2, x_1$             |
| 7                  | 1                   | 1     | 1     | $x_3, x_2, x_1$                   |

Như vậy:

$$f = \bar{x}_3, \bar{x}_2, \bar{x}_1 + x_3, \bar{x}_2, x_1 + x_3, x_2, x_1$$

Dạng tích chuẩn đầy đủ: Hàm  $f = 0$  tại các tổ hợp biến theo thứ tự là 1 và 4, ta viết lại kết quả đó ở bảng 1.6.

**Bảng 1.6**

| Thứ tự tổ hợp biến | Tổ hợp giá trị biến |       |       | Tổng thành phần         |
|--------------------|---------------------|-------|-------|-------------------------|
|                    | $x_3$               | $x_2$ | $x_1$ |                         |
| 1                  | 0                   | 0     | 1     | $x_3 + x_2 + \bar{x}_1$ |
| 4                  | 1                   | 0     | 0     | $\bar{x}_3 + x_2 + x_1$ |

Như vậy:

$$f = (x_3 + x_2 + \bar{x}_1)(\bar{x}_3 + x_2 + x_1)$$

Phương pháp này có ưu điểm là ngắn gọn.

Trong các tài liệu tham khảo, người ta thường viết các hàm trên dưới dạng:

Với tổng chuẩn đầy đủ:

$$f = \sum 0,5,7 \text{ với } N = 2,3,6$$

Với tích chuẩn đầy đủ:

$$f = \prod 1,4 \quad \text{với } N = 2,3,6$$

trong đó :  $N = 2,3,6$  là các thứ tự tổ hợp biến mà hàm không xác định.

### 1.3.4. Phương pháp biểu diễn hàm logic bằng bảng Karnaugh

Nguyên tắc xây dựng bảng Karnaugh là:

- Để biểu diễn một hàm logic  $n$  biến, cần thành lập một bảng có  $2^n$  ô; mỗi ô tương ứng với một tổ hợp biến. Đánh số thứ tự của các ô trong bảng tương ứng với giá trị của tổ hợp biến.
- Các ô cạnh nhau hoặc đối xứng nhau chỉ cho phép khác nhau về giá trị của 1 biến.
- Trong các ô ghi giá trị của hàm tương ứng với giá trị của tổ hợp biến đó.

Hình 1.4 và hình 1.5 là bảng Karnaugh cho hàm 2 và 3 biến, tương ứng các bảng hình 1.6 và hình 1.7 là bảng Karnaugh cho hàm 4 biến, 5 biến và 6 biến.

Karnaugh map for  $f(x_1, x_2) = x_1 \oplus x_2$ . The prime implicants are  $\bar{x}_1 \bar{x}_2$ ,  $\bar{x}_1 x_2$ ,  $x_1 \bar{x}_2$ , and  $x_1 x_2$ .

Karnaugh map for  $f(x_1, x_2) = x_1 \oplus x_2$ . The prime implicants are labeled 0, 1, 2, and 3.

Hình 1.4 Bảng Karnaugh cho hàm 2 biến; Ví dụ:  $f = \sum 1, 2$  và  $N = 3$

| $x_1 \backslash x_2, x_3$ |                                      | 00                             | 01                       | 11                             | 10 |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----|
| 0                         | 0<br>$\bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$ | 1<br>$\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$ | 3<br>$\bar{x}_1 x_2 x_3$ | 2<br>$\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$ |    |
| 1                         | 4<br>$x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$       | 5<br>$x_1 \bar{x}_2 x_3$       | 7<br>$x_1 x_2 x_3$       | 6<br>$x_1 x_2 \bar{x}_3$       |    |

| $x_1 \backslash x_2, x_3$ |   | 00 | 01  | 11  | 10 |
|---------------------------|---|----|-----|-----|----|
| 0                         |   | 1  | 1   | "x" |    |
| 1                         | x | 1  | "x" |     |    |

Hình 1.5 Bảng Karnaugh của hàm 3 biến Ví dụ:  $f = \sum 1, 3, 5$  với  $N = 2, 4, 7$

| $x_3x_4$ |  |                   |                         |                         |                               |
|----------|--|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| $x_1x_2$ |  | 00                | 01                      | 11                      | 10                            |
|          |  | $x_1+x_2+x_3+x_4$ | $x_1+x_2+x_3+\bar{x}_4$ | $x_1+x_2+\bar{x}_3+x_4$ | $x_1+x_2+\bar{x}_3+\bar{x}_4$ |
| 00       |  |                   |                         |                         |                               |
| 01       |  |                   |                         |                         |                               |
| 11       |  |                   |                         |                         |                               |
| 10       |  |                   |                         |                         |                               |

a)

| $x_3x_4$ |  |    |    |    |    |
|----------|--|----|----|----|----|
| $x_1x_2$ |  | 00 | 01 | 11 | 10 |
|          |  |    |    |    |    |
| 00       |  |    | 0  | x  | x  |
| 01       |  |    |    | 0  |    |
| 11       |  |    | 0  | x  |    |
| 10       |  |    |    | x  |    |

b)

Hình 1.6. Bảng Karnaugh của hàm 4 biến. ví dụ  $f = \Pi(1, 7, 13)$  và  $N = 2, 3, 11, 15$

| $x_3x_4$ |    | $x_5 = 0$ |    |    |    | $x_5 = 1$ |    |    |    |
|----------|----|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|
|          |    | 00        | 01 | 11 | 10 | 10        | 11 | 01 | 00 |
| $x_1x_2$ | 00 | 0         | 2  | 6  | 4  | 5         | 7  | 3  | 1  |
|          | 01 | 8         | 10 | 14 | 12 | 13        | 15 | 11 | 9  |
|          | 11 | 24        | 26 | 30 | 28 | 29        | 31 | 27 | 25 |
|          | 10 | 16        | 18 | 22 | 20 | 21        | 23 | 19 | 17 |

Hình 1.7a Bảng Karnaugh của hàm 5 biến

| $x_4 \ x_5 \ x_6$<br>$x_1 \ x_2 \ x_3$ |  | $x_4 \ x_5 \ x_6$ |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------------|--|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                        |  | 000               | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000                                    |  | 0                 | 1   | 3   | 2   | 6   | 7   | 5   | 4   |
| 001                                    |  | 8                 | 9   | 11  | 10  | 14  | 15  | 13  | 12  |
| 011                                    |  | 24                | 25  | 27  | 26  | 30  | 31  | 29  | 28  |
| 010                                    |  | 16                | 17  | 19  | 18  | 22  | 23  | 21  | 20  |
| 110                                    |  | 48                | 49  | 51  | 50  | 54  | 55  | 53  | 52  |
| 111                                    |  | 56                | 57  | 59  | 58  | 62  | 63  | 61  | 60  |
| 101                                    |  | 40                | 41  | 43  | 42  | 46  | 47  | 45  | 44  |
| 100                                    |  | 32                | 33  | 35  | 34  | 38  | 39  | 37  | 36  |

Hình 1.7b Bảng Karnaugh của hàm 6 biến

## 1.4. PHƯƠNG PHÁP TỐI THIỂU HÓA CÁC HÀM LOGIC

Trong quá trình phân tích và tổng hợp mạch logic, ta phải quan tâm đến vấn đề tối thiểu hóa hàm logic để việc thực hiện mạch một cách kinh tế, đồng thời vẫn đảm bảo các chức năng logic yêu cầu. Thực chất vấn đề tối thiểu hóa là tìm dạng biểu diễn đại số đơn giản nhất của hàm và thường có hai nhóm phương pháp:

- Phương pháp biến đổi đại số;
- Phương pháp dùng thuật toán.

### 1.4.1. Phương pháp tối thiểu hàm logic bằng biến đổi đại số

Việc rút gọn hàm thường dựa vào các biểu thức sau đây:

$$a + \bar{a} = 1, \quad a \cdot \bar{a} = 0,$$

$$a + a = a, \quad a \cdot a = a,$$

$$a + a \cdot b = a, \quad a(\bar{a} + b) = a,$$

$$a + \bar{a} \cdot b = a + b, \quad a(\bar{a} + \bar{b}) = \bar{a} \cdot \bar{b}$$

Ví dụ, cho hàm:

$$\begin{aligned}
 f &= \bar{a} \bar{b} + ab + a\bar{b} \\
 &= (\bar{a} \bar{b} + ab) + (ab + a\bar{b}) \\
 &= b(\bar{a} + a) + a(b + \bar{b}) = a + b.
 \end{aligned}$$

Do tính trực quan của phương pháp nên nhiều khi kết quả đưa ra vẫn không biết rõ là đã tối thiểu hay chưa, như vậy đây không phải là phương pháp chặt chẽ để cho phép tự động hoá quá trình tối thiểu hoá.

### 1.4.2. Phương pháp tối thiểu hóa hàm logic theo thuật toán

Thường dùng nhất là các phương pháp: bảng Karnaugh và Quine Mc.Cluskey

#### 1) Tối thiểu hoá hàm logic bằng phương pháp Quine Mc.Cluskey

a. Một số định nghĩa

+ **Đỉnh.** Đỉnh là một tích chứa đầy đủ các biến của hàm xuất phát, nếu hàm có  $n$  biến thì đỉnh là tích của  $n$  biến.

Đỉnh 1 là đỉnh mà hàm có giá trị bằng 1;

Đỉnh 0 là đỉnh mà hàm có giá trị bằng 0.

Đỉnh không xác định là đỉnh mà tại đó hàm có thể lấy một trong hai giá trị : 0 hoặc 1.

Ví dụ, cho hàm  $f(x_3, x_2, x_1)$  có  $L=2,3,7$  và  $N=1,6$ . Các đỉnh này có thể đánh dấu theo số ở hệ thập phân hay nhị phân như ở bảng 1.7

**Bảng 1.7**

| Tích         | $\overline{x_1}\overline{x_2}x_3$ | $\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$ | $\overline{x_1}x_2x_3$ | $x_1x_2\overline{x_3}$ | $x_1x_2x_3$ |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| Số nhị phân  | 001                               | 010                               | 011                    | 110                    | 111         |
| Số thập phân | 1(x)                              | 2                                 | 3                      | 6(x)                   | 7           |

+ **Tích cực tiểu.** Tích cực tiểu là tích có số biến là cực tiểu để hàm có giá trị bằng 1 hoặc có giá trị không xác định.

+ **Tích quan trọng.** Tích quan trọng là tích cực tiểu mà giá trị hàm chỉ duy nhất bằng 1 ở tích này.

b. Tối thiểu hóa bằng phương pháp Quine Mc.Cluskey

Các bước tiến hành:

Quá trình tối thiểu hóa hàm logic bằng phương pháp Quine Mc. Cluskey được tiến hành theo các bước như trên hình 1.8.

Ví dụ minh họa. Tối thiểu hóa hàm  $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  với các đỉnh bằng 1 là:  $L=2, 3, 7, 12, 14, 15$ ; và các đỉnh giá trị hàm không xác định là  $N=6, 13$ . Bảng 1.8.

Cách làm:

- Bước 1. Tìm các tích cực tiểu.

Các công việc tiến hành như sau:

- Lập bảng biểu diễn các giá trị hàm bằng 1 và các giá trị không xác định ứng với mã nhị phân của các biến (bảng 1.8a).

- Sắp xếp các tổ hợp biến theo mã nhị phân theo thứ tự số các chữ số 1 trong tổ hợp tăng dần từ : 0, 1, 2, 3... . Như vậy ở đây ta có 4 tổ hợp : tổ hợp 1 (gồm các số chứa 1 chữ số 1), tổ hợp 2 (gồm các số chứa 2 chữ số 1), tổ hợp 3 (gồm các số chứa 3 chữ số 1), tổ hợp 4 (gồm các số chứa 4 chữ số 1) (bảng 1.8b).

- So sánh mỗi tổ hợp thứ  $i$  với một tổ hợp thứ  $i+1$ , nếu hai tổ hợp chỉ khác nhau ở một cột thì kết hợp 2 tổ hợp đó thành một tổ hợp mới, đồng thời thay cột số khác nhau của 2 tổ hợp cũ bằng một gạch ngang (-) và đánh dấu V vào hai tổ hợp cũ (bảng 1.8c). Về cơ sở toán học, ở đây để thu gọn các tổ hợp ta đã sử dụng tính chất:

$$XY + X\bar{Y} = X$$

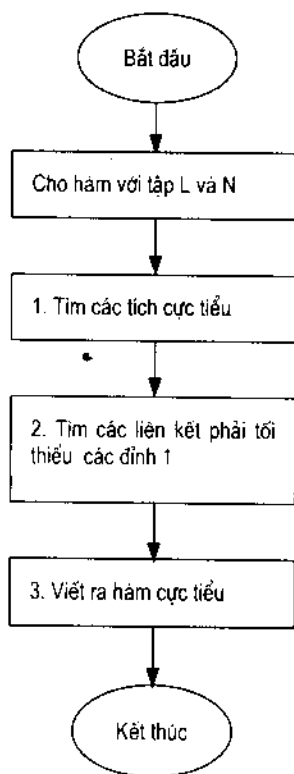
- Tiếp tục công việc. Từ bảng 1.8c ta chọn ra các tổ hợp chỉ khác nhau 1 chữ số 1 và có cùng gạch ngang (-) trong một cột, nghĩa là có cùng biến vừa được gạch ước ở bảng 1.8c, như vậy ta có bảng 1.8d.

Các tổ hợp tìm được ở bảng 1.8d là tổ hợp cuối cùng, không còn khả năng kết hợp nữa, đây chính là các tích cực tiểu của hàm  $f$  đã cho và được viết như sau:

0 - 1 - (phù các đỉnh 2,3,6,7) :  $X_1X_3$

- 1 1 - (phù các đỉnh 6,7,14,15) :  $X_2X_3$

- 1 1 - (phù các đỉnh 12,13,14,15):  $X_1X_2$



Hình 1.8



**Bảng 1.8.** Các bước tìm tích cực tiểu theo phương pháp Quine-Cluskey

| Bảng a       |                                | Bảng b      |              |                               | Bảng c   |                | Bảng d                 |                |
|--------------|--------------------------------|-------------|--------------|-------------------------------|----------|----------------|------------------------|----------------|
| Số thập phân | Số nhị phân ( $x_1x_2x_3x_4$ ) | Số chữ số 1 | Số thập phân | Số cơ số 2 ( $x_1x_2x_3x_4$ ) | Liên kết | $x_1x_2x_3x_4$ | Liên kết               | $x_1x_2x_3x_4$ |
| 2            | 0010                           | 1           | 2            | 0010V                         | 2,3      | 001-V          | 2,3,6,7<br>2,6,3,7     | 0-1-           |
| 3            | 0011                           | 2           | 3            | 0011V                         | 2,6      | 0-10 V         | 6,7,14,15<br>6,14,7,15 | -11-           |
| 6            | 0110                           |             | 6            | 0110V                         | 3,7      | 0-11 V         | 12,13,14,15            | 11--           |
| 12           | 1100                           |             | 12           | 1100V                         | 6,7      | 011-V          |                        |                |
| 7            | 0111                           | 3           | 7            | 0111V                         | 6,14     | -110V          |                        |                |
| 13           | 1101                           |             | 13           | 1101V                         | 13,13    | 110-V          |                        |                |
| 14           | 1110                           |             | 14           | 1110V                         | 12,14    | 11-0V          |                        |                |
| 15           | 1111                           | 4           | 15           | 1111V                         | 7,15     | -111V          |                        |                |
|              |                                |             |              |                               | 13,15    | 11-1V          |                        |                |
|              |                                |             |              |                               | 14,15    | 111-V          |                        |                |

**Bước 2.** Tìm các tích quan trọng

Việc tìm các tích quan trọng cũng được tiến hành theo trình tự nhiều bước nhỏ. Giả thiết có  $i$  bước nhỏ, với  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$

Gọi  $L_i$  là tập các đỉnh 1 đang xét ở bước nhỏ thứ  $i$ , lúc này không quan tâm đến các đỉnh có giá trị không xác định nữa.

$Z_i$  là tập các tích cực tiểu đang ở bước nhỏ thứ  $i$ .

$E_i$  là tập các tích quan trọng ở bước nhỏ thứ  $i$ .

Trình tự công việc được tiến hành như sau:

- Với  $i = 0$

$$L_0 = L = (2, 3, 7, 12, 14, 15)$$

$$Z_0 = Z = (X_1X_3, X_2X_3, X_1X_2)$$

Xác định các tích quan trọng  $E_0$  từ các tập  $L_0$  và  $Z_0$  như sau:

Lập một bảng trong đó mỗi hàng ứng với một tích cực tiểu thuộc  $Z_0$ , mỗi cột ứng với một đỉnh thuộc  $L_0$ . Đánh dấu "x" vào các ô trong bảng ứng với tích cực tiểu bảng 1.

Xét từng cột, cột nào chỉ có một dấu “x” thì tích cực tiểu ứng với nó là tích quan trọng như ở bảng 1.9.

**Bảng 1.9.**  $E_0 = (x_1x_3, x_1x_2)$

| $Z_0 \backslash L_0$ | 2   | 3   | 7 | 12  | 14 | 15 |
|----------------------|-----|-----|---|-----|----|----|
| $\bar{x}_1x_3$       | (x) | (x) | x |     |    |    |
| $x_3x_2$             |     |     | x |     | x  | x  |
| $x_1x_2$             |     |     |   | (x) | x  | x  |

• Với  $i = 1$

$L_1$ . Tìm  $L_1$  từ  $L_0$  bằng cách loại khỏi  $L_0$  các đỉnh 1 của  $E_0$ .

$Z_1$ . Tìm  $Z_1$  từ  $Z_0$  bằng cách loại khỏi  $Z_0$  các tích trong  $E_0$  và các tích đã nằm trong hàng đã được chọn từ  $E_0$  (đó là các tích không cần thiết).

Lập bảng tương tự như trên, từ bảng đó cũng bằng cách như trên sẽ tìm tích quan trọng  $E_1$ .

Công việc tiếp tục cho đến khi xét hết các tích cực tiểu.

$$L_{i+1} = L_i - E_i$$

$$Z_{i+1} = Z_i - E_i$$

- Các tích không cần thiết.

Lập bảng  $L_{i+1}, Z_{i+1}$  để tìm  $E_{i+1}$ . Lập lại công việc cho đến khi  $L_k = 0$ .

Trong ví dụ này thì  $L_1 = 0$ , do vậy ta tìm được dạng tối thiểu của hàm là:

$$f = \bar{x}_1x_3 + x_1x_2$$

## 2. Phương pháp dùng bảng Karnaugh

Phương pháp này được tiến hành theo các bước sau:

Bước 1- Biểu diễn hàm đã cho thành bảng Karnaugh.

Bước 2- Xác định các tích cực tiểu hoặc các tổng cực tiểu.

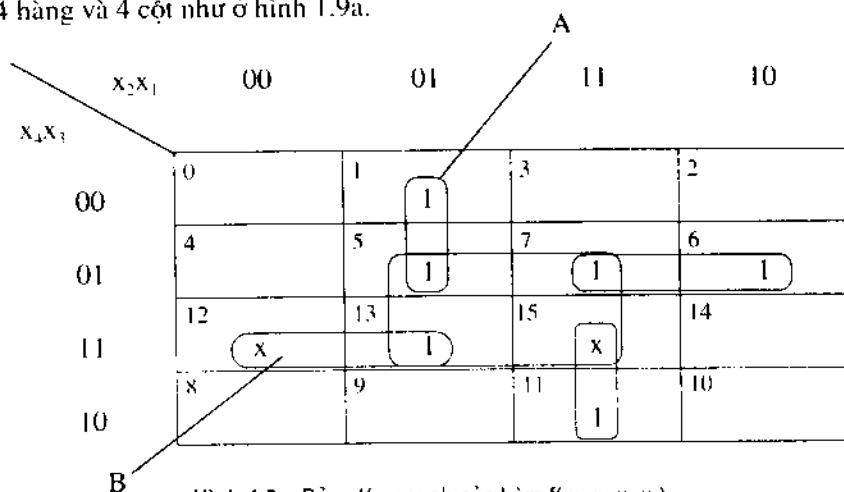
Bước 3- Tìm các liên kết phủ tối thiểu các ô "1" (nếu biểu diễn tối thiểu theo hàm tổng) hoặc các ô "0" (nếu biểu diễn tối thiểu theo hàm tích), sau đó viết hàm kết quả theo tổng hoặc theo tích.

*Ví dụ 1.* Hãy tối thiểu hàm logic sau đây theo hàm tổng:

$$f(x_4, x_3, x_2, x_1) = \sum 1, 5, 6, 7, 11, 13 : \quad N = 12, 15;$$

Cách làm:

*Bước 1:* Lập bảng Karnaugh. Vì hàm có 4 biến nên ta có thể lập bảng Karnaugh thành 4 hàng và 4 cột như ở hình 1.9a.



Hình 1.9a. Bảng Karnaugh của hàm  $f(x_4, x_3, x_2, x_1)$

*Bước 2:* Xác định các tích cực tiểu. Tích cực tiểu được xác định bằng cách liên kết 2k các ô kề nhau hoặc đối xứng nhau có cùng giá trị 1 hoặc giá trị không xác định trong bảng Karnaugh, giá trị k chọn tối đa đến mức có thể.

*Bước 3:* Xác định các liên kết tối thiểu phủ hết các ô "1". Ở hình 1.9 ta xác định được 5 liên kết, đó là các liên kết A chứa 1,5, ký hiệu là A(1,5), tiếp tục ta có B (12,13), C(5,7,13,15), D (11,15), E (6,7). Tương ứng với các liên kết đó ta có các tích cực tiểu cho mỗi liên kết là:

$$A = \bar{x}_4\bar{x}_3x_1; \quad B = x_1x_3\bar{x}_2; \quad C = x_1x_1; \quad D = x_4x_2x_1; \quad E = \bar{x}_4x_1x_2.$$

Quan sát bảng Karnaugh và chỉ xét các liên kết tối thiểu phủ hết các ô có kết quả hàm bằng "1" ( lúc này không xét các ô ký hiệu "x" - là ô hàm có giá trị tùy ý), như vậy ta được kết quả tối thiểu của hàm là:

$$\begin{aligned} f &= A + C + D + E = \\ &= \bar{x}_4\bar{x}_3x_1 + x_1x_1 + x_4x_2x_1 + \bar{x}_4x_1x_2. \end{aligned}$$

*Ví dụ 2.* Cho hàm  $f(x_4, x_3, x_2, x_1, x_0)$  theo kiểu hàm tổng được biểu diễn thành bảng Karnaugh như ở hình 1.9b.

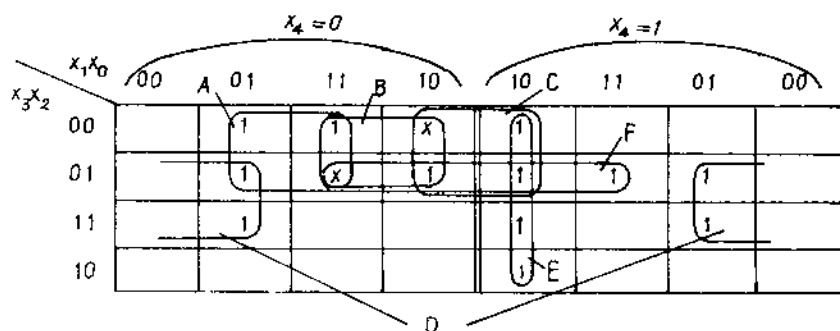
|              |           | $x_1 = 0$ |    |    |    | $x_1 = 1$ |    |    |    |
|--------------|-----------|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|
| $x_1 x_{11}$ | $x_1 x_2$ | 00        | 01 | 11 | 10 | 10        | 11 | 01 | 00 |
|              |           |           |    |    |    |           |    |    |    |
|              | 00        |           | 1  | 1  | x  | 1         |    |    |    |
|              | 01        |           | 1  | x  | 1  | 1         | 1  | 1  |    |
|              | 11        |           | 1  |    |    | 1         |    | 1  |    |
|              | 10        |           |    |    |    | 1         |    |    |    |

Hình 1.9b

Cách làm:

-Ta tìm tích cực tiểu bằng cách liên kết  $2k$  ô đánh dấu "1" hoặc "x", với  $k$  là giá trị tối đa có thể. Các ô này nằm cạnh nhau hoặc đối xứng nhau trên bảng Karnaugh.

Với ví dụ này ta có thể xác định được 6 liên kết là A,B,C,D,E,F như trên hình 1.10



Hình 1.10

Quan sát hình 1.10 ta thấy để phủ hết các ô giá trị "1", chỉ cần 4 liên kết A, D, E, F.

Từ đây ta tìm được hàm tối thiểu theo biểu thức tổng là:

$$\begin{aligned}
 f &= A + D + E + F \\
 &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 + x_1 \bar{x}_1 x_3 + x_1 x_2 \bar{x}_3 + \bar{x}_1 x_2 x_3
 \end{aligned}$$

Ví dụ 3. Cho hàm  $f(x_4, x_3, x_2, x_1, x_0)$  dạng hàm tích được biểu diễn như bảng Karnaugh (hình 1.11). Điều khác biệt ở đây là các giá trị hàm được ghi là giá trị "0" và giá trị "x". Như vậy ở đây ta nên cực tiểu hàm theo kiểu hàm tích.

|           |           |    |    |    |           |    |    |    |
|-----------|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|
|           | $x_2 = 0$ |    |    |    | $x_2 = 1$ |    |    |    |
| $x_1 x_0$ | 00        | 01 | 11 | 10 | 10        | 11 | 01 | 00 |
| $x_4 x_3$ |           |    |    |    |           |    |    |    |
| 00        | 0         | 0  | 0  |    |           | 0  | 0  | x  |
| 01        | x         |    |    |    |           | x  |    |    |
| 11        | x         |    |    |    |           | x  | 0  | x  |
| 10        | 0         |    |    |    |           | 0  |    | 0  |

Hình 1.11

Ta viết hàm dưới dạng tích:

$$f = (0, 1, 3, 5, 7, 11, 16, 20, 23, 29) \text{ các đỉnh } 0,$$

$$N = (4, 8, 15, 24, 28, 31) \text{ các đỉnh có giá trị hàm tùy ý.}$$

Cách làm:

- Lập các tổ hợp, mỗi tổ hợp chứa  $2k$  liên kết các ô "0" và ô "x", với  $k$  là số tối đa có thể.

|           |           |    |    |    |           |    |    |    |
|-----------|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|
|           | $x_2 = 0$ |    |    |    | $x_2 = 1$ |    |    |    |
| $x_1 x_0$ | 00        | 01 | 11 | 10 | 10        | 11 | 01 | 00 |
| $x_4 x_3$ |           |    |    |    |           |    |    |    |
| 00        | 0         | 0  | 0  |    |           | 0  | 0  | x  |
| 01        | x         |    |    |    |           | x  |    |    |
| 11        | x         |    |    |    |           | x  | 0  | x  |
| 10        | 0         |    |    |    |           | 0  |    | 0  |

Hình 1.12

Ở đây ta lập được 5 tổ hợp như trên hình 1.12:

$$A = \bar{x}_4 + \bar{x}_3 + \bar{x}_0, \quad B = \bar{x}_4 + \bar{x}_3 + x_0, \quad C = \bar{x}_4 + x_1 + x_0,$$

$$D = x_2 + x_1 + x_0, \quad E = x_4 + x_3 + x_1 + \bar{x}_0$$

- Quan sát ở hình 1.12 ta thấy, các tổ hợp trên vừa phủ hết các ô "0", do vậy các tổ hợp trên cũng chính là các tổ hợp quan trọng.

Như vậy hàm cực tiểu của hàm đã cho là:

$$f_{\min}(x_4, x_3, x_2, x_1, x_0) = (\bar{x}_4 + \bar{x}_1 + \bar{x}_0)(\bar{x}_2 + \bar{x}_4 + x_{01})(\bar{x}_4 + x_2 + x_{01})(x_2 + x_1 + x_{01})(x_4 + x_1 + x_2 + \bar{x}_1)$$

## Câu hỏi và bài tập

1. Tối thiểu hóa các hàm sau đây bằng phương pháp đại số:

$$+ f(a, b, c) = \sum (0, 2, 3, 4, 6)$$

$$+ f(a, b, c) = \prod (0, 1, 4, 5, 6)$$

2. Tối thiểu hóa các hàm sau đây bằng phương pháp Quine Mc. Cluskey:

$$+ f(x_3, x_2, x_1) \text{ với } L \text{ (đỉnh 1)} = 2, 3, 7 \text{ và } N \text{ (đỉnh không xác định)} = 1, 6.$$

$$+ f(x_3, x_2, x_1, x_0) = \sum 0, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15.$$

3. Tối thiểu hóa hàm sau đây bằng bảng Karnaugh:

$$+ f(x_3, x_2, x_1, x_0) = \sum 0, 1, 2, 5, 7, 10, 14, 15.$$

## Chương 2. MẠCH TỔ HỢP

### 2.1. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA MẠCH TỔ HỢP

Mạch tổ hợp là mạch mà trạng thái đầu ra của mạch chỉ phụ thuộc vào tổ hợp các trạng thái đầu vào mà không phụ thuộc vào trình tự tác động của các đầu vào. Theo quan điểm điều khiển thì mạch tổ hợp là mạch hở, hệ không có phản hồi, nghĩa là trạng thái đóng mở của các phần tử trong mạch hoàn toàn không bị ảnh hưởng của trạng thái tín hiệu đầu ra.

Về mặt toán học, giả thiết một mạch tổ hợp có  $n$  đầu vào với các  $X_i$  ( $i = 1 - n$ ) và  $m$  đầu ra với các  $Y_j$  ( $j = 1 - m$ ), ta ký hiệu :

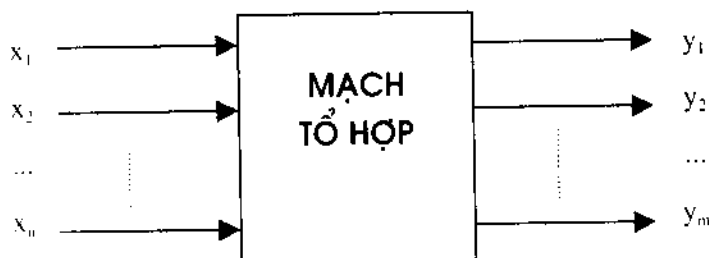
$X = \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}$  là tập các tín hiệu vào.

$Y = \{ y_1, y_2, \dots, y_m \}$  là tập các tín hiệu ra.

thì mạch tổ hợp được biểu diễn bởi  $m$  phương trình đại số Boole như sau:

$$Y_j = f_j(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad \text{với } j = 1 - m.$$

Có thể biểu diễn mô hình toán của mạch tổ hợp theo sơ đồ khối như ở hình 2.1.

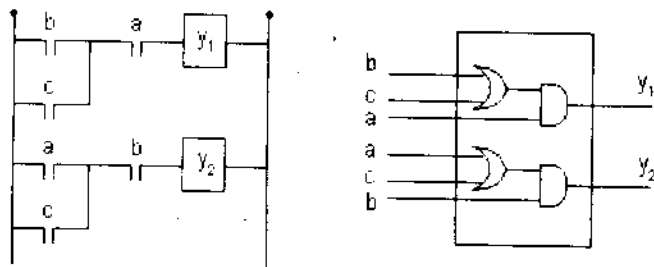


Hình 2.1

### 2.2. PHÂN TÍCH MẠCH TỔ HỢP

Bài toán phân tích có nhiệm vụ là từ mạch tổ hợp đã có, mô tả hoạt động và viết các hàm logic của các đầu ra theo các biến đầu vào và nếu cần có thể xét tới việc tối thiểu hóa mạch.

Giả thiết cho mạch tổ hợp như ở hình 2.2, ta tiến hành phân tích mạch đó.



Hình 2.2. Mạch tổ hợp với 3 biến vào và 2 biến ra

a. Ký hiệu theo mạch rơle; b. Ký hiệu theo mạch số

Ta có thể tiến hành phân tích mạch theo các bước sau:

- Thống kê các biến vào và biến ra, trên cơ sở đó lập bảng mô tả trạng thái của hệ thống.

Mạch ở hình 2.2 có 3 biến vào là a, b, c và 2 biến ra là  $Y_1$ ,  $Y_2$ , ta có thể lập bảng như bảng 2.1.

Bảng 2.1

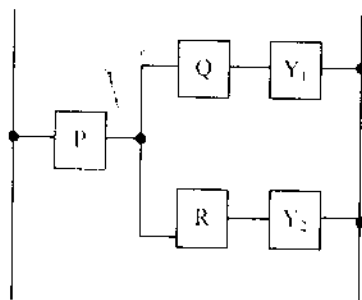
| a | b | c | $Y_1$ | $Y_2$ |
|---|---|---|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0     | 0     |
| 0 | 0 | 1 | 0     | 0     |
| 0 | 1 | 0 | 0     | 0     |
| 0 | 1 | 1 | 0     | 1     |
| 1 | 0 | 0 | 0     | 0     |
| 1 | 0 | 1 | 1     | 0     |
| 1 | 1 | 0 | 1     | 1     |
| 1 | 1 | 1 | 1     | 1     |

- Viết các hàm logic mô tả quan hệ của tín hiệu ra theo tín hiệu vào. Vận dụng các phép toán logic cơ bản (bảng 1.3) ta có thể viết được các quan hệ này. Theo ví dụ đã được mô tả ở bảng 2.1, ta có:

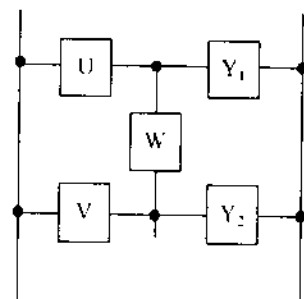
$$Y_1 = a(b + c), \quad Y_2 = b(a + c).$$

- Xem xét khả năng tối giản mạch.

Giả thiết để thực hiện mạch điều khiển ở hình 2.2, ta có cấu trúc như ở hình 2.3a hoặc hình 2.3b.



Hình 2.3a



Hình 2.3b



Với cấu trúc như ở hình 2.3a ta có:

$$Y_1 = P.Q, \quad Y_2 = P.R$$

Với cấu trúc như ở hình 2.3b, ta có:

$$Y_1 = U + V.W, \quad Y_2 = V + U.W$$

Với cấu trúc như ở hình 2.3a, mỗi khối P, Q, R đều là tổ hợp của 3 biến a, b, c, ta có bảng Karnaugh của P, Q, R và  $Y_1, Y_2$  như ở hình 2.4.

Các giá trị của  $Y_1, Y_2$  được chép lại từ kết quả của bảng 2.1.

|         |   |   |
|---------|---|---|
| a.b \ c | 0 | 1 |
| 00      | 0 | 1 |
| 01      | 0 | 1 |
| 11      | 1 | 1 |
| 10      | 0 | 1 |

P

|         |   |   |
|---------|---|---|
| a.b \ c | 0 | 1 |
| 00      | 0 | 0 |
| 01      | 0 | 0 |
| 11      | 1 | 1 |
| 10      | 0 | 1 |

Q

|         |   |   |
|---------|---|---|
| a.b \ c | 0 | 1 |
| 00      | 0 | 0 |
| 01      | 0 | 0 |
| 11      | 1 | 1 |
| 10      | 0 | 1 |

$Y_1$

|         |   |   |
|---------|---|---|
| a.b \ c | 0 | 0 |
| 00      | 0 | 0 |
| 01      | 0 | 1 |
| 11      | 1 | 1 |
| 10      | 0 | 0 |

R

|         |   |   |
|---------|---|---|
| a.b \ c | 0 | 1 |
| 00      | 0 | 0 |
| 01      | 0 | 1 |
| 11      | 1 | 1 |
| 10      | 0 | 0 |

$Y_2$

Hình 2.4

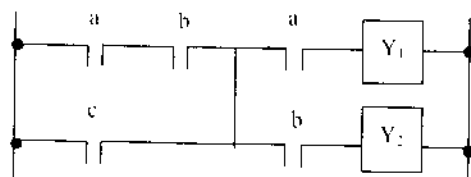
Các giá trị của P, Q, R có thể chia thành hai nhóm: một nhóm giá trị bắt buộc và một nhóm có thể nhận giá trị tùy ý. Vì rằng mạch P sẽ nối tiếp với mạch Q, nên để được giá trị đầu ra  $Y_1 = 1$  thì P, Q buộc phải bằng 1 với tất cả tổ hợp a, b, c; ngược lại khi  $Y_1 = 0$  thì chỉ cần P hoặc Q bằng 0 là đủ. Khi tổ hợp abc = 100 ứng với  $Y_1 = 0$ , ta có thể chọn P = 0, còn Q có thể bằng 0 hoặc 1. Với các ô trong bảng Karnaugh để có  $Y_2 = 1$  và  $Y_1 = 0$  với điều kiện P = 1 thì buộc Q = 0. Từ đó suy ra: có 4 trong 8 ô của bảng Karnaugh của giá trị Q có giá trị bắt buộc và có 4 ô có giá trị tùy ý. Với tổ hợp abc = 001, chọn P = 1 thì cũng cùng ô đó Q và R phải bằng 0.

Từ lập luận này ta điền được các giá trị trong bảng Karnaugh ở hình 2.4 Với cách tối thiểu hàm bằng bảng Karnaugh như đã trình bày trước đây, ta được :

$$P = ab + c, \quad Q = a, \quad R = b.$$

Với các biểu thức P, Q, R vừa tìm được, ta vẽ được mạch tối giản như ở hình 2.5, so với mạch ở hình 2.2 ta bớt được một đầu vào. Trong thực tế với các hệ không chế dùng công tắc tơ - role thì việc giảm đi 1 đầu vào (giảm đi một tiếp điểm) có rất nhiều ý nghĩa, còn đối với các vi mạch số thì điều này không mang lại hiệu quả đáng kể.

Việc phân tích theo cấu trúc ở hình 2.3b cũng xảy ra tương tự.



Hình 2.5

## 2.3. TỔNG HỢP MẠCH TỔ HỢP

Việc tổng hợp mạch tổ hợp thực chất là thiết kế mạch tổ hợp. Nhiệm vụ chính ở đây là thiết kế được mạch tổ hợp thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật nhưng mạch phải tối giản. Bài toán tổng hợp là bài toán phức tạp, vì ngoài các yêu cầu về chức năng logic, việc tổng hợp mạch còn phụ thuộc vào việc sử dụng các phần tử, chẳng hạn như phần tử là loại : role - công tắc tơ, loại phần tử khí nén hay loại phần tử là bán dẫn vi mạch chuẩn, v.v... Với mỗi loại phần tử được sử dụng thì ngoài nguyên lý chung về mạch logic còn đòi hỏi phải bổ sung những nguyên tắc riêng lúc tổng hợp và thiết kế hệ thống.

### 2.3.1. Tổng hợp mạch role

Vì mạch role thường sử dụng các phần tử logic mạch rời và kết quả cuối cùng dễ dàng biểu hiện ở hai dạng hàm tổng quát là: hàm tổng chuẩn và hàm tích chuẩn, do vậy nhiệm vụ tổng hợp ở đây có thể diễn đạt thành: từ một hàm logic yêu cầu, hãy tối thiểu hóa hàm đó và thực hiện hàm đã tối thiểu bằng các phần tử role - công tắc tơ.

Ví dụ, hãy thiết kế mạch role có 4 đầu vào cho bởi phương trình sau:

$$f(a,b,c,d) = L(2,4,5,7,8,13) + N(0,1,6,9,10,15);$$

trong đó:  $L(2,4,5,7,8,13)$  là các đỉnh mà hàm có giá trị bằng 1;

$N(0,1,6,9,10,15)$  là các đỉnh mà giá trị hàm không xác định.

Cách làm:

a- Tối thiểu hàm đã cho. Ở đây dùng phương pháp Quine Mc.Cluskey. Theo trình tự đã trình bày trước đây, ta lập được bảng 2.2.

**Bảng 2.2.**

| Số thập phân | Số nhị phân        | Liên kết lần 1 | Liên kết lần 2 | Kết quả |
|--------------|--------------------|----------------|----------------|---------|
| 0            | a b c d<br>0 0 0 0 | 0,1            | 0, 1, 4, 5 A   | 0 - 0 - |
| 1            | 0 0 0 1            | 0,2            | 0, 1, 8, 9 B   | - 0 0 - |
| 2            | 0 0 1 0            | 0,4            | 0, 2, 4, 6 C   | 0 - - 0 |
| 4            | 0 1 0 0            | 0,8            | 0, 2, 8, 10 D  | - 0 - 0 |
| 8            | 1 0 0 0            | 1,5            | 4, 5, 6, 7 E   | 0 1 - - |
| 5            | 0 1 0 1            | 1,9            |                |         |
| 6            | 0 1 1 0            | 2,6            | 1, 5, 9, 13 F  | - - 0 1 |
| 9            | 1 0 0 1            | 2,10           |                |         |
| 10           | 1 0 1 0            | 4,5            | 5, 7, 13, 15 G | - 1 - 1 |
| 7            | 0 1 1 1            | 4,6            |                |         |
|              |                    | 8,9            |                |         |
|              |                    | 8,10           |                |         |
| 13           | 1 1 0 1            | 5,7            |                |         |
| 15           | 1 1 1 1            | 5,13           |                |         |
|              |                    | 6,7            |                |         |
|              |                    | 9,13           |                |         |
|              |                    | 7,15           |                |         |
|              |                    | 13,15          |                |         |

b. Tìm tích cực tiểu và tích quan trọng. Dựa vào bảng 2.2 ta tìm được 7 tích cực tiểu

$$A = \bar{a} \bar{c} ; B = \bar{b} \bar{c} ; C = \bar{a} d ; D = \bar{b} d ; E = a b ; F = \bar{c} d ; G = bd.$$

Từ các tích cực tiểu ta lập bảng 2.3 để tìm tích quan trọng. Từ bảng 2.3 ta thấy rằng, hàm đã cho có thể thực hiện như sau:

**Bảng 2.3**

|   | 2 | 4 | 5 | 7 | 8 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|----|
| A |   | x | x |   |   |    |
| B |   |   |   |   | x |    |
| C | x | x |   |   |   |    |
| D | x |   |   |   | x |    |
| E |   | x | x | x |   |    |
| F |   |   | x |   |   | x  |
| G |   |   | x | x |   | x  |

Lấy : G và B và C , hoặc là: lấy G và D và A, hoặc là: lấy G và D và C, hoặc là lấy G và D và E , hoặc là lấy D và E và F. Tất cả khả năng này đều dùng 6 tín hiệu vào, vì rằng mỗi thành phần đều có 2 tín hiệu (lấy từ 4 đầu vào a, b, c, d).

Ta thử xét tập bù của tập hợp trên, nghĩa là xét:

$$\bar{f}(a, b, c, d) = \bar{L}(3,11,12,14) + N(0,1,6,9,10,15);$$

Cũng dùng phương pháp Quine Mc.Cluskey ta có bảng 2.4. Từ bảng 2.4 ta viết được các tích cực tiểu:

$$A_1 = \bar{a} \bar{b} c; B_1 = bcd; C_1 = abd; D_1 = \bar{b} d; E_1 = ac.$$

Từ các tích cực tiểu này ta lập được bảng 2.5. Từ bảng 2.5 ta thấy chỉ cần 2 tổ hợp  $C_1$  và  $D_1$  là đã phủ hết các đỉnh đã cho, do vậy ta có :

$$f = \bar{b}d + abd.$$

Khi đã có  $\bar{f}$  ta tìm được  $f$ :  $f = (b + \bar{d})(a + \bar{b} + d).$

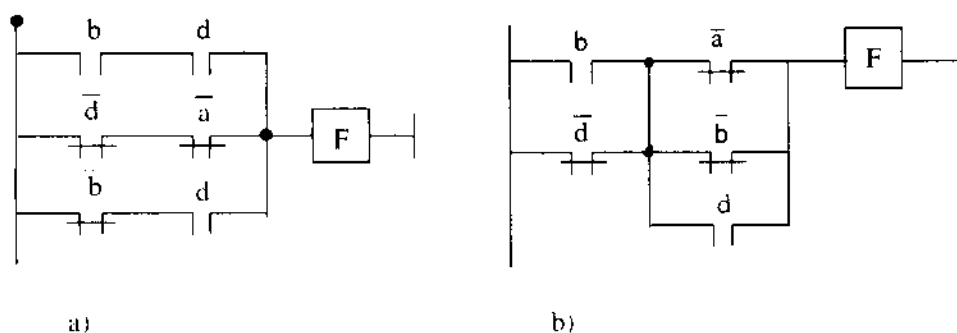
**Bảng 2.4.**

| 0  | 0,1   | A. | 1,3,9,11    | D. |
|----|-------|----|-------------|----|
| 1  | 1,3   |    | 10,11,14,15 | E. |
| 3  | 1,9   |    |             |    |
| 6  | 3,11  |    |             |    |
| 9  | 6,14  | B. |             |    |
| 10 | 9,11  |    |             |    |
| 12 | 10,11 |    |             |    |
| 11 | 10,14 |    |             |    |
| 14 | 12,14 | C. |             |    |
| 15 | 11,15 |    |             |    |
|    | 14,15 |    |             |    |

**Bảng 2.5**

|                | 3 | 11 | 12 | 14 |
|----------------|---|----|----|----|
| A <sub>1</sub> |   |    |    |    |
| B <sub>1</sub> |   |    |    | x  |
| C <sub>1</sub> |   |    | x  | x  |
| D <sub>1</sub> | x | x  |    |    |
| E <sub>1</sub> |   | x  |    | x  |

Với hàm tối giản này mạch rơle chỉ cần 5 tiếp điểm như ở hình 2.6b.



Hình 2.6.

## 2.3.2. Tổng hợp mạch số

Các bước tổng hợp mạch số về mặt thuật toán cũng tương tự như trên, chỉ có nét đặc biệt ở đây là sử dụng các mạch : AND, OR, NAND, NOR đã chuẩn hóa số đầu vào và đầu ra.

Ví dụ, yêu cầu thiết kế một mạch số 2 tầng có 3 đầu vào và 1 đầu ra với hàm logic cho bằng bảng Karnaugh trên hình 2.7

|    |   |    |    |    |    |
|----|---|----|----|----|----|
| ab |   | c  |    |    |    |
|    |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
| c  | 0 | 1  | 1  | 0  | 0  |
|    | 1 | 0  | 1  | 1  | 1  |

Hình 2.7

Cách làm:

a. Tối thiểu hóa hàm :

Dùng bảng Karnaugh với 3 liên kết như trên hình 2.7, ta được:

Dạng tổng chuẩn:

$$f = \bar{a}\bar{c} + bc + ac.$$

Dạng tích chuẩn:  $f = (\bar{a} + c)(a + b + \bar{c}).$

b. Thực hiện mạch:

Tầng 1 dùng mạch OR, tầng 2 dùng mạch AND. Sử dụng hàm  $f$  dạng tích chuẩn, ta có mạch như ở hình 2.8a.

Tầng 1 dùng mạch AND, tầng 2 dùng mạch OR. Sử dụng hàm  $f$  ở dạng tổng chuẩn, ta có mạch như ở hình 2.8b

Tầng 1 dùng mạch OR, tầng 2 dùng mạch NAND. Sử dụng hàm  $f$  dạng tổng chuẩn, sau đó dùng định lý De Morgan

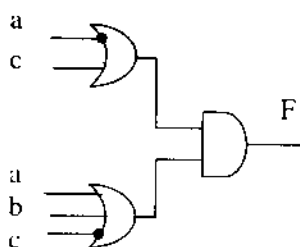
$$f = \overline{\overline{a} \cdot \overline{c} + bc + ac} = \overline{(a + c)(\overline{b} + \overline{c})(a + c)}$$

ta được mạch như ở hình 2.8c.

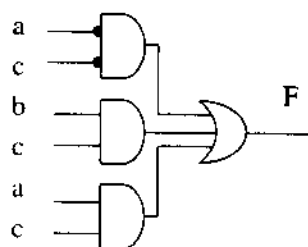
Tầng 1 dùng mạch AND, tầng 2 dùng mạch NOR. Sử dụng hàm tổng chuẩn, sau đó dùng định lý De Morgan để tìm hàm đảo:

$$f = \overline{\overline{(a + c)(a + b + c)}} = \overline{a \cdot c + a \cdot b \cdot c}$$

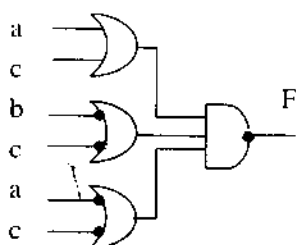
ta có mạch như ở hình 2.8d.



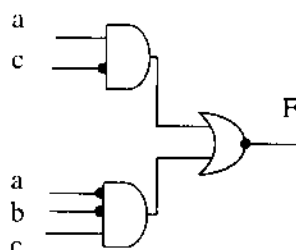
a)



b)



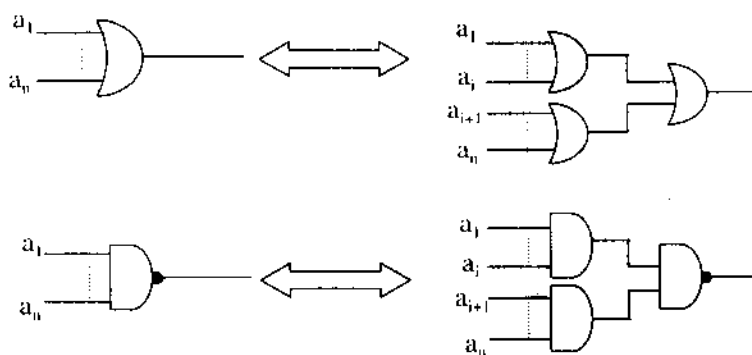
c)



d)

Hình 2.8

Khi số đầu vào lớn hơn số đầu vào cho phép của các phần tử, ta ghép nhiều phần tử cùng loại với nhau như ở hình 2.9.



Hình 2.9

| $f(a,b,c,d)$ |    |    |    |    | $g(a,b,c,d)$ |    |    |    |    | $h(a,b,c,d)$ |    |    |    |    |
|--------------|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|
| cd \ ab      | 00 | 01 | 11 | 10 | cd \ ab      | 00 | 01 | 11 | 10 | cd \ ab      | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00           |    |    | 1  |    | 00           |    |    | 1  | 1  | 00           |    |    | 1  | 1  |
| 01           | 1  |    |    |    | 01           |    | 1  |    |    | 01           | 1  | 1  |    |    |
| 11           | 1  | 1  |    |    | 11           |    |    |    | 1  | 11           |    | 1  |    |    |
| 10           |    |    | 1  |    | 10           |    |    | 1  | 1  | 10           |    |    | 1  |    |

a)
b)
c)

Hình 2.10

### 2.3.3. Thực hiện thiết bị số nhiều hàm tổ hợp

Khi cần thực hiện mạch số cho nhiều hàm tổ hợp, ta có thể tối thiểu hóa từng hàm thành phần, sau đó xác định số đầu vào và đầu ra của mạch bằng tổng số các đầu vào và ra của hàm thành phần. Ở đây ta xét mở rộng hơn một chút: liệu có thể kết hợp phần chung của các hàm thành phần để mạch được tối giản hơn không?

Giả thiết cho 3 hàm tổ hợp:  $f(a,b,c,d)$ ;  $g(a,b,c,d)$ ;  $h(a,b,c,d)$  cho ở bảng Karnaugh hình 2.10.

Cách làm:

Trước tiên ta lập bảng Karnaugh cho các cặp:  $fg$ ,  $fh$ ,  $gh$  và  $fgh$  như ở hình 2.11. Sau đó trên bảng Karnaugh cho từng hàm  $f$ ,  $g$ ,  $h$  ta đánh dấu phần chung của các

hàm bằng 0 còn phần riêng đánh dấu bằng 1 với các cặp hàm đã xây dựng ở hình 2.11. Kết quả ta được bảng Karnaugh ở hình 2.12.

Từ bảng Karnaugh ở hình 2.12 ta viết được:

$$f = ab\bar{d} + \bar{a}bcd + \bar{a}\bar{b}d$$

$$g = ab\bar{d} + a\bar{c}\bar{d} + \bar{a}\bar{b}cd + abc$$

$$h = ab\bar{d} + a\bar{c}\bar{d} + \bar{a}\bar{c}d + \bar{a}bd$$

Với các công thức này ta xây dựng được mạch thực hiện các hàm f, g, h như trên hình 2.13. Với mạch này chỉ cần 26 đầu vào với 8 mạch NAND, 3 mạch OR, trong khi đó nếu tối thiểu hóa riêng rẽ cho từng hàm thì cần 30 đầu vào với 10 mạch NAND và 3 mạch OR.

fg

|    |    | ab |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
|    |    | 00 | 01 | 11 | 10 |
| cd | 00 |    |    | 1  |    |
|    | 01 |    |    |    |    |
|    | 11 |    |    |    |    |
|    | 10 |    |    | 1  |    |
|    |    |    |    |    |    |

a)

fh

|    |    | ab |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
|    |    | 00 | 01 | 11 | 10 |
| cd | 00 |    |    | 1  |    |
|    | 01 | 1  |    |    |    |
|    | 11 |    | 1  |    |    |
|    | 10 |    |    | 1  |    |
|    |    |    |    |    |    |

b)

gh

|    |    | ab |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
|    |    | 00 | 01 | 11 | 10 |
| cd | 00 |    |    | 1  | 1  |
|    | 01 |    | 1  |    |    |
|    | 11 |    |    |    |    |
|    | 10 |    |    | 1  |    |
|    |    |    |    |    |    |

c)

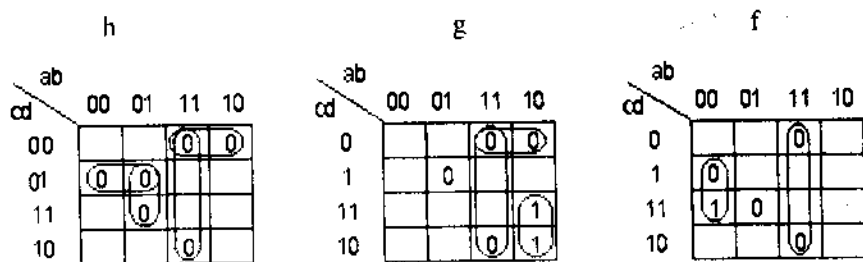
fgh

|    |    | ab |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
|    |    | 00 | 01 | 11 | 10 |
| cd | 00 |    |    | 1  |    |
|    | 01 |    |    |    |    |
|    | 11 |    |    |    |    |
|    | 10 |    |    | 1  |    |
|    |    |    |    |    |    |

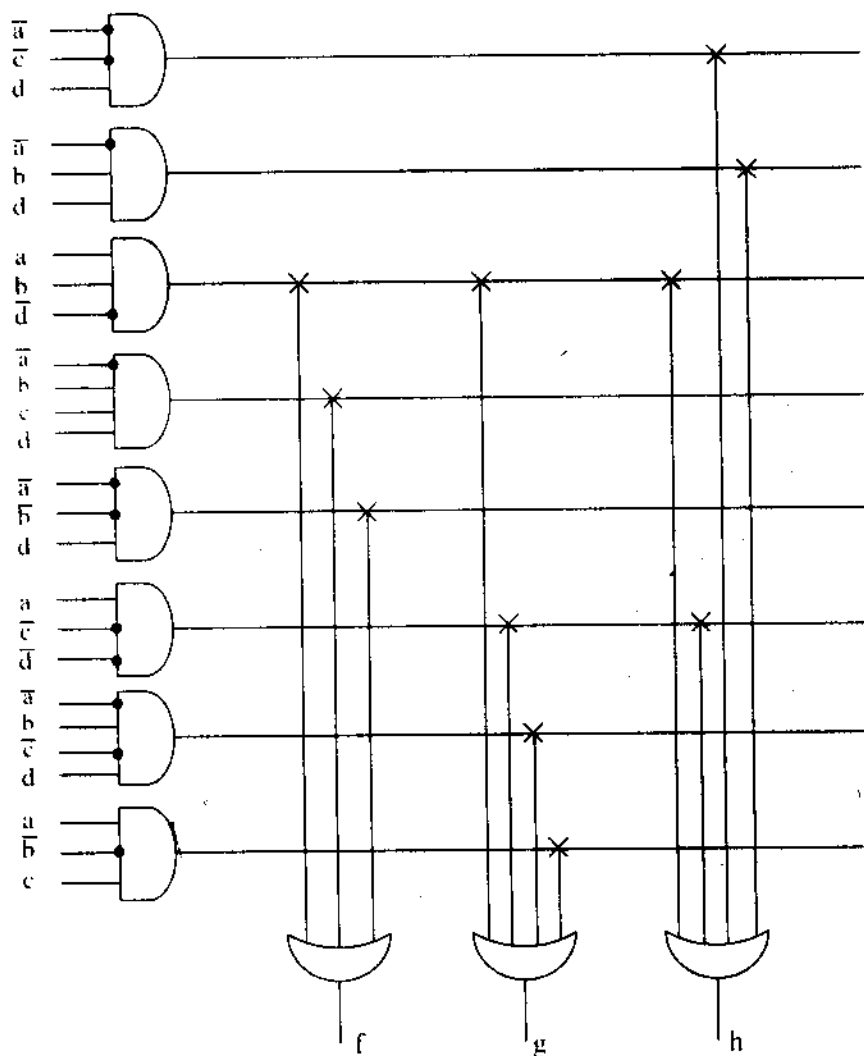
d)

Hình 2.11





Hình 2.12



Hình 2.13

## 2.4. MỘT SỐ MẠCH TỔ HỢP THƯỜNG GẶP

### 2.4.1. Mạch điều khiển đóng mở và đổi chiều quay động cơ điện

#### a. Mạch liên động khởi động

Những mạch tổ hợp điển hình trong truyền động điện thường là các mạch liên động, mạch bảo vệ. Các mạch này thường là một phần của các mạch khác.

Giả thiết có 4 động cơ điện  $M_A, M_B, M_C, M_D$  được đóng vào lưới điện nhờ 4 khởi động từ A, B, C, D và được điều khiển bằng 4 tổ hợp đóng cắt  $X_A, X_B, X_C, X_D$ . Điều kiện liên động là: các động cơ được khởi động và hoạt động bình thường theo trình tự A, B, C, D. Điều kiện này có thể thực hiện bằng nhiều phương án:

Ví dụ phương án 1: Các động cơ được khởi động theo trình tự từ cái thứ nhất đến cái thứ 4, nghĩa là:

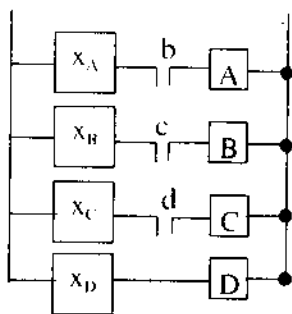
$$D = X_D; C = X_C.d; B = X_B.c; A = X_A.b$$

Với phương án này, ta có mạch nguyên lý như trên hình 2.14.

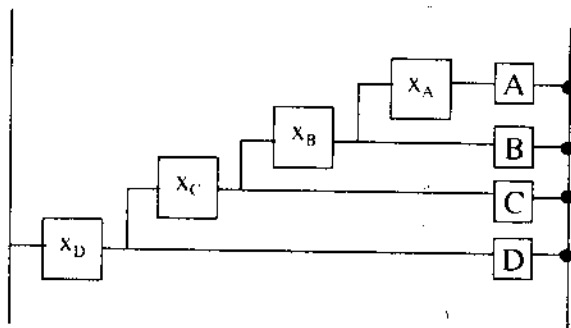
Ví dụ phương án 2: Động cơ được khởi động khi nối nối tiếp tất cả các thiết bị đóng mở.

$$D = X_D; C = X_C.X_D; B = X_B.X_C.X_D; A = X_A.X_B.X_C.X_D$$

Mạch điện nguyên lý như ở hình 2.15.



Hình 2.14



Hình 2.15

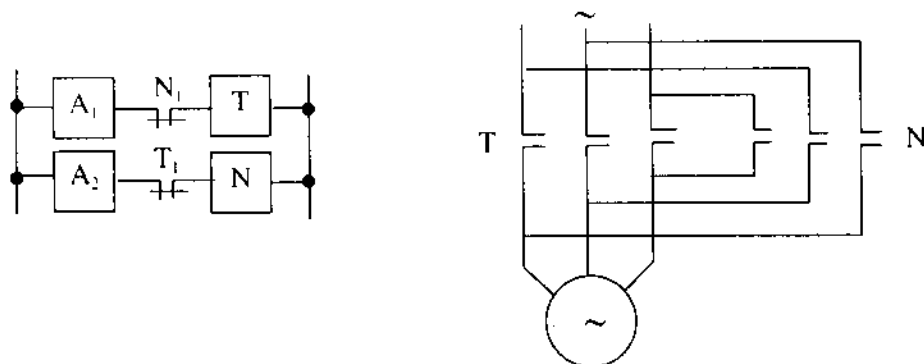
#### b. Mạch liên động lúc đảo chiều

Giả thiết cần điều khiển động cơ điện xoay chiều quay theo 2 hướng: hướng thuận (T) và hướng ngược (N), ta có thể dùng sơ đồ liên động như ở hình 2.16. Ở đây để đóng động cơ quay theo chiều thuận ta dùng công tắc tơ T và để đóng động cơ quay theo chiều ngược ta dùng công tắc tơ N. Không bao giờ cho phép cả công

tắc tơ T và N đồng thời có điện (vì như vậy làm ngắn mạch hệ thống). Để đảm bảo liên động hoạt động an toàn, ta dùng 2 tiếp điểm thường đóng  $N_1$  và  $T_1$  mắc nối tiếp vào mạch cuộn dây T và N. Với cách nối này, khi một trong hai công tắc tơ có điện sẽ phủ định sự có điện của công tắc tơ kia. Các khối  $A_1$  và  $A_2$  là các khối tín hiệu đóng mở, có thể chỉ là các nút ấn đóng mở đơn giản, nhưng cũng có thể là một tổ hợp các điều kiện của mạch trung gian rất phức tạp.

Phương trình đóng mở của các công tắc tơ như sau:

$$T = A_1 \bar{N}_1; \quad N = A_2 \bar{T}_1$$



Hình 2.16

## 2.4.2. Một số ví dụ về mạch số tổ hợp

### a. Mạch cộng cơ số 2

Giả thiết ta thực hiện phép cộng 2 số A, B (4 bit) với tổng là S, các giá trị số cụ thể là:

C: 1 1 1 1 0 Các giá trị nhớ sau khi cộng từng bit một

A: 1 0 1 1  $(11)_{10}$

B: 0 1 1 1  $(7)_{10}$

-----

S: 1 0 0 1 0  $(18)_{10}$

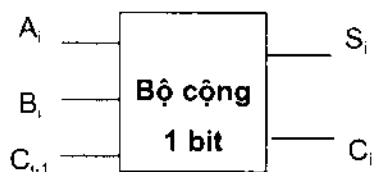
Từ phép cộng trên ta rút ra nguyên tắc cộng như sau:

+ Tiến hành cộng từ bit (cột) có trọng số thấp nhất đến bit có trọng số cao.

+ Cộng chữ số  $A_i$  (bit thứ  $i$  của số  $A$ ) với chữ số  $B_i$  (bit thứ  $i$  của số  $B$ ) và chữ số nhớ  $C_{i-1}$  (bit nhớ được mang sang từ bit thứ  $i-1$ ), ta được kết quả là tổng  $S_i$  đặt ở cột thứ  $i$ .

+ Chữ số nhớ ở cột  $i$  được nhớ sang cột  $i+1$ .

Như vậy một bộ cộng  $n$  bit gồm  $n$  bộ cộng 1 bit, mỗi một bộ cộng 1 bit có 3 đầu vào  $A_i$ ,  $B_i$  và  $C_{i-1}$ , có 2 đầu ra là  $S_i$  và  $C_i$ . Sơ đồ khối bộ cộng 1 bit như ở hình 2.17a.



a) Sơ đồ khối bộ cộng 1 bit

| $A_i$ | $B_i$ | $C_{i-1}$ | $S_i$ | $C_i$ |
|-------|-------|-----------|-------|-------|
| 0     | 0     | 0         | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 1         | 1     | 0     |
| 0     | 1     | 0         | 1     | 0     |
| 0     | 1     | 1         | 0     | 1     |
| 1     | 0     | 0         | 1     | 0     |
| 1     | 0     | 1         | 0     | 1     |
| 1     | 1     | 0         | 0     | 1     |
| 1     | 1     | 1         | 1     | 1     |

b)

| $S_i$ | $B_i, C_{i-1}$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|-------|----------------|----|----|----|----|
| $A_i$ |                |    |    |    |    |
| 0     |                |    | 1  |    | 1  |
| 1     |                | 1  |    | 1  |    |

$$S_i = A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1}$$

| $C_i$ | $B_i, C_{i-1}$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|-------|----------------|----|----|----|----|
| $A_i$ |                |    |    |    |    |
| 0     |                |    |    | 1  |    |
| 1     |                |    | 1  | 1  | 1  |

$$C_i = A_i B_i + A_i C_{i-1} + B_i C_{i-1}$$

c)

Hình 2.17.

Hàm tổng  $S_i$  và số nhớ  $C_{i-1}$ ,  $C_i$  được biểu diễn ở bảng Karnaugh (hình 2.17b) và tối thiểu hóa ở bảng tối thiểu hóa (hình 2.17c).

Từ bảng tối thiểu hóa hình (2.17c) ta có phương trình:

$$S_i = A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1}$$

$$C_i = A_i B_i + A_i C_{i-1} + B_i C_{i-1} = A_i B_i + C_{i-1} (A_i + B_i);$$

Từ phương trình kết quả ta thấy có thể thực hiện mạch cộng 1 bit bằng 2 cách:

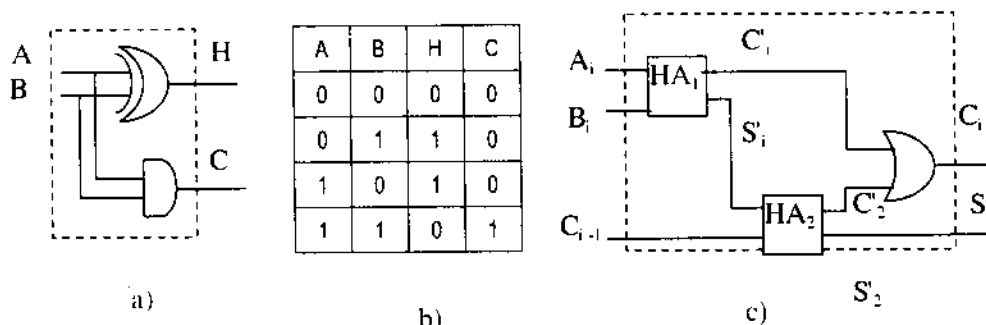
1. Xây dựng sơ đồ bộ cộng trực tiếp từ phương trình  $S_i, C_i$ .
2. Xây dựng sơ đồ bộ cộng 1 bit từ các bộ "Hoặc loại trừ", cách này hay dùng trong thực tế.

Khi chỉ dùng 1 mạch "Hoặc loại trừ" kết hợp với 1 mạch "Và" để làm mạch cộng, ta có sơ đồ nguyên lý (hình 2.18a) và bảng chân lý (hình 2.18b).

Sơ đồ nguyên lý (hình 2.18a) chưa thực hiện đầy đủ chức năng mạch cộng 1 bit (còn thiếu đầu vào, vì vậy thường gọi mạch trên hình 2.18a là bộ cộng nửa tổng, ký hiệu HA), thực tế phải sử dụng 2 khối như mạch trên hình 2.18a ghép lại, kết hợp thêm một mạch "Hoặc" mới có một bộ cộng 1 bit hoàn chỉnh. Sơ đồ nguyên lý để thực hiện đầy đủ bộ cộng 1 bit như ở hình 2.18c. Theo hình 2.18c ta viết được :

$$S_i = S'_i \oplus C_{i-1} = A_i \oplus B_i \oplus C_i$$

$$C_i = C'_i + C_2 = A_i B_i + C_{i-1}(A_i + B_i)$$



Hình 2.18.

### b. Bộ trừ cơ số 2

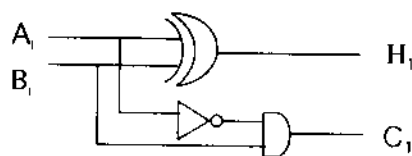
Bộ trừ cơ số 2 n bit gồm n mạch trừ cơ số 2 1bit và cũng xây dựng tương tự như bộ cộng cơ số 2. Mạch trừ 1 bit cơ số 2 có bảng chân lý đầy đủ như ở hình 2.19a.

| $A_i$<br>Chữ số thứ<br>i của số bị<br>trừ | $B_i$<br>Chữ số thứ<br>i của số trừ | $C_{i-1}$<br>Nhớ từ cột<br>i - 1 đưa<br>đến | $H_i$<br>Chữ số của<br>hiệu | $C_i$<br>Số nhớ đưa tới<br>cột có trong số<br>lớn hơn |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
| 0                                         | 0                                   | 0                                           | 0                           | 0                                                     |
| 0                                         | 0                                   | 1                                           | 1                           | 1                                                     |
| 0                                         | 1                                   | 0                                           | 1                           | 1                                                     |
| 0                                         | 1                                   | 1                                           | 0                           | 1                                                     |
| 1                                         | 0                                   | 0                                           | 1                           | 0                                                     |
| 1                                         | 0                                   | 1                                           | 0                           | 0                                                     |
| 1                                         | 1                                   | 0                                           | 0                           | 0                                                     |
| 1                                         | 1                                   | 1                                           | 1                           | 1                                                     |

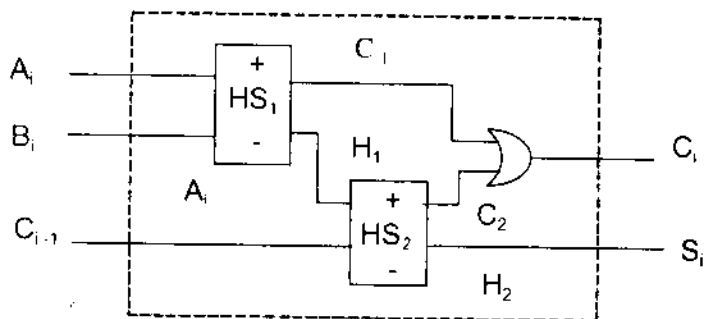
a)

| A | B | H | C |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |

b)



c)



d)

Hình 2.19.

Trong thực tế, để xây dựng bộ trừ đầy đủ 1 bit cơ số 2 thường sử dụng các phần tử "Hoặc loại trừ" làm cơ sở, từ đó xây dựng nên các mạch cơ sở (thường gọi là mạch "nửa hiệu") và ghép 2 mạch "nửa hiệu" này lại thành bộ trừ đầy đủ 1 bit.

Nguyên lý mạch "nửa hiệu" dùng phân tử "Hoặc loại trừ" có bảng chân lý như ở hình 2.19b và từ 2.19b ta viết được phương trình :

$$H = A_i \oplus B_i; \quad C_i = \overline{A_i} \cdot B_i$$

Với phương trình của mạch " nửa hiệu", ta vẽ được mạch như trên hình 2.19c.

Một bộ trừ đầy đủ 1 bit cơ sở 2 được ghép từ 2 mạch cơ sở "nửa hiệu" được vẽ trên hình 2.19d.

Trong máy tính số, thường phép trừ được thực hiện bằng phép cộng số bù 2, do vậy bộ trừ đầy đủ 1 bit lại được biến đổi đi để đạt được mục đích này.

Sau đây ta mô tả thêm một chút về thiết bị thực hiện phép trừ bằng cách thực hiện phép cộng số bù 2. Giả thiết có các số : + 4 và + 7, biểu diễn các số đó thành số 4 bit ở hệ cơ sở 2 là : 0 0 1 1 và 0 1 1 1, số bù 2 của các số này là : 1 1 0 1 và 1 0 0 1.

Thực hiện các phép toán sau:

$$\begin{array}{r} \text{Tổng thứ nhất:} \quad +4 : 0100 \\ \quad \quad \quad +7 : 0111 \\ \hline \quad \quad \quad +11 : 1011 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{Tổng thứ hai:} \\ \quad \quad \quad +4 : 0100 \\ \quad \quad \quad -7 : 1001 \\ \hline \quad \quad \quad -3 : 1101 \end{array}$$

Số 1 1 0 1 chính là số bù 2 của + 3

Tổng thứ ba :

$$\begin{array}{r} \quad \quad \quad -4 : 1100 \\ \quad \quad \quad +7 : 0111 \\ \hline \quad \quad \quad +3 : 1001 \end{array}$$

Sự xuất hiện số 1 ở bit thứ 5 của tổng sẽ mất đi, còn lại số 0 0 1 1 là số + 3.

Tổng thứ tư :

$$\begin{array}{r} \quad \quad \quad -4 : 1100 \\ \quad \quad \quad -7 : 1001 \\ \hline \quad \quad \quad -11 : 10101 \end{array}$$

Sự xuất hiện số 1 ở bit thứ 5 sẽ mất đi, còn lại số 0 1 0 1 là số bù 2 của số + 11.

Mạch thực hiện phép trừ hai số 4 bit bằng cách lấy số bị trừ ( số dương) cộng với số bù 2 của số trừ như ở hình 2.20. Ở đây vi mạch 7483 là vi mạch cộng nhớ nhanh, còn vi mạch 7486 là vi mạch cộng modul.

Bit dấu của phép toán:  $M = 0$  là phép cộng,  $M = 1$  là phép trừ.

$C_v$  : Bit nhớ đưa vào.

$C_r$  : Bit nhớ của kết quả.

$A = A_3.A_2.A_1.A_0$  : Số bị trừ.

$B = B_3.B_2.B_1.B_0$  : Số trừ .

$B'_3.B'_2.B'_1.B'_0$  : Số bù 1 của số trừ.

Cách thực hiện phép toán như sau:

Khi thực hiện phép cộng:  $M = 0$ , lúc này:

$$B'_3.B'_2.B'_1.B'_0 = B_3.B_2.B_1.B_0 + 0000 = B_3.B_2.B_1.B_0$$

$$C_r S_3.S_2.S_1.S_0 = A_3.A_2.A_1.A_0 + B'_3.B'_2.B'_1.B'_0 + C_v =$$

$$= A_3.A_2.A_1.A_0 + B'_3.B'_2.B'_1.B'_0 + 0000 = A_3.A_2.A_1.A_0 + B_3.B_2.B_1.B_0.$$

Khi thực hiện phép trừ:  $M = 1$ , lúc này:

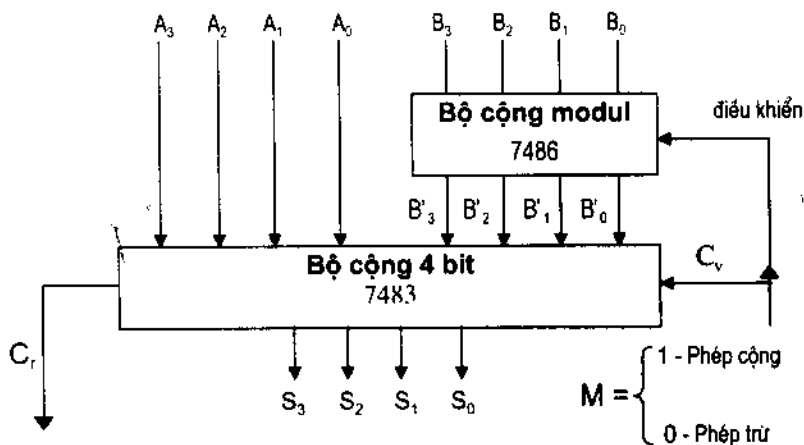
$$B'_3.B'_2.B'_1.B'_0 = B_3.B_2.B_1.B_0 + 1111 = \text{Số bù 1 của } B_3.B_2.B_1.B_0$$

$$C_r S_3.S_2.S_1.S_0 = A_3.A_2.A_1.A_0 + B'_3.B'_2.B'_1.B'_0 + C_v$$

$$C_r S_3.S_2.S_1.S_0 = A_3.A_2.A_1.A_0 + (B'_3.B'_2.B'_1.B'_0 + 1111)$$

$$C_r S_3.S_2.S_1.S_0 = A_3.A_2.A_1.A_0 + \text{số bù 2 của } B_3.B_2.B_1.B_0.$$

$$C_r S_3.S_2.S_1.S_0 = A_3.A_2.A_1.A_0 - B_3.B_2.B_1.B_0.$$



Hình 2.20. Mạch thực hiện phép trừ hai số A, B bằng cách cộng hai số bù 2 của số trừ



## Câu hỏi và bài tập

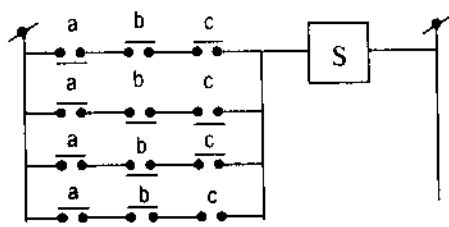
1. Phân tích mạch rơle cho ở hình 2.21.
2. Cho hàm logic 3 biến như như bảng ở hình 2.22, hãy thiết kế mạch logic 2 tầng dùng mạch AND và NOR.
3. Thiết kế mạch tổ hợp 4 đầu vào: a,b,c,d và 3 đầu ra:  $Y_1, Y_2, Y_3$ :

$$Y_1(a,b,c,d) = L(10,12,14,15) \text{ và } N = 7,8.$$

$$Y_2(a,b,c,d) = L(0,7,12) \text{ và } N = 2,14,15$$

$$Y_3(a,b,c,d) = L(2,8,14) \text{ và } N = 0,10,12$$

(Thể hiện mạch ở dạng phần tử rơle và phần tử số).



Hình 2.21

|   |   | bc |    |    |    |
|---|---|----|----|----|----|
|   |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
| a | 0 | 1  |    |    | 1  |
|   | 1 |    | 1  |    | 1  |

Hình 2.22.

## Chương 3. MẠCH TRÌNH TỰ

### 3.1. KHÁI NIỆM CHUNG

#### 3.1.1. Giới thiệu và một số định nghĩa

Mạch trình tự hay mạch dây (sequential circuits) là mạch trong đó trạng thái của tín hiệu ra không những phụ thuộc tín hiệu vào mà còn phụ thuộc cả trình tự tác động của tín hiệu vào, nghĩa là có nhớ các trạng thái. Như vậy, về mặt thiết bị thì ở mạch trình tự không những chỉ có các phần tử đóng mở mà còn có cả các phần tử nhớ.

Sơ đồ cấu trúc cơ bản của mạch trình tự như ở hình 3.1. Nét đặc trưng ở đây là mạch có "phản hồi" thể hiện qua các biến nội bộ ( $Y_1, Y_2$  và  $y_1, y_2$ ).

Hoạt động trình tự của mạch được thể hiện ở sự thay đổi của biến nội bộ  $Y$ . Trong quá trình làm việc, do sự thay đổi của các tín hiệu vào  $X$  ( $X_1, X_2, \dots$ ) sẽ dẫn đến thay đổi các tín hiệu ra  $Z$  ( $Z_1, Z_2, \dots$ ) và cả tín hiệu nội bộ  $Y$  ( $Y_1, Y_2, \dots$ ). Sự thay đổi của biến  $Y$  ( $Y_1, Y_2, \dots$ ) sẽ dẫn đến thay đổi biến  $y$  ( $y_1, y_2, \dots$ ) sau thời gian ( $\tau_1, \tau_2, \dots$ ). Sự thay đổi của các biến  $y$  ( $y_1, y_2, \dots$ ) lại có thể dẫn đến thay đổi các tín hiệu ra  $Z$ , kể cả  $Y$ , rồi thì sự thay đổi của  $Y$  lại dẫn đến sự thay đổi của  $y \dots$  Quá trình nếu cứ tiếp tục lâu dài như vậy sẽ làm cho hệ mất ổn định, nghĩa là mạch không làm việc được. Yêu cầu đặt ra là phải làm cho mạch ổn định, nghĩa là khi mạch trình tự có sự thay đổi của tín hiệu vào sẽ chuyển từ một trạng thái ổn định này đến một trạng thái mới ổn định khác và trải qua một số trạng thái trung gian không ổn định. Khái niệm ổn định và không ổn định này không chỉ liên quan đến cả toàn mạch mà còn liên quan đến cả từng phần tử.

Như mạch ở hình 3.1 thì:

- mạch sẽ ổn định khi:

$$Y_1 = y_1 \text{ và } Y_2 = y_2;$$

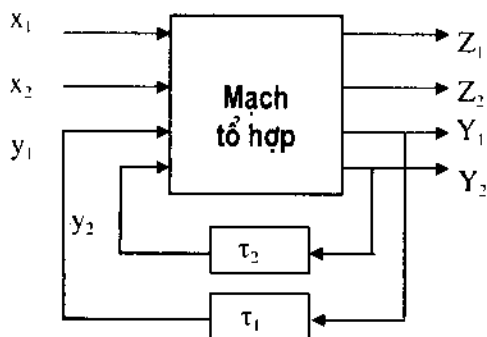
- mạch không ổn định khi:

$$Y_1 = \bar{y}_1 \text{ hoặc } Y_2 = \bar{y}_2.$$

Nếu một role có cuộn dây  $B$  và tiếp điểm  $b$  (thường mở) và  $\bar{b}$  (thường đóng) thì:

- trạng thái ổn định là:

$$B = 0, b = 0, \bar{b} = 1;$$



Hình 3.1

$$B = 1, b = 1, \bar{b} = 0;$$

- trạng thái không ổn định là:

$$B = 0, b = 1, \bar{b} = 0;$$

$$B = 1, b = 0, \bar{b} = 1$$

Như vậy với mạch rơle ta có thể phát biểu: Trạng thái kích thích hiện thời của cuộn dây sẽ xác định trạng thái tiếp theo của việc đóng các tiếp điểm hoặc nói cách khác là trạng thái của tiếp điểm sẽ xác định trạng thái hiện thời của việc kích thích cuộn dây.

Về mặt toán học, mạch trình tự chính là một ô tômát  $A$  với các bộ dữ liệu sau:

$$A = (X, Z, S, F_1, F_2),$$

trong đó:

$X$  là tập các trạng thái vào:  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad x_i \in X$

$Z$  là tập các trạng thái ra:  $\{z_1, z_2, \dots, z_m\} \quad z_i \in Z$

$S$  là tập các trạng thái trong:  $\{s_1, s_2, \dots, s_k\} \quad s_h \in S$

$F_1$  là hàm chuyển biến trạng thái (xác định trình tự biến đổi trạng thái trong, hay là ánh xạ  $S \times X \Rightarrow S'$ ).

$F_2$  là hàm ra (xác định trạng thái ra phụ thuộc vào trạng thái vào và trạng thái trong, hay là ánh xạ  $S \times X \Rightarrow Z$ ).

Mạch tổ hợp chính là trường hợp riêng của mạch trình tự khi số trạng thái trong bằng 1.

Từ mô hình toán của ô tômát ta có một số khái niệm sau:

- **ô tômát hữu hạn**: Có tập hữu hạn các trạng thái đầu vào  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  và tập hữu hạn các trạng thái đầu ra  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ , tập hữu hạn các trạng thái trong  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_k\}$ .

- **ô tômát xác định**: Có các hàm  $F_1, F_2$  là các hàm đơn trị.

- **ô tômát không xác định**: Có các hàm  $F_1, F_2$  không đơn trị.

- **ô tômát xác suất**: Nếu có các hàm  $F_1, F_2$  là hàm với xác suất cho trước.

- **ô tômát mờ (Fuzzy otomat)**: Nếu có  $F_1, F_2$  là các hàm biến mờ.

- **ô tômát Mealy và ô tômát Moore**: Với ô tômát Mealy thì  $S' = f_1(X, S)$ ,  $Z = f_2(X, S)$ ; với ô tômát Moore thì  $S' = f_1(X, S)$ ,  $Z = f_2(S)$ .

**ô tômát đồng bộ**: Lúc này có sự điều khiển của tín hiệu đồng bộ đưa từ ngoài vào (xung nhịp  $C$ ). Sự chuyển đổi trạng thái trong từ  $S_i$  đến  $S_j$  chỉ xảy ra khi có xung

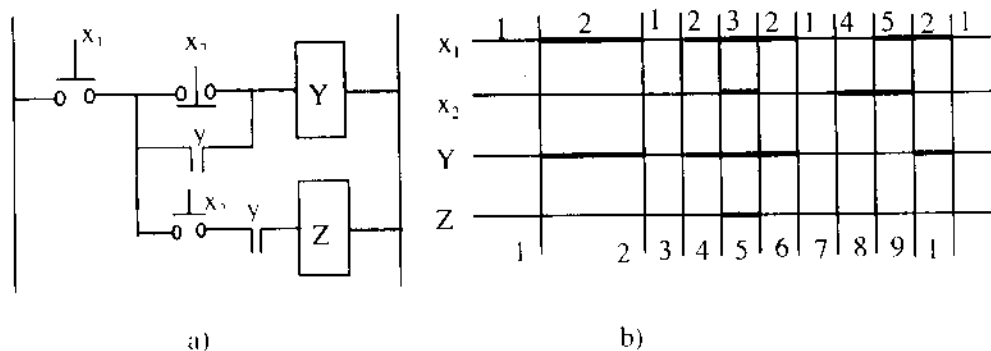
nhiệm tác động. Trong mạch trình tự yêu cầu khoảng thời gian giữa hai xung nhịp phải đủ lớn để mạch luôn luôn ở trạng thái ổn định trong khoảng thời gian đó.

- *ô tô mát không đồng bộ*: Lúc này không có tín hiệu đồng bộ. Với hệ này quá trình chuyển từ trạng thái ổn định  $S_i$  đến trạng thái ổn định  $S_j$  có thể lướt qua một số trạng thái không ổn định.

### 3.1.2. Mô tả hoạt động của mạch trình tự

Giả thiết có mạch trình tự (hình 3.2), ta mô tả hoạt động của mạch khi thay đổi trạng thái đóng mở của  $x_1, x_2$ .

Một trong những công cụ để diễn đạt hoạt động của mạch trình tự là biểu đồ đóng mở. Biểu đồ đóng mở (hình 3.2b) mô tả hoạt động của mạch 3.2a. Trên biểu đồ hình 3.2b, chiều ngang biểu thị thời gian, chiều đứng thể hiện tất cả các đại lượng vào/ra của mạch, nét đậm biểu hiện tín hiệu giá trị 1, còn nét mảnh biểu hiện giá trị 0.



Hình 3.2

Từ biểu đồ (hình 3.2b) ta thấy rằng, trạng thái  $Z = 1$  chỉ đạt được khi theo trình tự  $x_1 = 1$ , tiếp theo  $x_2 = 1$ . Nếu ta cho  $x_2 = 1$  trước, sau đó cho  $x_1 = 1$  thì cả  $Y$  và  $Z$  đều không thể bằng 1. Ở đây ta thấy tồn tại 3 tổ hợp ổn định lâu dài của  $Y$  và  $Z$ , đó là:  $Y, Z = 00, 10, 11$ . Thay cho biểu đồ (hình 3.2), ta có thể mô tả hoạt động của mạch trình tự bằng bảng trạng thái. Bảng trạng thái cũng chỉ ra cách chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác khi tổ hợp biến đầu vào thay đổi giá trị. Với 3 tổ hợp  $Y, Z = 00, 10, 11$  ta thấy có 5 trạng thái ổn định khác nhau: 1, 2, 3, 4, 5 như ở bảng trên hình 3.3. Ở đây các số để chỉ trạng thái ổn định được khoanh tròn.

Từ bảng ở hình 3.3 ta thấy với  $x_1, x_2 = 11$  sẽ có 2 trạng thái ổn định khác nhau: ③, ⑤. Bảng hình 3.3 chỉ ra tất cả các trạng thái, tuy vậy không chỉ ra cách thức đạt được trạng thái đó. Chẳng hạn câu hỏi: Bằng cách đóng cắt nào để có trạng thái ③. Để trả lời câu hỏi này ta tiếp tục xây dựng bảng như ở hình 3.4.

| $x_1x_2$ |    |    |    | Y | Z |
|----------|----|----|----|---|---|
| 00       | 01 | 11 | 10 |   |   |
| ①        | ④  | ⑤  |    | 0 | 0 |
|          |    |    | ②  | 1 | 0 |
|          |    | ③  |    | 1 | 1 |

Hình 3.3

| $x_1x_2$ |    |    |    | Y | Z |
|----------|----|----|----|---|---|
| 00       | 01 | 11 | 10 |   |   |
| ①        | ④  | ⑤  | 2  | 0 | 0 |
| 1        |    | 3  | ②  | 1 | 0 |
|          |    | ③  | 2  | 1 | 1 |

Hình 3.4

Từ biểu đồ đóng mở (hình 3.2) ta thấy rằng, trạng thái 2 với  $x_1, x_2 = 10$  có thể đạt được từ trạng thái 1 hoặc trạng thái 5, do vậy ở hàng 1, cột  $x_1, x_2 = 10$  của bảng hình 3.4 ta đánh dấu số 2 (số 2 không có vòng tròn) để chỉ đó là trạng thái chuyển. Bảng lý luận tương tự ta đánh dấu được các trạng thái chuyển ở các hàng 2 và hàng 3 của bảng trên hình 3.4 và bảng này sẽ chứa đủ tất cả trạng thái ổn định, không ổn định và trình tự chuyển đổi trạng thái của mạch khi thay đổi tín hiệu vào.

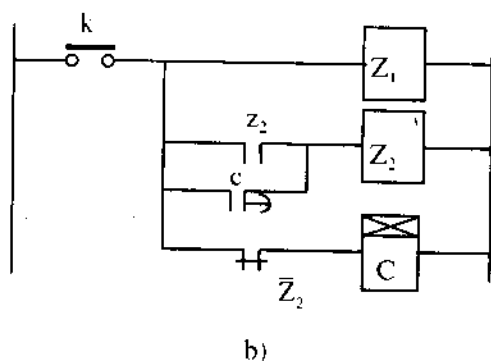
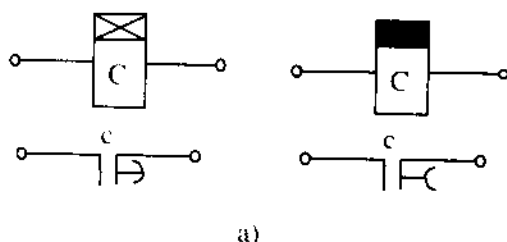
## 3.2. MỘT SỐ PHẦN TỬ NHỎ TRONG MẠCH TRÌNH TỰ

Như nói ở trên, tính đặc thù của mạch trình tự là có nhớ, do vậy ta sẽ giới thiệu tóm tắt một số phần tử nhớ.

### 3.2.1. Role thời gian

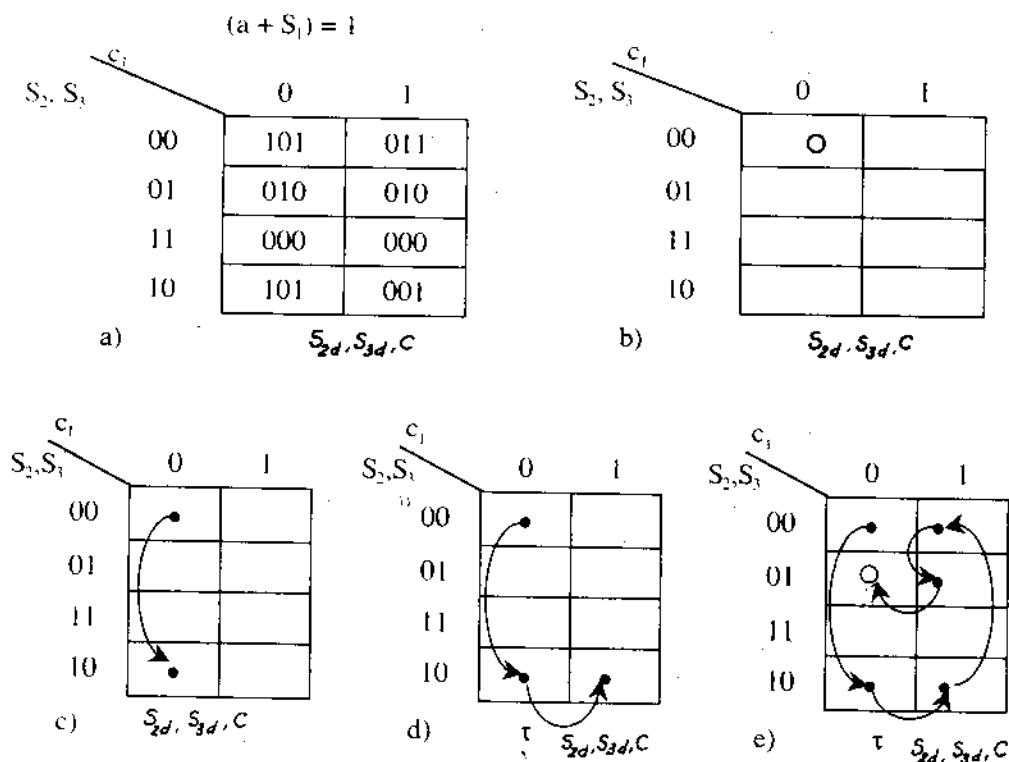
Role thời gian là phần tử đóng cắt 2 trạng thái, nhưng giữa 2 trạng thái ổn định 0 và 1 sẽ tồn tại "khá lâu" một trạng thái trung gian: trạng thái không ổn định. Ví dụ một role thời gian đóng chạm với cuộn dây C và tiếp điểm đóng chạm c (hình 3.5a). Với role thời gian này, sau khi cuộn dây role có điện, phải một thời gian "khá lâu" tiếp điểm c mới đóng lại, nghĩa là mạch ở trạng thái không ổn định, như vậy lúc này ta có:

$$C = 1, c = 0, \bar{c} = 1.$$



Hình 3.5a, b





Hình 3.7.

Để phân tích mạch trình tự có sử dụng role thời gian ở hình 3.6, ta giả thiết rằng lúc khởi động thì  $(a + s_1) = 1$ , từ đó ta viết được phương trình của mạch:

$$C = \bar{s}_3; \quad S_{2d} = \bar{s}_1, \bar{c}_1; \quad S_{3d} = (c_2 + s_3) \bar{s}_2;$$

Bảng kích thích của mạch không chế ở hình 3.6 được thể hiện trên hình 3.7a.

Bảng chuyển trạng thái: Từ việc so sánh trạng thái các tiếp điểm  $s_2, s_3, c_1$  với trạng thái các cuộn dây công tác  $s_{2d}, s_{3d}, C$  ta nhận ra được trạng thái ổn định (ký hiệu: O) và trạng thái không ổn định (ký hiệu: •).

Trạng thái ban đầu khi  $s_1 = 0$ , tất cả các cuộn dây  $s_{2d}, s_{3d}, C$  đều chưa có điện. Ngay sau thời điểm đóng nút ấn  $a$  thì  $s_2, s_3, c = 000$ , tương ứng với ô số 0 trên hình 3.7b, đó là trạng thái không ổn định, vì  $s_{2d}$  và  $C$  lúc này đã có điện. Mạch sẽ nhanh chóng chuyển sang trạng thái  $s_2, s_3, c = 100$  (ô số 4, hình 3.7c). Trạng thái tiếp theo là tiếp điểm  $c_1$  sẽ chuyển từ 0 sang 1, sự việc xảy ra sau một thời gian chậm  $\tau$ . Tiếp tục phân tích như vậy, ta thấy mạch sẽ lướt qua một số trạng thái không ổn định để

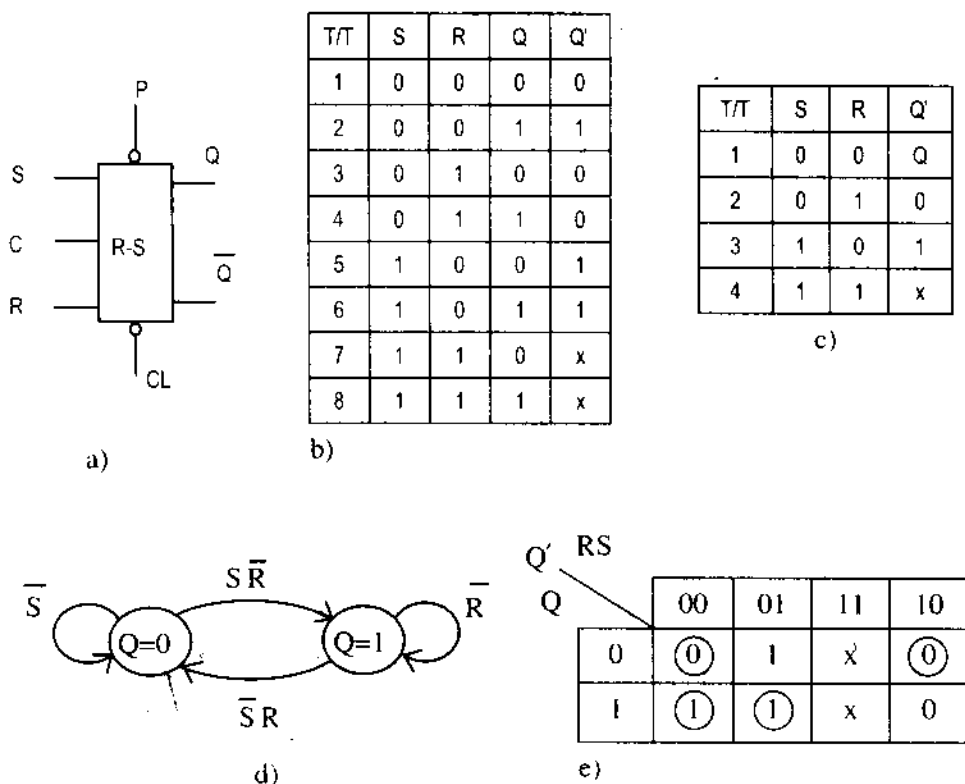
rồi chuyển đến trạng thái ổn định cuối cùng là trạng thái  $s_2 s_3 c_1 = 010$  ( ô số 2 của bảng trên hình 3.7e ).

### 3.2.2. Các mạch lật

Mạch lật FF (Flip-Flop) là phần tử có khả năng nhớ một trong 2 trạng thái: 0 hoặc 1. Để xây dựng các mạch số trình tự, ngoài các phần tử AND, OR, NAND, NOR... thì còn cần phải có phần tử nhớ là các mạch lật. Ta xét 4 loại mạch lật thường dùng là: RS, JK, T, D.

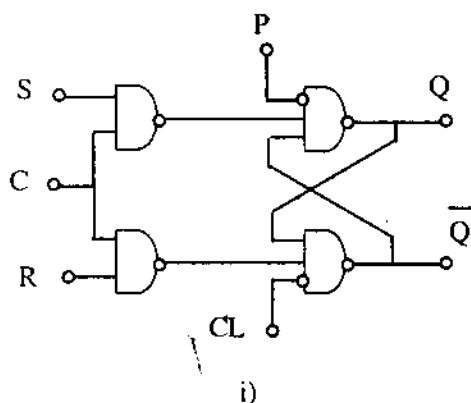
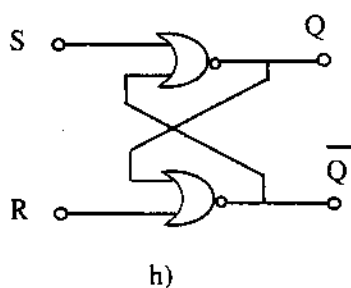
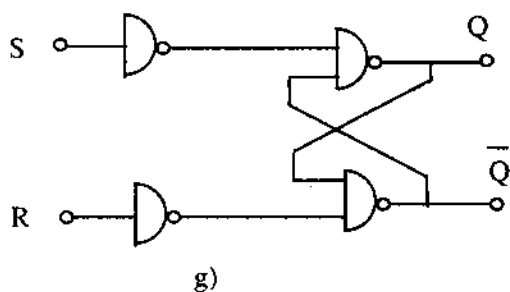
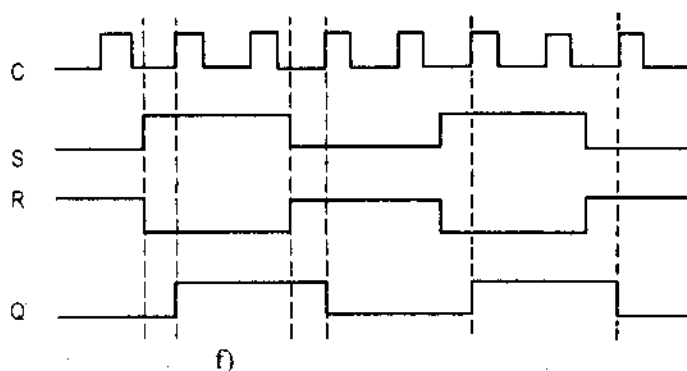
#### a. Mạch lật RS

Mạch lật RS có hai đầu vào điều khiển là S và R, C là đầu vào xung nhịp, hai đầu ra là Q và  $\bar{Q}$ , P là chân tín hiệu đặt trước và CL là chân tín hiệu xóa. Bố trí chân tín hiệu và bảng chân lý của mạch lật RS như ở hình 3.8.



Hình 3.8. Mạch lật RS





**Hình 3.8.** Mạch lật RS (tiếp theo)

- a. Ký hiệu và bố trí chân tín hiệu;
- b. Bảng trạng thái;
- c. Bảng trạng thái rút gọn;
- d. Đồ hình Moore;
- e. Bảng Karnaugh;
- f. Đặc tính thời gian;
- g. và h. RS chế tạo từ NAND và NOR;
- i. RS tạo từ NAND và NOR và các tín hiệu C, CL, P.

Từ bảng chân lý rút gọn (hình 3.8c) ta thấy rằng:

Khi  $R = S = 0$ , mạch giữ nguyên trạng thái cũ ( $Q' = Q$ ).

Khi  $R = S = 1$ , mạch luôn luôn chuyển đến trạng thái 1 ( $Q' = 1$ ).

Khi  $R = S = 1$ , mạch luôn luôn chuyển đến trạng thái 0 ( $Q' = 0$ ).

Khi  $R = S = 1$ , tín hiệu ra không xác định, nên tổ hợp tín hiệu này bị cấm.

Theo bảng Karnaugh (hình 3.8b) ta thấy, mỗi cặp tín hiệu vào RS đều tồn tại một trạng thái ổn định, nghĩa là mạch RS có thể làm việc ở chế độ không đồng bộ (không cần xung nhịp), đồng thời mạch chỉ thay đổi trạng thái từ 0  $\Rightarrow$  1 (nghĩa là được bật) tại thời điểm ký hiệu là  $T_k$ , và chuyển từ 1  $\rightarrow$  0 (nghĩa là tắt) ở thời điểm  $T_l$  thoả mãn phương trình:

$$T_k = SR \bar{Q} ; \quad T_l = \bar{S} R Q .$$

Khi xét đến điều kiện cấm R và S đồng thời bằng 1, nghĩa là  $RS = 0$ , ta có:

$$T_k = SQ ; \quad T_l = RQ .$$

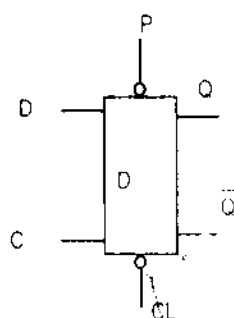
Từ bảng Karnaugh (hình 3.8b) ta có phương trình đặc trưng cho mạch RS là:

$$Q' = S + RQ .$$

Từ phương trình này ta có thể thực hiện mạch RS như ở hình 3.8i.

### b. Mạch lật D

Mạch lật D có một đầu vào điều khiển là D, còn các chân tín hiệu khác vẽ trên hình 3.9.



a)

| D | Q | Q' |
|---|---|----|
| 0 | 0 | 0  |
| 0 | 1 | 0  |
| 1 | 0 | 1  |
| 1 | 1 | 1  |

b)

| D | Q' |
|---|----|
| 0 | 0  |
| 1 | 1  |

c)

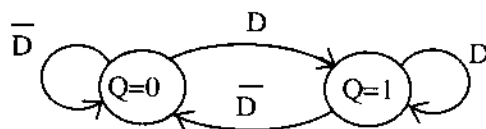
Hình 3.9 Mạch lật D

Q' D

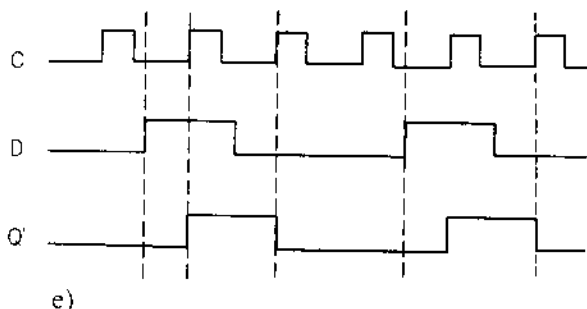
Q

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |

d)



f)



Hình 3.9. Mạch lật D (tiếp theo)

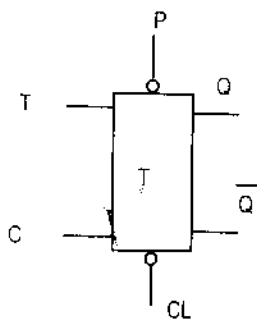
- a. Ký hiệu và bố trí hàm tín hiệu;
- b. và c. Bảng trạng thái đầy đủ và rút gọn;
- d. Bảng Karnaugh;
- e. Đặc tính thời gian;
- f. Đồ hình Moore.

Từ bảng Karnaugh ta thấy, mạch D có thể làm việc ở chế độ không đồng bộ (vì mỗi một tổ hợp tín hiệu đều có 1 trạng thái ổn định), đồng thời phương trình đặc trưng cho mạch là:  $Q' = D$

Tín hiệu ra Q là lặp lại tín hiệu vào D sau một thời gian trễ (D - Delay)

### c. Mạch lật T

Mạch lật T có một đầu vào điều khiển là T, còn các chân tín hiệu khác xem trên hình 3.10.



a)

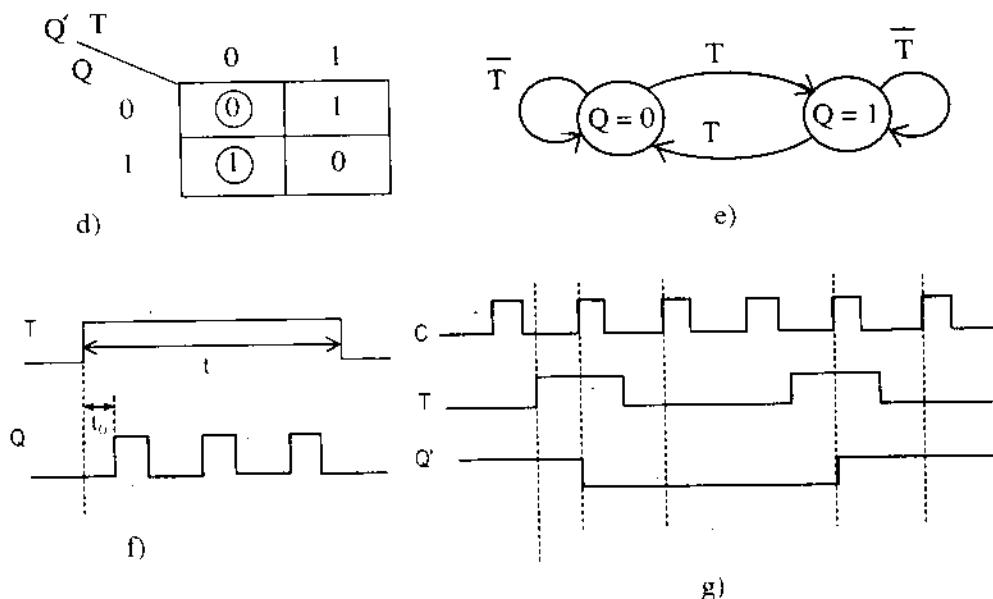
| T | Q | Q' |
|---|---|----|
| 0 | 0 | 0  |
| 0 | 1 | 1  |
| 1 | 0 | 1  |
| 1 | 1 | 0  |

b)

| T | Q' |
|---|----|
| 0 | Q  |
| 1 | Q  |

c)

Hình 3.10. Mạch lật T



Hình 3.10. Mạch lật T (tiếp theo)

- Ký hiệu và bố trí hàm tín hiệu;
- c. Bảng trạng thái đầy đủ và rút gọn;
- Bảng Karnaugh;
- Đồ hình Moore;
- Đặc tính mạch T lúc ở *vùng dao động*;
- Đặc tính mạch T.

Nhìn bảng chân lý, bảng Karnaugh, ta thấy rằng, khi  $T = 0$  thì mạch giữ nguyên trạng thái cũ:  $Q' = Q$ . Khi  $T = 1$  mạch lật trạng thái  $Q' = \bar{Q}$  (Toggle: lật), chính vì vậy mạch lật có tên T.

Phương trình đặc trưng của mạch lật T là:

$$Q' = \bar{T}Q + T\bar{Q} = T \oplus Q$$

Ta nói thêm một chút về tính không ổn định của mạch T ở chế độ không đồng bộ. Giả thiết tín hiệu vào  $T = 1$  trong thời gian  $t$  và mạch phản ứng chậm 1 chút (thời gian  $t_0$ ) và lúc đầu mạch có  $Q = 0$  thì mạch sẽ lật trạng thái để  $Q = 1$ . Vì T vẫn còn bằng 1, nên Q lại trở về 0. Quá trình cứ tiếp tục như vậy, nghĩa là tín hiệu ra Q cứ dao động giữa 2 giá trị 0 và 1 cho đến khi tín hiệu vào  $T = 0$ . Như vậy khi  $T = 1$  thì mạch ở trạng thái dao động, nên mạch chỉ có thể làm việc ở chế độ đồng bộ.

#### d. Mạch lật JK

Mạch lật JK có 2 đầu vào điều khiển là J và K, các chân tín hiệu khác xem ở hình 3.11. Từ bảng trạng thái và bảng Karnaugh ta thấy rằng:

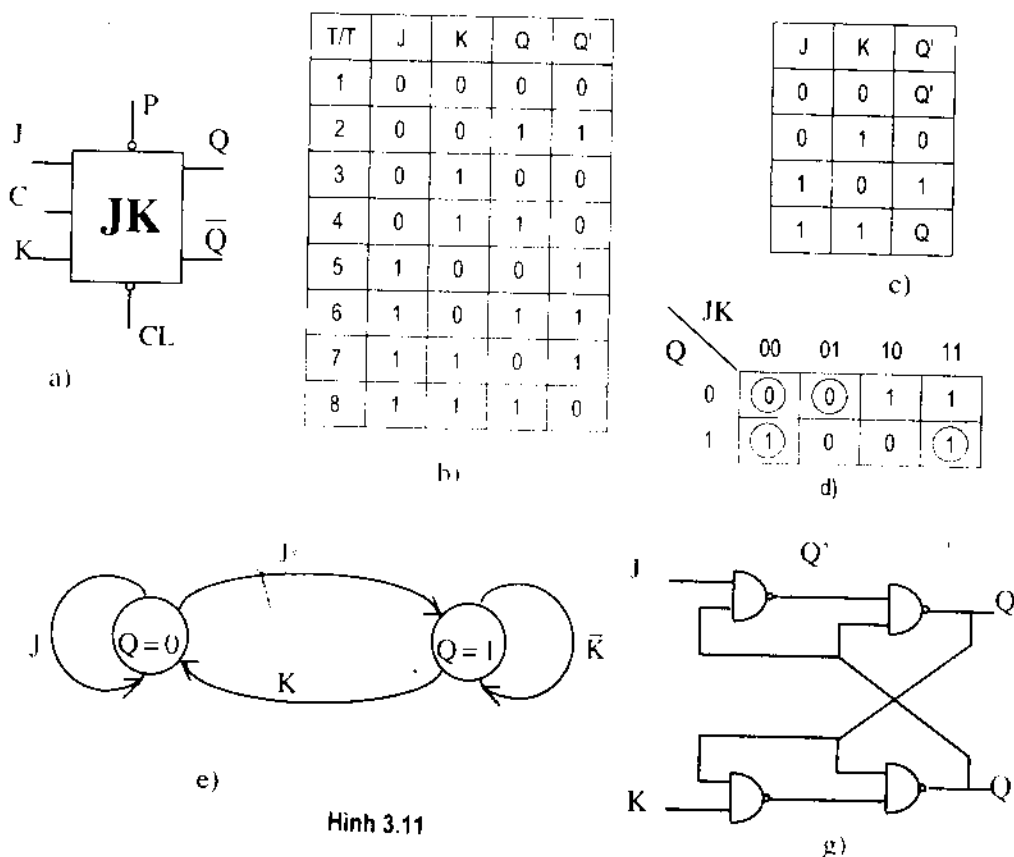
Khi  $J K = 0 0$ , mạch giữ nguyên trạng thái cũ ( $Q' = Q$ ).

Khi  $J K = 0 1$ , mạch luôn luôn chuyển đến trạng thái 0 ( $Q' = 0$ ).

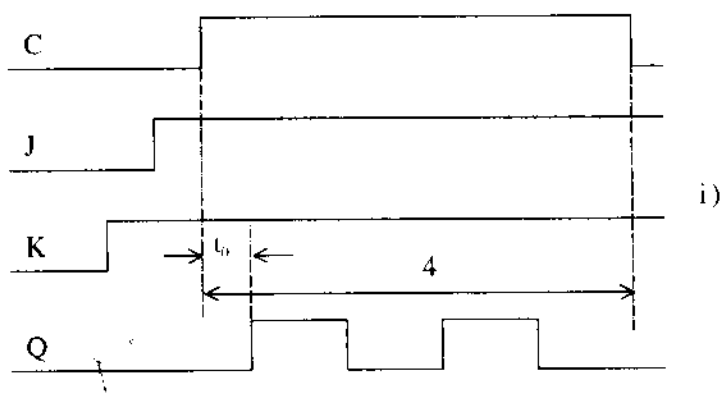
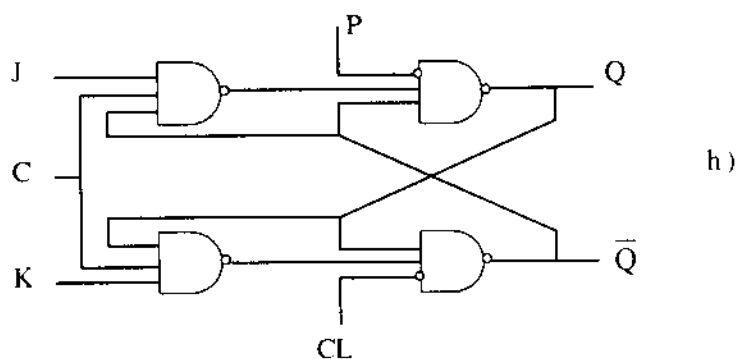
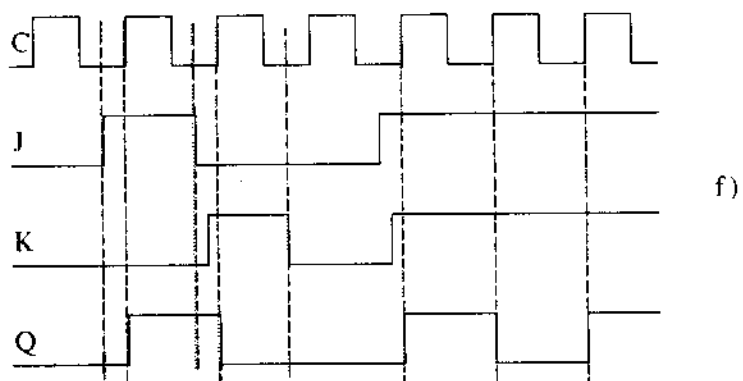
Khi  $J K = 1 0$ , mạch luôn luôn chuyển đến trạng thái 1 ( $Q' = 1$ ).

Khi  $J K = 1 1$ , tín hiệu ra luôn thay đổi trạng thái ( $Q' = \bar{Q}$ ).

Khi các tín hiệu vào J và K đồng thời bằng 1 thì tín hiệu ra Q luôn luôn thay đổi trạng thái, nghĩa là mạch bị dao động (hình 3.11i), do vậy mạch JK chỉ có thể làm việc ở chế độ đồng bộ. Để khử hiện tượng "đua vòng", người ta chế tạo mạch JK kiểu "Chủ - Tớ" (Master - slave). Mạch JK kiểu chủ tớ gồm 2 tầng và xung nhịp C cho các tầng ngược pha nhau (hình 3.12a). Với mạch JK kiểu chủ - tớ, tín hiệu ra Q sẽ phản ứng ở sườn sau của xung nhịp (hình 3.12b)

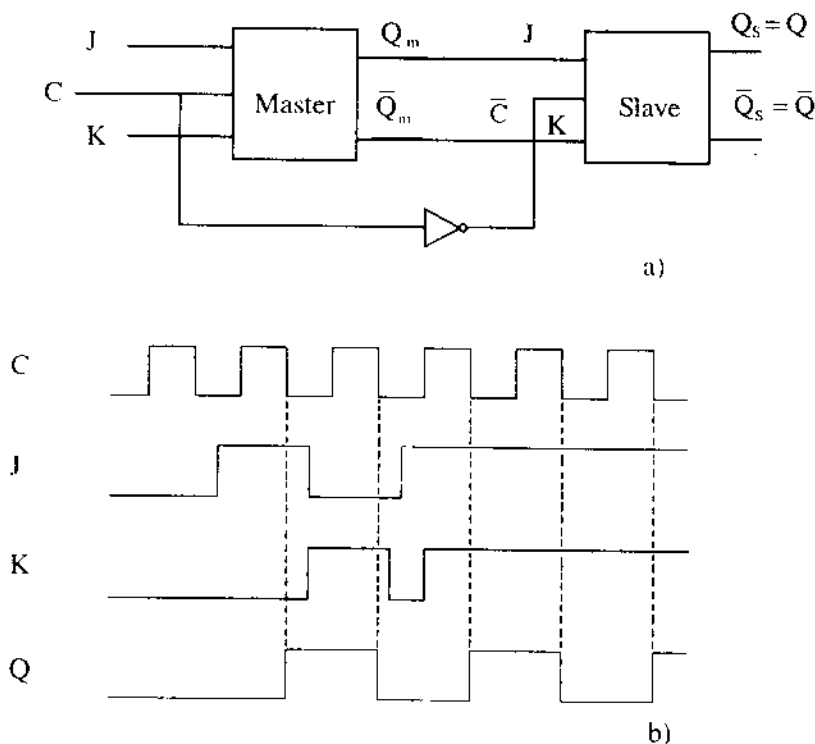


Hình 3.11



Hình 3.11. (tiếp theo)

a. Ký hiệu và bố trí chân tín hiệu; b, c, d. Bảng trạng thái đầy đủ, rút gọn Karnaugh; e. Đồ hình Moore; f. Đặt tính J - K; g. J - K không đồng bộ; h. J - K đồng bộ; i. Hiện tượng "đưa vòng"



Hình 3.12. a. Mạch JK kiểu chủ-tớ;

b. Đặc tính mạch JK kiểu chủ tớ.

### 3.3. PHƯƠNG PHÁP MÔ TẢ MẠCH TRÌNH TỰ

Sau đây chỉ nêu ra một số phương pháp mô tả thường được dùng trong phân tích và tổng hợp mạch trình tự.

#### 3.3.1. Phương pháp bảng chuyển trạng thái

Phương pháp này mô tả quá trình chuyển đổi trạng thái dưới hình thức bảng, trong bảng hình 3.12 bao gồm:

- Các cột của bảng ghi các các biến vào và các biến ra. Các tín hiệu vào là các tín hiệu điều khiển: ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ...), có thể là tín hiệu điều khiển của người vận hành, của thiết bị chương trình hoặc các tín hiệu phát ra từ các thiết bị công nghệ.

Các tín hiệu ra ( $Y_1$ ,  $Y_2$ , ...) là tín hiệu kết quả của quá trình điều khiển và ghi ở cột đầu ra.

- Các hàng của bảng ghi các trạng thái trong của mạch ( $S_1, S_2, S_3, \dots$ ). Số hàng của bảng chỉ rõ số trạng thái trong cần có của hệ.

- Các ô giao nhau của cột biến vào và các hàng trạng thái sẽ ghi trạng thái của mạch. Nếu trạng thái mạch trùng với tên hàng thì đó là trạng thái "ổn định", nếu trạng thái mạch không trùng với tên hàng thì đó là trạng thái "không ổn định".

- Các ô giao nhau của cột tín hiệu ra và các hàng trạng thái sẽ ghi giá trị tín hiệu ra tương ứng.

Ở bảng trên hình 3.13,  $\alpha, \beta, \gamma$  là tín hiệu vào;  $Y_1, Y_2$  là tín hiệu ra. Hệ có 3 trạng thái:  $S_1$  (làm việc ở tốc độ thấp),  $S_2$  (đảo chiều quay),  $S_3$  (dừng máy).

Mỗi trạng thái của mạch có thể diễn đạt bằng ngôn ngữ và kèm theo một con số để gọi tên trạng thái đó. Ví dụ ta xét trạng thái  $S_1$ , lúc này máy hoạt động ở tốc độ thấp. Nếu lúc này cho biến  $\alpha$  tác động thì máy vẫn làm việc ở trạng thái  $S_1$  (trạng thái  $S_1$  là ổn định), nếu cho biến  $\beta$  tác động thì máy sẽ chuyển sang trạng thái  $S_2$  (nhưng trạng thái  $S_2$  ghi ở hàng  $S_1$  là không ổn định - trạng thái trung gian, mạch đang chuẩn bị chuyển đến trạng thái ổn định khác), nếu cho biến  $\gamma$  tác động thì mạch sẽ chuyển từ trạng thái  $S_1$  sang trạng thái  $S_3$  (trạng thái  $S_3$  không ổn định). Các biến đầu ra  $Y_1$  và  $Y_2$  lúc này đều bằng 0. Tương tự như vậy ta sẽ lý giải các trạng thái và kết quả ở hàng 2, hàng 3.

Khi bảng trạng thái chuyển chỉ có 1 tín hiệu ra thì có thể không dùng cột tín hiệu ra, các giá trị tín hiệu ra được ghi luôn vào các ô trạng thái chuyển (hình 3.14).

| Trạng thái | Tín hiệu vào |         |          |     | Tín hiệu ra |       |
|------------|--------------|---------|----------|-----|-------------|-------|
|            | $\alpha$     | $\beta$ | $\gamma$ | ... | $Y_1$       | $Y_2$ |
| $S_1$      |              |         |          |     |             |       |
| $S_2$      |              |         |          |     |             |       |
| $S_3$      |              |         |          |     |             |       |
| ...        |              |         |          |     |             |       |

Hình 3.12

| Trạng thái             | Tín hiệu vào |           |           | Tín hiệu ra |       |
|------------------------|--------------|-----------|-----------|-------------|-------|
|                        | $\alpha$     | $\beta$   | $\gamma$  | $Y_1$       | $Y_2$ |
| $S_1$ (tốc độ thấp)    | ( $S_1$ )    | $S_2$     | $S_3$     | 0           | 0     |
| $S_2$ (đảo chiều quay) | $S_1$        | ( $S_2$ ) |           | 1           | 0     |
| $S_3$ (ngừng máy)      |              |           | ( $S_3$ ) | 0           | 0     |

Hình 3.13

Điều quan trọng nhất ở đây là ghi được đầy đủ và đúng các trạng thái ở trong các ô của bảng. Có hai cách thực hiện công việc này:

- *Cách 1.* Trước hết dựa vào các dữ liệu bài toán, các hiểu biết về quá trình công nghệ, từ đó ghi các trạng thái ổn định hiển nhiên có. Tiếp theo ghi các trạng thái chuyển rõ ràng (các trạng thái này có số ghi trạng thái khác với thứ tự các hàng - các trạng thái xuất phát), nếu trạng thái nào không biết chắc chắn thì để trống, sẽ bổ sung sau.



- **Cách 2.** Phân tích xem xét từng ô để diễn trạng thái. Việc làm này là logic, chặt chẽ và rõ ràng, tuy nhiên nhiều khi phân tích không thể quá chi ly để dẫn đến khả năng phân biệt giữa các ô có trạng thái gần như nhau, do vậy rất khó điền đầy đủ các ô.

| Biến (V)<br>Trạng<br>thái (S) | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ |
|-------------------------------|----------|---------|----------|
| $S_1$                         | $S_2/1$  | $S_4/0$ | $S_3/0$  |
| $S_2$                         | $S_4/1$  | $S_2/0$ | $S_4/1$  |
| $S_3$                         | $S_1/1$  | $S_1/1$ | $S_1/1$  |
| $S_4$                         | $S_4/1$  | $S_4/0$ | $S_2/0$  |
| $S_5$                         | $S_5/0$  | $S_3/0$ | $S_4/0$  |

Hình 3.14

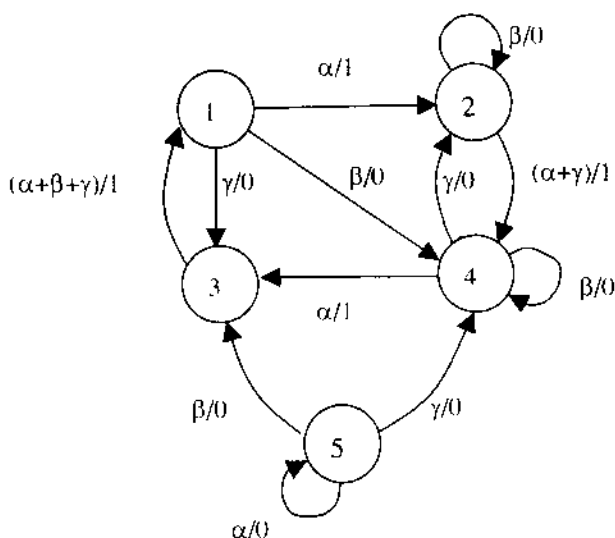
### 3.3.2. Phương pháp đồ hình trạng thái

Đồ hình trạng thái là hình vẽ mô tả các trạng thái chuyển của một mạch logic trình tự, đồ hình gồm các đỉnh và các cung định hướng trên đó ghi các tín hiệu vào/ra và kết quả. Phương pháp này thường dùng cho hàm chỉ một đầu ra. Ở đây ta xét hai loại: đồ hình Mealy và đồ hình Moore.

#### a. Đồ hình Mealy

Đồ hình Mealy gồm các đỉnh biểu diễn các trạng thái trong của mạch và các cung định hướng, trên các cung ghi biến tác động và kết quả hàm khi chịu sự tác động của biến đó. Đồ hình Mealy chính là sự chuyển bảng trạng thái thành đồ hình.

Chẳng hạn từ bảng chuyển trạng thái (hình 3.14) có thể thành lập đồ hình Mealy như ở hình 3.15. Nhìn đồ hình Mealy (hình 3.15) ta thấy, mạch có 5 trạng thái biểu hiện ở 5 đỉnh: 1, 2, 3, 4, 5. Các cung chỉ rõ sự chuyển đổi trạng thái do ảnh hưởng tác động của biến vào và kết quả của trạng thái. Chẳng hạn nếu mạch đang ở trạng thái 1 mà cho tín hiệu  $\alpha$  tác động thì mạch sẽ chuyển từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 và trạng thái 2 có kết quả bằng 1; nếu mạch đang ở trạng thái 2 mà cho  $\beta$  tác động thì mạch vẫn ở trạng thái 2 nhưng kết quả là 0, nếu mạch đang ở trạng thái 2 mà cho  $\alpha$  hoặc  $\gamma$  tác động thì mạch sẽ chuyển sang trạng thái 4 với kết quả trạng thái 4 là 1, v.v...



Hình 3.15. Đồ hình Mealy với bảng trạng thái (hình 3.14).

### b. Đồ hình Moore

Ở đồ hình này các đỉnh là các trạng thái và giá trị trạng thái, còn các cung định hướng sẽ ghi biến tác động.

Từ bảng trạng thái (hình 3.14), ta có thể thành lập đồ hình Moore theo các bước sau:

**Bước 1.** Từ các ô ứng với cặp trạng thái và kết quả ở hình 3.14, ta gán một trạng thái tương đương  $Q$  cho đồ hình Moore. Chẳng hạn ta gán  $S_2/0 = Q_1$ ,  $S_3/0 = Q_2$ ,  $S_4/0 = Q_3$ ,  $S_5/0 = Q_4$ ,  $S_1/1 = Q_5$ ,  $S_2/1 = Q_6$ ,  $S_3/1 = Q_7$ ,  $S_4/1 = Q_8$ .

**Bước 2.** Thành lập bảng chuyển đổi trạng thái cho đồ hình Moore.

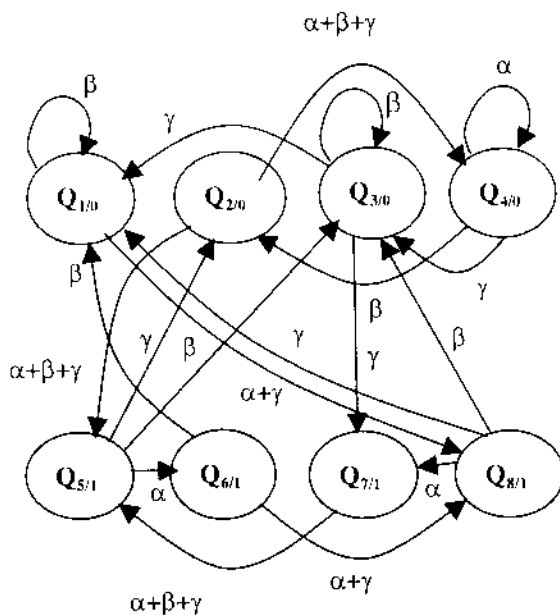
Với bảng trạng thái hình 3.14 và cách gán như bước 1, ta lập được bảng chuyển trạng thái cho đồ hình Moore (hình 3.16).

**Bước 3.** Dựa vào bảng trạng thái (hình 3.16), ta vẽ được đồ hình Moore như ở hình 3.17.

Tất nhiên nếu có bảng trạng thái của đồ hình Moore, ta cũng dễ dàng thiết lập được bảng trạng thái cho đồ hình Mealy bằng cách ghi thêm vào các ô chuyển trạng thái của bảng Moore các kết quả đầu ra tương ứng và bỏ cột kết quả đầu ra, sau đó ta lại tìm cách tối giản bảng trạng thái vừa tìm được thì nhận được bảng trạng thái cho đồ hình Mealy.

| Trạng thái   | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | Ra |
|--------------|----------|---------|----------|----|
| $Q_1(S_2/0)$ | $Q_4$    | $Q_1$   | $Q_8$    | 0  |
| $Q_2(S_3/0)$ | $Q_5$    | $Q_6$   | $Q_5$    | 0  |
| $Q_3(S_4/0)$ | $Q_7$    | $Q_3$   | $Q_1$    | 0  |
| $Q_4(S_5/0)$ | $Q_4$    | $Q_2$   | $Q_3$    | 0  |
| $Q_5(S_1/1)$ | $Q_6$    | $Q_3$   | $Q_2$    | 1  |
| $Q_6(S_2/1)$ | $Q_8$    | $Q_1$   | $Q_8$    | 1  |
| $Q_7(S_3/1)$ | $Q_5$    | $Q_5$   | $Q_5$    | 1  |
| $Q_8(S_4/1)$ | $Q_7$    | $Q_3$   | $Q_1$    | 1  |

Hình 3.16. Bảng trạng thái Moore từ bảng Mealy (hình 3.14)

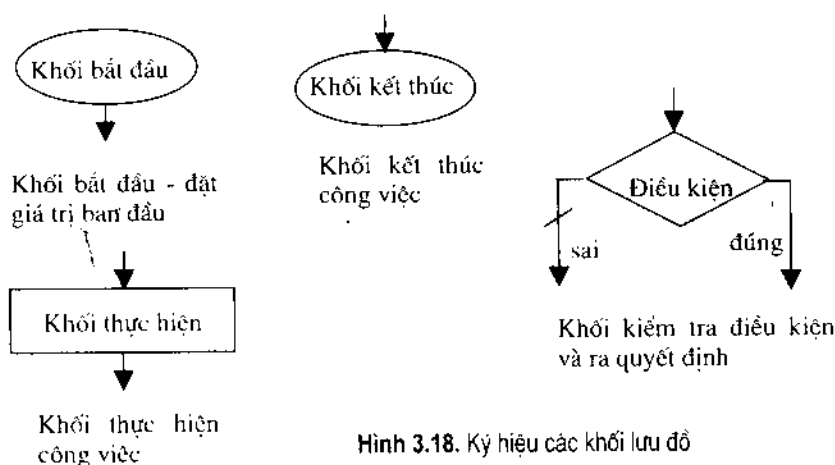


Hình 3.17. Đồ hình Moore

Ta thấy đồ hình Moore có số trạng thái nhiều hơn đồ hình Mealy, nhưng hệ hàm ra của đồ hình Moore đơn giản hơn đồ hình Mealy.

### 3.3.3. Phương pháp lưu đồ

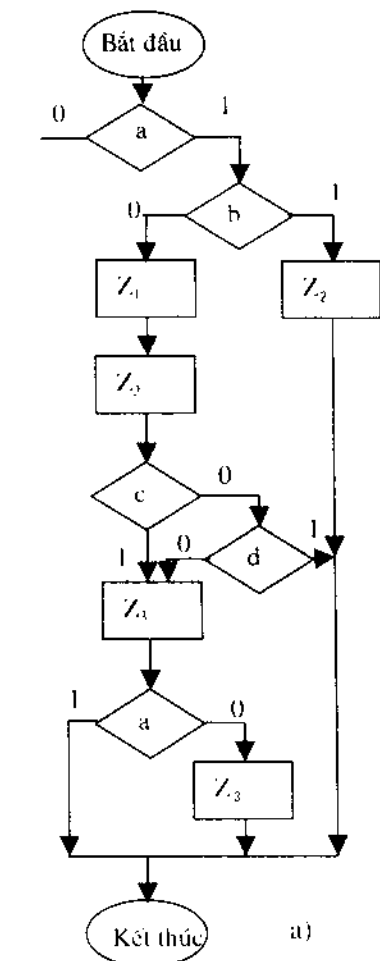
Lưu đồ thuật toán là cách mô tả hệ thống một cách suy luận trực quan. Các khối chính của lưu đồ và các ký hiệu của các khối được mô tả ở hình 3.18.



Hình 3.18. Ký hiệu các khối lưu đồ

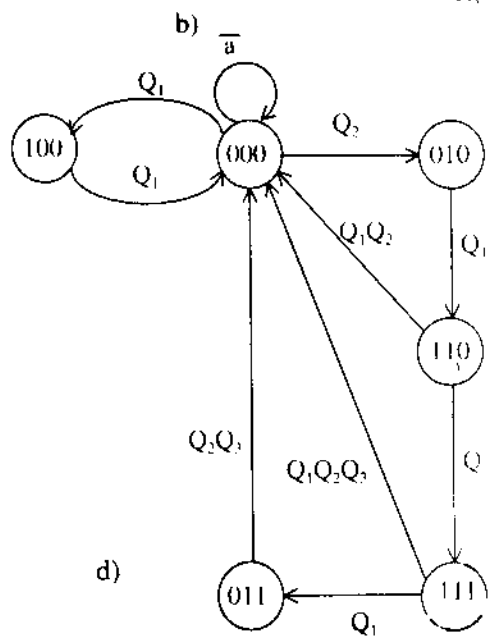
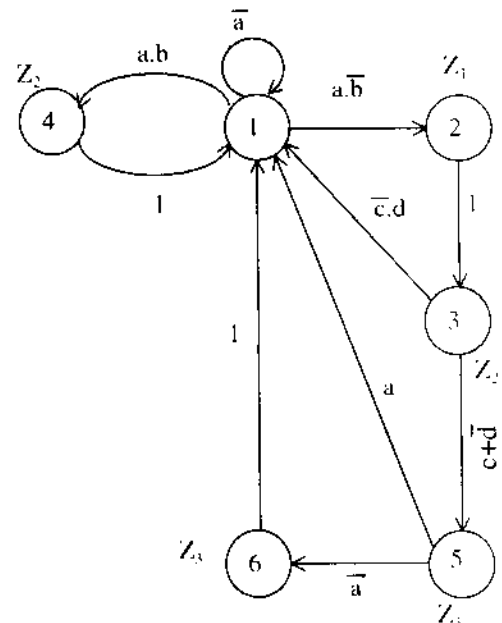
Từ lưu đồ thuật toán ta dễ dàng chuyển thành đồ hình trạng thái Mealy hoặc Moore và từ đó ta có thể thiết kế được mạch trình tự.

Ví dụ, cho đồ hình trạng thái hình 3.19a, hãy chuyển thành đồ hình trạng thái Moore và viết phương trình mạch của hệ.



c)

| $Q_3 \backslash Q_1 Q_2$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|--------------------------|----|----|----|----|
| 0                        | 1  | 2  | 3  | 4  |
| 1                        |    | 6  | 5  |    |



Hình 3.19. Ví dụ chuyển từ lưu đồ thành đồ hình Moore

Việc chuyển từ lưu đồ thành đồ hình Moore được thực hiện qua các bước sau:

*Bước 1:* Kết hợp khối bắt đầu và khối kết thúc thành một trạng thái, nếu như khi trạng thái kết thúc lại quay về trạng thái ban đầu.

*Bước 2:* Mỗi khối thực hiện đều là một trạng thái.

*Bước 3:* Xây dựng đồ hình trạng thái Moore với đỉnh là các trạng thái, còn cung là các biến gây ra chuyển trạng thái.

*Bước 4:* Xây dựng đồ hình nhị phân với các đỉnh là các số hệ 2 và cung là các biến mã hoá trạng thái.

*Bước 5:* Viết phương trình mạch.

Với 5 bước như trên ta có thể phân tích quá trình thực hiện chuyển từ lưu đồ đã cho từ hình 3.19a thành đồ hình Moore như ở hình 3.19b.

*Trạng thái 1:* là kết hợp giữa trạng thái "ban đầu và kết thúc", lúc này có điều kiện đầu là a.

*Trạng thái 2:* ứng với công việc  $Z_1$ , theo lưu đồ để chuyển  $1 \rightarrow 2$  cần  $\bar{a}\bar{b}$

*Trạng thái 3:* ứng với công việc  $Z_2$ , theo lưu đồ để chuyển  $2 \rightarrow 3$  là liên tục.

*Trạng thái 4:* ứng với công việc  $Z_2$ , theo nhánh lưu đồ  $b=1$ , để chuyển  $1 \rightarrow 4$  cần  $ab$ .

*Trạng thái 5:* ứng với công việc  $Z_1$ , theo lưu đồ để chuyển  $3 \rightarrow 5$  cần  $c + \bar{d}$ .

*Trạng thái 6:* ứng với công việc  $Z_1$ , theo nhánh lưu đồ  $a = 0$ , để chuyển  $5 \rightarrow 6$  cần  $\bar{a}$ .

Ngoài ra một số trạng thái có các cung quay về đỉnh 1, tất cả đều được thể hiện trên hình 3.19b.

Chọn biến đầu vào: Vì có 6 trạng thái nên ta chọn 3 biến vào  $Q_1, Q_2, Q_3$ , tổ hợp các biến  $Q_1 Q_2 Q_3$  để xác định các trạng thái như vẽ ở hình 3.19c.

Gán giá trị nhị phân cho đồ hình Moore. Theo luật chung, giữa hai trạng thái kế nhau chỉ được thay đổi một biến, còn việc thay đổi vượt cấp các trạng thái đều phải thay đổi của tổ hợp nhiều biến (hình 3.19d).

Viết phương trình mạch. Dựa vào hình 3.19b và 3.19d, ta sẽ viết được hàm của các biến  $Q_1, Q_2, Q_3$  và các tín hiệu ra  $Z_1, Z_2, Z_3$ , mỗi tín hiệu vào và tín hiệu ra đều tổ hợp của tất cả các trạng thái và các biến kích thích trong lưu đồ hình 3.19a.

$$Q_1 = ab(1) + \bar{c}\bar{d}(3) + 4 + (5);$$

$$Q_2 = a\bar{b}(1) + \bar{c}\bar{d}(3) + a(5) + (6);$$

$$Q_3 = (c + \bar{d})(3) + a(5) + (6);$$

$$Z_1 = (2); \quad Z_2 = (3) + (4) \quad Z_3 = (5) + (6);$$

### 3.4. TỔNG HỢP MẠCH TRÌNH TỰ

Bài toán tổng hợp mạch trình tự là bài toán khó, hơn nữa từ một yêu cầu đề ra lại có nhiều cách giải quyết khác nhau, do vậy vấn đề chung ở đây là phải dựa vào một chỉ tiêu tối ưu nào đó, đồng thời để tìm được lời giải tối ưu thì ngoài các suy luận toán học logic người thiết kế còn phải tận dụng các kinh nghiệm thực tế rất phong phú và đa dạng. Ở đây chỉ nêu ra một số bước thực hiện chung và các ví dụ cụ thể để minh họa phương pháp tổng hợp mạch trình tự.

#### 3.4.1. Tổng hợp theo phương pháp bảng trạng thái

Trình tự chung của các bước như sau:

- a) Thành lập bảng chuyển trạng thái. Thực chất đây là việc diễn đạt các yêu cầu kỹ thuật thành ký hiệu kiểu bảng.
- b) Thành lập bảng kích thích và bảng đầu ra.
- c) Tìm hàm logic tối giản và chọn mạch.

Ta xét ví dụ sau đây:

Hãy thiết kế một mạch đèn tín hiệu (đèn L) để báo hiệu trạng thái làm việc không bình thường của một hệ gồm hai chuyển động với yêu cầu sau: Nếu mạch khởi động đúng theo trình tự chuyển động 1 trước chuyển động 2 sau và dừng theo đúng trình tự chuyển động 2 trước chuyển động 1 sau thì đèn L không sáng (làm việc bình thường), nếu mạch khởi động hoặc dừng sai trình tự trên thì đèn L sẽ sáng (làm việc không bình thường).

Cách làm :

*Bước 1:* Thành lập bảng chuyển trạng thái.

Ta mã hoá trạng thái như sau:

$X_1$ - tín hiệu báo trạng thái của chuyển động 1.

$X_2$ - tín hiệu báo trạng thái của chuyển động 2.

Y- tín hiệu ra (tín hiệu kết quả của  $X_1, X_2$ )

Bảng chuyển trạng thái đầy đủ như ở hình 3.20. Ở bảng này các cột là các tổ hợp biến của tín hiệu vào  $x_1x_2$ , cột cuối cùng là Y, có 7 hàng biểu thị 7 trạng thái trong của hệ ( $S_1 \div S_7$ ).

Để thiết lập được bảng trạng thái (hình 3.20) ta tuần tự xét từng tổ hợp biến với tín hiệu ra, cụ thể là:

Trạng thái  $S_1$  (dòng 1): Ở tổ hợp biến vào  $x_1x_2 = 00$ , hệ thống chưa làm việc, tín hiệu ra  $Y = 0$ , đó là trạng thái ổn định.

Trạng thái  $S_2$  (dòng 2): Lúc này  $x_1x_2 = 10$ , hệ thống làm việc với chuyển động / khởi động trước - đúng yêu cầu, trạng thái ổn định và  $Y = 0$ .

Trạng thái  $S_3$  (dòng 3): Từ trạng thái 2, chuyển sang  $x_1x_2 = 11$  - đúng trình tự, đó là trạng thái ổn định và  $Y = 0$ .

Trạng thái  $S_4$  (dòng 4): Từ trạng thái 3, chuyển sang  $x_1x_2 = 01$  - sai trình tự, đó là trạng thái ổn định và  $Y = 1$ .

Trạng thái  $S_5$  (dòng 5): Từ trạng thái 4, chuyển sang  $x_1x_2 = 00$  - sai trình tự, đó là trạng thái ổn định và  $Y = 1$ .

Trạng thái  $S_6$  (dòng 6): Từ trạng thái 5, hệ làm việc sai, chuyển sang tác động đồng thời  $x_1x_2 = 11$  - sai trình tự, là trạng thái ổn định và  $Y = 1$ .

Trạng thái  $S_7$  (dòng 7): Từ trạng thái 6, hệ đang ở trạng thái sai, chuyển sang tác động để  $x_1x_2 = 10$  - vẫn ở trạng thái sai, là trạng thái ổn định và  $Y = 1$ .

Bằng lý giải tương tự như trên ta tìm ra các trạng thái không ổn định và điền đầy các trạng thái vào bảng (hình 3.20).

| Trạng thái \ $x_1x_2$ | 00 | 01 | 11 | 10 | Y |
|-----------------------|----|----|----|----|---|
| $S_1$                 | ①  | 4  | -  | 2  | 0 |
| $S_2$                 | 1  | -  | 3  | ②  | 0 |
| $S_3$                 | -  | 4  | ③  | 2  | 0 |
| $S_4$                 | 5  | ④  | 6  | -  | 1 |
| $S_5$                 | ⑤  | 4  | -  | 7  | 1 |
| $S_6$                 | -  | 4  | ⑥  | 7  | 1 |
| $S_7$                 | 5  | -  | 6  | ⑦  | 1 |

Hình 3.20

| Trạng thái \ $x_1x_2$ | 00 | 01 | 11 | 10 | Y |
|-----------------------|----|----|----|----|---|
| $S_1, S_2, S_3$       | ①  | 4  | ③  | ②  | 0 |
| $S_4, S_5, S_6, S_7$  | ⑤  | ④  | ⑥  | ⑦  | 1 |

Hình 3.21

Từ bảng trạng thái (hình 3.20) ta thấy hệ thống tồn tại các trạng thái ổn định khác nhau trong cùng một cột, có các kết quả đầu ra ngược nhau, khi cùng một tổ hợp biến vào. (trạng thái 1, 5 với  $x_1x_2 = 00$ , trạng thái 3, 6 với  $x_1x_2 = 11$ , trạng thái

2, 7 với  $x_1, x_2 = 10$ ). Để phân lập các trạng thái mâu thuẫn đó, hệ thống phải sử dụng thêm các biến nội bộ, đó cũng chính là ý nghĩa của mạch logic trình tự.

Trước khi chọn các biến phụ, ta tìm cách rút gọn các hàng của bảng (hình 3.20). Nguyên tắc rút gọn là 2 hàng tương đương nhau thì rút gọn lại thành 1 hàng. Hai hàng được coi là tương đương nhau khi có số trạng thái và kết quả đầu ra như nhau, hoặc có thể suy ra được nhau. Và như vậy từ bảng trạng thái (hình 3.20) ta có thể rút gọn thành bảng trạng thái (hình 3.21).

**Bước 2.** Thành lập bảng kích thích và bảng tín hiệu ra.

Với bảng chuyển trạng thái (hình 3.21), chỉ có 2 hàng, để phân biệt 2 hàng chỉ cần một biến nội bộ. Ta chọn biến nội bộ đó là  $y$ .

Với 3 biến  $x_1, x_2$  và  $y$ , ta lập bảng chuyển trạng thái dạng bảng Karnaugh như ở hình 3.22, từ bảng (hình 3.22) ta lập bảng kích thích như ở hình 3.22b.

Bảng tín hiệu ra lúc này quá đơn giản, ta không cần thành lập nữa, mà chọn luôn:

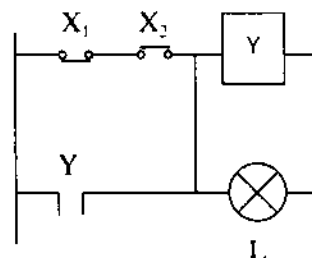
$$y = L$$

| $x_1 x_2$<br>$y$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|------------------|----|----|----|----|
| 0                | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1                | 0  | 0  | 0  | 0  |

Hình 3.22a

| $x_1 x_2$<br>$y$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|------------------|----|----|----|----|
| 0                | 0  | 1  | 0  | 0  |
| 1                | 1  | 1  | 1  | 1  |

Hình 3.22b



Hình 3.23

**Bước 3.** Viết phương trình hàm ra và vẽ sơ đồ.

Từ bảng hình 3.22 ta viết được:

$$Y = \bar{x}_1 x_2 + y$$

Từ hai phương trình trên ta lập được sơ đồ mạch như ở hình 3.23.

### 3.4.2. Tổng hợp theo phương pháp đồ hình Mealy hoặc Moore

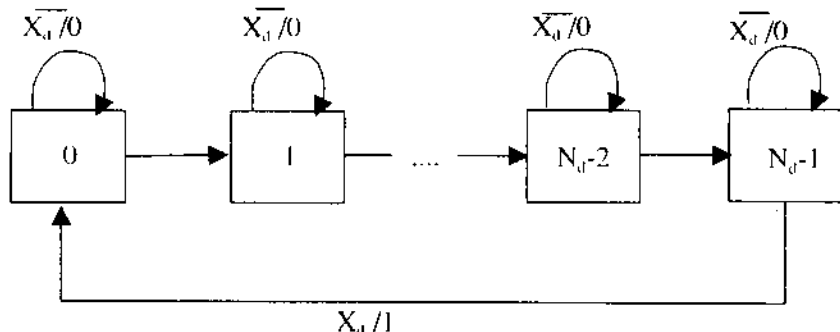
Ta xét các bước thiết kế một bộ đếm đồng bộ cơ số 2. Ta biết bộ đếm là một mạch trình tự tuần hoàn, có 1 đầu vào (là dây xung cần đếm) và 1 đầu ra. Dưới tác dụng của xung vào, mạch sẽ chuyển từ trạng thái trong này sang trạng thái trong khác theo một trình tự nhất định. Cứ sau  $N_d$  xung đếm vào thì mạch lại trở về trạng thái ban đầu, như vậy  $N_d$  là số xung đầu vào lớn nhất mà bộ đếm có thể đếm được.



và đó cũng là số trạng thái trong của bộ đếm hay là cơ số của bộ đếm. Với bộ đếm cơ số 2, xung đếm được đưa song song đến đầu vào nhịp của tất cả các mạch lật, nếu có  $n$  mạch lật thì  $N_d = 2^n$ , do vậy:

$$n \geq \log_2 N_d.$$

Đồ hình Mealy của bộ đếm cơ số 2 với giá trị  $N_d$  cho trước như hình 3.24. Tín hiệu ra của bộ đếm chỉ xuất hiện ( $Y = 1$ ) duy nhất khi bộ đếm đang ở trạng thái  $N_d - 1$  và có tín hiệu vào  $X_d$ , tiếp sau đó bộ đếm sẽ chuyển về trạng thái 0. Khi cần hiển thị các trạng thái trong của bộ đếm thì phải dùng mạch giải mã.



Hình 3.24. Đồ hình Mealy của bộ đếm cơ số 2

Yêu cầu ở ví dụ này là thiết kế bộ đếm đồng bộ có  $N_d = 5$ , sử dụng các mạch lật loại JK và T.

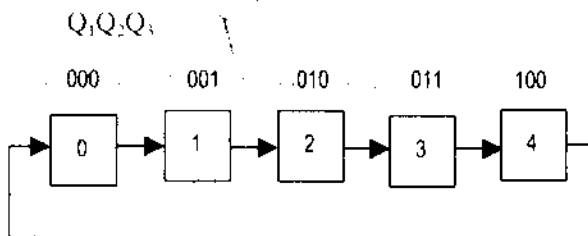
Các bước làm cụ thể như sau:

*Bước 1. Vẽ đồ hình trạng thái.*

Với  $N_d = 5$ , nghĩa là có 5 trạng thái trong, như vậy cần 3 mạch lật để tạo thành bộ đếm, ta có đồ hình Mealy (hình 3.25a).

*Bước 2. Mã hoá các trạng thái trong.*

Mạch có 5 trạng thái, ta dùng 3 biến nhị phân tương ứng với 3 mạch lật  $Q_1, Q_2, Q_3$ . Bảng mã hoá trạng thái cho ở hình 3.25b, ở đồ hình hình 3.25a ta đã ghi luôn các giá trị mã bên cạnh các trạng thái.



Hình 3.25a

| $Q_1 \backslash Q_2$ |    |    |    |    |
|----------------------|----|----|----|----|
|                      | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 0                    | 0  | 2  |    | 4  |
| 1                    | 1  | 3  |    |    |

Hình 3.25b

**Bước 3.** Xác định hàm kích của các mạch lật và hàm ra.

Hàm kích của các mạch lật chính là hàm để xác định các đầu nối vào mạch lật. Với mạch lật JK, thì đó là các tín hiệu nối vào chân J và chân K; với mạch lật T thì đó là tín hiệu nối vào chân T.

Dựa vào đồ hình trạng thái và bảng chuyển đổi trạng thái của các mạch lật ta sẽ xác định được hàm kích và hàm tín hiệu ra.

Với bộ đếm dùng mạch lật JK biểu thức tín hiệu vào để cho tín hiệu ra mạch lật biến đổi từ 0  $\rightarrow$  1 gọi là  $T_{b_i}$ , biểu thức tín hiệu vào để cho tín hiệu ra biến đổi từ 1  $\rightarrow$  0 gọi là  $T_{l_i}$ . Như vậy ta có :

$$T_{b1} = \sum \text{ Các cung mà } Q_1 \text{ chuyển từ } 0 \rightarrow 1 \text{ là } (3) = \bar{Q}_1 Q_2 Q_3.$$

$$T_{l1} = \sum \text{ Các cung mà } Q_1 \text{ chuyển từ } 1 \rightarrow 0 \text{ là } (4) = Q_1 \bar{Q}_2 \bar{Q}_3$$

$$T_{b2} = \sum \text{ Các cung mà } Q_2 \text{ chuyển từ } 0 \rightarrow 1 \text{ là } (1) = \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 Q_3$$

$$T_{l2} = \sum \text{ Các cung mà } Q_2 \text{ chuyển từ } 1 \rightarrow 0 \text{ là } (3) = \bar{Q}_1 Q_2 Q_3$$

$$T_{b3} = \sum \text{ Các cung mà } Q_3 \text{ chuyển từ } 0 \rightarrow 1 \text{ là } (0) + (2) = \bar{Q}_1 \bar{Q}_3$$

$$T_{l3} = \sum \text{ Các cung mà } Q_3 \text{ chuyển từ } 1 \rightarrow 0 \text{ là } (1) + (3) = \bar{Q}_1 Q_3$$

Biểu diễn các hàm  $T_{b_i}$  và  $T_{l_i}$  này thành bảng Karnaugh như ở hình 3.26. Để tối giản hàm ta lợi dụng 3 trạng thái còn thừa (đó là các trạng thái (5), (6), (7) ở bảng 3.26b) để gán cho các trạng thái này giá trị tùy ý (x), đồng thời dựa vào bảng chuyển trạng thái của mạch JK đã trình bày ở hình 3.11, ta viết được phương trình cho các tín hiệu vào là:

$$J_1 = Q_2 Q_3 ; \quad K_1 = 1.$$

$$J_2 = Q_3 ; \quad K_2 = Q_3.$$

$$J_3 = \bar{Q}_1 ; \quad K_3 = 1.$$

Việc xác định hàm ra của bộ đếm rất đơn giản, vì tín hiệu ra của bộ đếm ( $Y = 1$ ) xuất hiện khi bộ đếm chuyển từ trạng thái  $N_d$  về trạng thái 0 và có xung đếm. Như vậy phương trình tín hiệu ra viết ở trạng thái (4) là:

$$Y = Q_1 \bar{Q}_2 \bar{Q}_3 X_d$$

Sử dụng các trạng thái không sử dụng đến cho việc tối giản mạch, ta được :

$$Y = Q_1 X_d$$

| Y     |   | $Q_2Q_1$ |    |    |    |
|-------|---|----------|----|----|----|
|       |   | 00       | 01 | 11 | 10 |
| $Q_3$ | 0 |          |    |    |    |
|       | 1 | 1        | x  | x  | x  |

Bảng trạng thái cho Y

| $J_1$ |   | $Q_2Q_1$ |    |    |    |
|-------|---|----------|----|----|----|
|       |   | 00       | 01 | 11 | 10 |
| $Q_3$ | 0 |          |    | 1  |    |
|       | 1 |          |    | x  |    |

| $K_1$ |   | $Q_2Q_1$ |    |    |    |
|-------|---|----------|----|----|----|
|       |   | 00       | 01 | 11 | 10 |
| $Q_3$ | 0 | x        | x  | x  | x  |
|       | 1 | 1        | x  | x  | x  |

a)

| $J_2$ |   | $Q_2Q_1$ |    |    |    |
|-------|---|----------|----|----|----|
|       |   | 00       | 01 | 11 | 10 |
| $Q_3$ | 0 |          | 1  | 1  |    |
|       | 1 |          | x  | x  |    |

| $K_2$ |   | $Q_2Q_1$ |    |    |    |
|-------|---|----------|----|----|----|
|       |   | 00       | 01 | 11 | 10 |
| $Q_3$ | 0 |          | 1  | 1  |    |
|       | 1 |          | x  | x  |    |

b)

| $J_3$ |   | $Q_2Q_1$ |    |    |    |
|-------|---|----------|----|----|----|
|       |   | 00       | 01 | 11 | 10 |
| $Q_3$ | 0 | 1        | x  | x  | 1  |
|       | 1 |          |    |    |    |

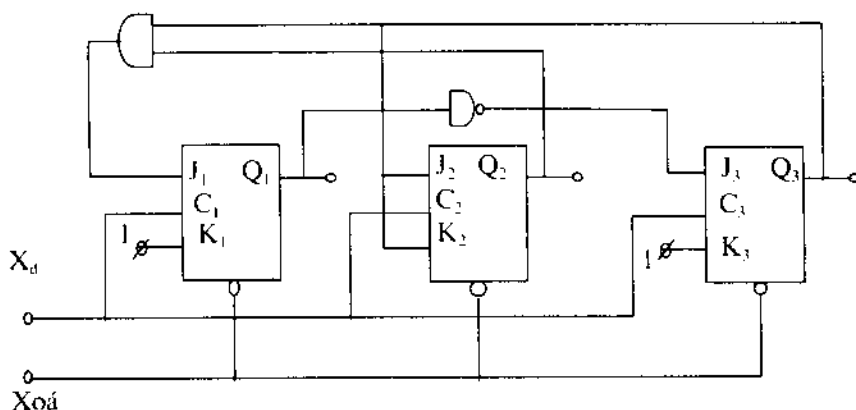
| $K_3$ |   | $Q_2Q_1$ |    |    |    |
|-------|---|----------|----|----|----|
|       |   | 00       | 01 | 11 | 10 |
| $Q_3$ | 0 | x        | 1  | 1  | x  |
|       | 1 | x        | x  | x  | x  |

c)

Hình 3.26. Bảng Karnaugh hàm ra Y.

Bước 4. Vẽ sơ đồ mạch.

Từ phương trình các tín hiệu vào JK và tín hiệu ra  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ , ta dễ dàng vẽ được mạch cho bộ đếm  $N_5 = 5$  dùng mạch JK như ở hình 3.27.



Hình 3.27

Bộ đếm dùng loại mạch lật T.

*Bước 1.* Vẽ đồ hình trạng thái của bộ đếm như ở hình 3.25a.

*Bước 2.* Xác định số lượng mạch lật, mã hoá các trạng thái trong.

Tất nhiên vì  $N_d = 5$  nên chọn  $n = 3$  và bảng mã hóa trạng thái như hình 3.25b.

*Bước 3.* Xác định hàm kích của mạch lật T và hàm tín hiệu ra.

Mạch lật T chỉ có một đầu vào và tín hiệu ra luôn luôn là đảo của tín hiệu vào, do vậy việc lập hàm tín hiệu vào dễ dàng hơn mạch JK.

$$T_1 = \sum \text{Các cung có } Q_1 \text{ thay đổi} = (3) + (4) = \bar{Q}_1 Q_2 Q_3 + Q_1 \bar{Q}_2 \bar{Q}_3$$

$$T_2 = \sum \text{Các cung có } Q_2 \text{ thay đổi} = (1) + (3) = \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 Q_3 + \bar{Q}_1 Q_2 Q_3$$

$$T_3 = \sum \text{Các cung có } Q_3 \text{ thay đổi} = (0) + (1) + (2) + (3) = \\ = \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 \bar{Q}_3 + \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 Q_3 + \bar{Q}_1 Q_2 \bar{Q}_3 + \bar{Q}_1 Q_2 Q_3$$

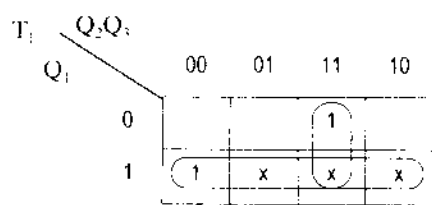
Lập bảng Karnaugh cho các hàm  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  như ở hình 3.28 với việc lợi dụng các trạng thái thừa (5), (6), (7) và bảng chuyển trạng thái của mạch lật T (hình 3.10), ta được hàm tối giản của tín hiệu vào kích thích là:

$$T_1 = Q_1 + Q_2 Q_3.$$

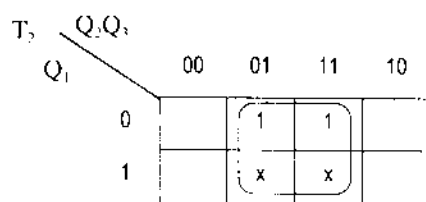
$$T_2 = Q_3.$$

$$T_3 = \bar{Q}_1.$$

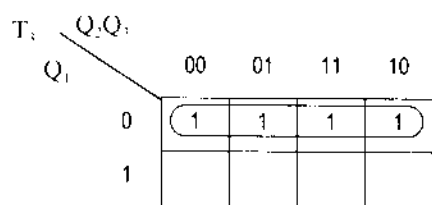
$$\text{Hàm đầu ra } Y, \text{ đã xác định ở trên: } Y = Q_1 X_d.$$



a)



b)

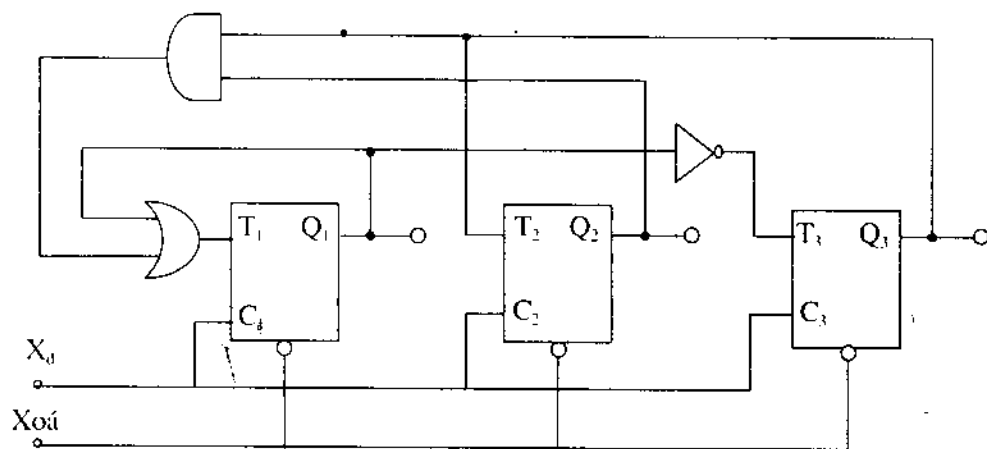


c)

Hình 3.28.

Bước 4. Vẽ sơ đồ mạch.

Sơ đồ mạch bộ đếm đồng bộ,  $N_d = 5$ , dùng mạch lật T vẽ ở hình 3.29.



Hình 3.29

### 3.5. GRAFCET - CÔNG CỤ ĐỂ MÔ TẢ MẠCH TRÌNH TỰ TRONG CÔNG NGHIỆP

#### 3.5.1. Hoạt động theo logic trình tự của thiết bị công nghiệp

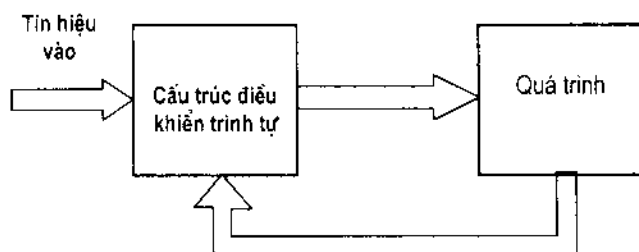
Trong dây chuyền sản xuất công nghiệp, các thiết bị máy móc thường hoạt động theo một trình tự logic chặt chẽ nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm và an toàn cho người và thiết bị. Cấu trúc làm việc trình tự của dây chuyền đã đưa ra yêu cầu cho điều khiển là điều khiển sự hoạt động thống nhất chặt chẽ của dây chuyền, đồng thời cũng gợi ý cho ta sự phân nhóm logic của automat trình tự bởi các tập hợp con của máy móc và các thuật toán điều khiển bằng các chương trình con. Sơ đồ khối của hệ điều khiển quá trình được thể hiện trên hình 3.30.

Một quá trình công nghệ gồm ba hình thức điều khiển hoạt động sau đây:

- + Hoàn toàn tự động, lúc này chỉ cần sự chỉ huy chung của nhân viên vận hành hệ thống.

- + Bán tự động, làm việc có liên quan trực tiếp đến các thao tác liên tục của con người giữa các chuỗi hoạt động tự động.

- + Bằng tay, tất cả hành động của hệ đều do con người thao tác.



Hình 3.30

Trong quá trình làm việc để đảm an toàn, tin cậy và linh hoạt, hệ điều khiển cần có sự chuyển đổi dễ dàng từ kiểu "bằng tay" sang "tự động" và ngược lại, vì như vậy hệ điều khiển mới đáp ứng đúng các yêu cầu thực tế.

Trong quá trình làm việc, sự "không bình thường" trong hoạt động của dây chuyền có rất nhiều loại, khi thiết kế ta phải cố gắng mô tả chúng một cách đầy đủ nhất. Trong số các hoạt động "không bình thường" của chương trình điều khiển một dây chuyền tự động, người ta thường phân biệt ra các loại sau:

- + Hư hỏng "một bộ phận" trong cấu trúc điều khiển. Lúc này cần phải xử lý riêng phần chương trình có chỗ hư hỏng, đồng thời phải lưu tâm cho dây chuyền hoạt động lúc có hư hỏng và sẵn sàng chấp nhận lại điều khiển khi hư hỏng được sửa chữa xong.

- + Hư hỏng trong "cấu trúc trình tự" điều khiển.

+ Hư hỏng ở bộ phận chấp hành (hư hỏng thiết bị chấp hành, hư hỏng cảm biến, hư hỏng bộ phận thao tác v.v...).

Khi thiết kế hệ thống phải tính đến các phương thức làm việc khác nhau để đảm bảo an toàn và xử lý kịp thời các hư hỏng trong hệ, phải luôn luôn có phương án can thiệp trực tiếp của người vận hành đến việc dừng máy khẩn cấp, xử lý tắc nghẽn vật liệu và các hiện tượng nguy hiểm khác. Grafcet là công cụ rất hữu ích để thiết kế và thực hiện đầy đủ các yêu cầu của hệ tự động hoá các quá trình công nghệ kể trên.

### 3.5.2. Định nghĩa grafcet

Grafcet là từ viết tắt của tiếng Pháp "Graphe fonctionnel de commande étape transition", là một đồ hình chức năng cho phép mô tả các trạng thái làm việc của hệ thống và biểu diễn quá trình điều khiển với các trạng thái chuyển biến từ trạng thái này sang trạng thái khác, đó là một graphe định hướng và được xác định bởi các phần tử sau:

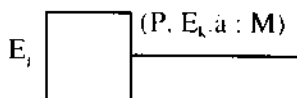
$$G := \{ E, T, A, M \}.$$

trong đó:

-  $E = \{ E_1, E_2, \dots, E_m \}$  là một tập hữu hạn các trạng thái (giai đoạn) của hệ thống, được ký hiệu bằng các hình vuông. Mỗi trạng thái ứng với những tác động nào đó của phần điều khiển và trong một trạng thái các hành vi điều khiển là không thay đổi. Một trạng thái có thể là hoạt động hoặc không hoạt động. Điều khiển chính là thực hiện các mệnh đề logic chứa các biến vào và các biến ra để hệ thống có được một trạng thái xác định trong hệ và đó cũng chính là một trạng thái của grafcet. Ví dụ trạng thái  $E_j$  ở hình 3.31 là sự phối hợp của biến ra  $P$  và  $M$ , với  $M = E_k.a$ , trong đó  $E_k$  là biến đặc trưng cho sự hoạt động của trạng thái  $E_k$ , còn  $a$  là biến đầu vào của hệ.

-  $T = \{ t_1, t_2, \dots, t_l \}$  là tập hữu hạn các chuyển trạng thái được biểu hiện bằng gạch ngang "-". Hàm Boole gắn với một chuyển trạng thái được gọi là "một tiếp nhận". Giữa hai trạng thái luôn luôn tồn tại một chuyển trạng thái. Chuyển trạng thái  $t_j$  ở hình 3.32 được thực hiện bởi tích logic  $E_k.a.\bar{c}$ , trong đó  $E_k$  là biến đặc trưng cho sự hoạt động của trạng thái  $E_k$ , còn  $a$  và  $c$  là các biến vào. Việc chấp nhận chuyển  $t_j$  là  $t_j = E_k.a.\bar{c}$ .

Chuyển trạng thái  $t_j$  ở hình 3.33 được thực hiện bởi điều kiện logic:  $E_k.(\uparrow a)$ , trong đó  $E_k$  là biến biểu diễn hoạt động của trạng thái  $E_k$ , còn  $\uparrow a$  biểu diễn sự thay đổi từ 0  $\rightarrow$  1 của biến vào  $a$ .



Hình 3.31



Hình 3.32



Hình 3.33

-  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  là tập các cung định hướng nối giữa một trạng thái với một chuyển hoặc giữa một chuyển với một trạng thái.

-  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$  là tập các giá trị (0, 1). Nếu  $m_i = 1$  thì trạng thái  $i$  là hoạt động, nếu  $m_i = 0$  thì trạng thái  $i$  là không hoạt động.

Grafcet cho một quá trình luôn luôn là một đồ hình khép kín từ trạng thái đầu đến trạng thái cuối và từ trạng thái cuối đến trạng thái đầu.

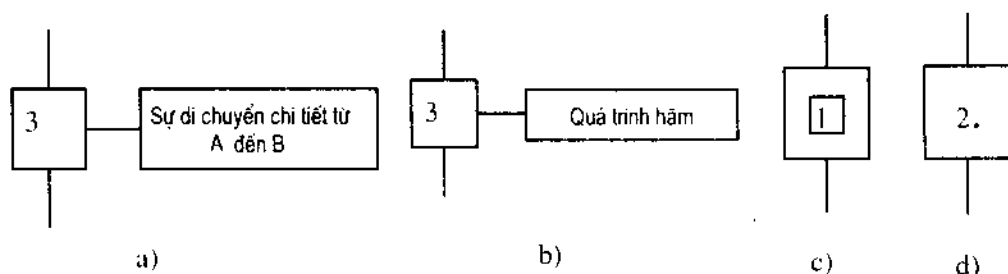
### 3.5.3. Một số ký hiệu dùng trong grafcet (hình 3.34)

- Một trạng thái được biểu diễn bằng một hình vuông có đánh số. Gắn liền với biểu tượng trạng thái là một hình chữ nhật bên cạnh, trong hình chữ nhật này có ghi các tác động của trạng thái đó.

- Trạng thái khởi đầu được thể hiện bằng 2 hình vuông lồng vào nhau.

- Trạng thái hoạt động có thêm dấu "." ở trong hình vuông trạng thái.

- Việc chuyển tiếp từ trạng thái này sang trạng thái khác được thực hiện khi các điều kiện chuyển tiếp được thoả mãn. Chẳng hạn việc chuyển tiếp giữa các trạng thái 3 và 4 (hình 3.35a) được thực hiện khi tác động lên biến  $b$ , còn chuyển tiếp giữa trạng thái 5 và 6 được thực hiện ở sườn tăng của biến  $c$  (hình 3.35b), ở hình 3.35c là tác động của sườn giảm của biến  $d$ . Chuyển tiếp giữa trạng thái 9 và 10 (hình 3.35d) sẽ xảy ra sau 2s kể từ khi có tác động cuối cùng của trạng thái 9 được thực hiện.



Hình 3.34

a, b. Ký hiệu trạng thái; c. Trạng thái khởi đầu; d. Trạng thái hoạt động.

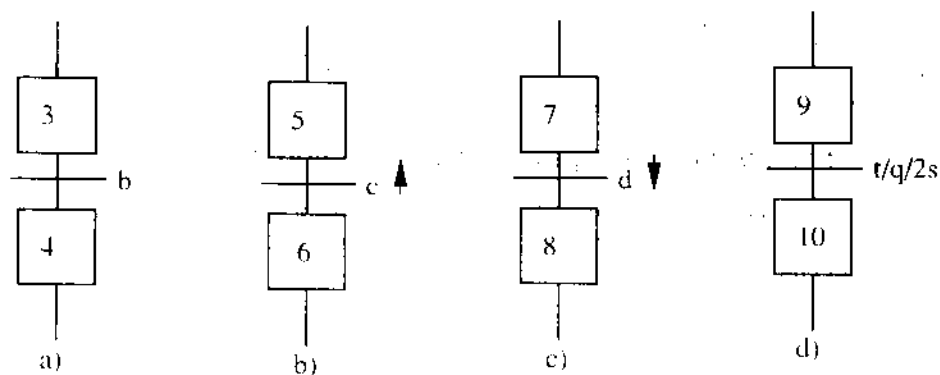
- Các ký hiệu phân nhánh.

Hình 3.36a), b), c), d) là các ký hiệu phân nhánh của grafcet.

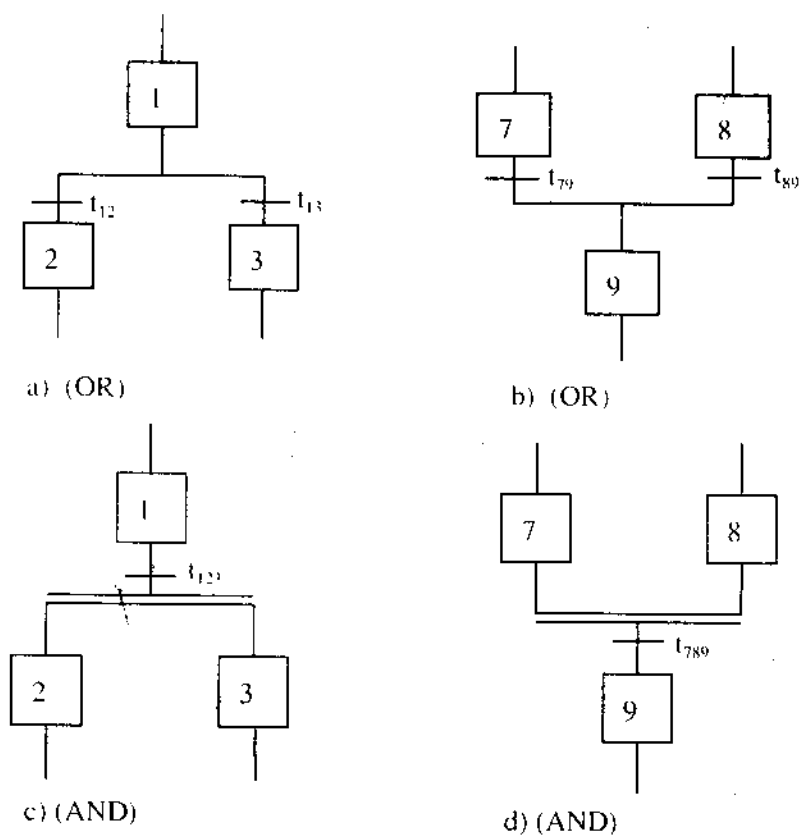
Ở hình 3.36a, khi trạng thái 1 đã hoạt động, nếu chuyển  $t_{1,2}$  thoả mãn thì trạng thái 2 hoạt động; nếu chuyển  $t_{1,3}$  thoả mãn thì trạng thái 3 hoạt động (trạng thái OR).



Ở hình 3.36b, nếu trạng thái 7 hoạt động và  $t_{7,9}$  thoả mãn thì trạng thái 9 hoạt động, cũng như vậy nếu trạng thái 8 hoạt động và  $t_{8,9}$  thoả mãn thì trạng thái 9 hoạt động (trạng thái OR).



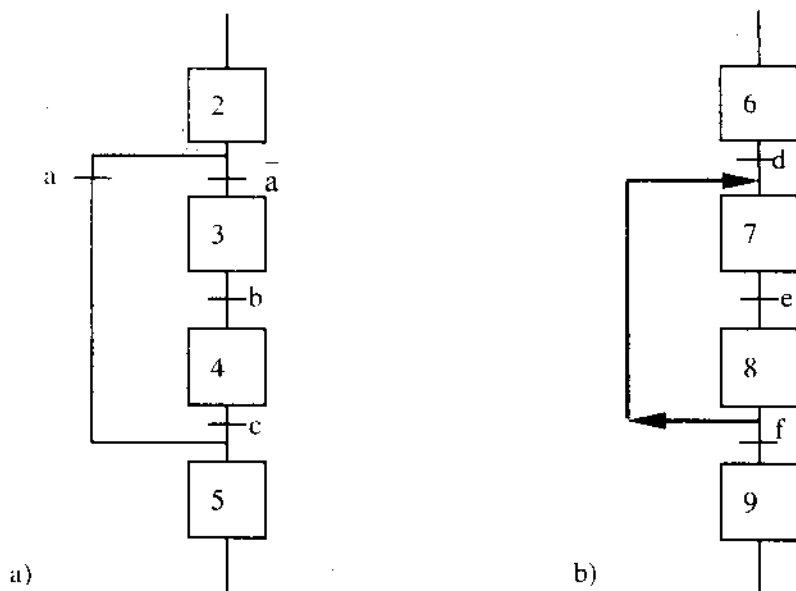
Hình 3.35



Hình 3.36

Ở hình 3.36 c, nếu trạng thái 1 hoạt động và  $t_{1,2,3}$  thoả mãn thì trạng thái 2 và 3 đồng thời hoạt động (AND).

Ở hình 3.36d, nếu trạng thái 7 và 8 cùng hoạt động và  $t_{7,8,9}$  thoả mãn thì trạng thái 9 hoạt động (trạng thái AND).



Hình 3.37

Hình 3.37a biểu diễn grafcet cho phép thực hiện bước nhảy. Khi điều kiện  $a$  được thoả mãn thì quá trình sẽ chuyển hoạt động từ trạng thái 2 sang trạng thái 5 và bỏ qua các trạng thái trung gian 3, 4; nếu điều kiện  $a$  không được thoả mãn các trạng thái chuyển tiếp theo trình tự bình thường ( $2 \Rightarrow 3 \Rightarrow 4$ ).

Ở hình 3.37b khi điều kiện  $f$  không thoả mãn thì trạng thái 8 sẽ quay lại trạng thái 7, nếu  $f$  thoả mãn thì trạng thái 8 mới chuyển sang trạng thái 9.

### 3.5.4. Quy tắc vượt qua chuyển tiếp

- Một chuyển tiếp là hợp cách (hoặc chuẩn) khi tất cả các trạng thái đầu vào của nó là hoạt động. Một chuyển tiếp chỉ được vượt qua khi nó là chuẩn và tiếp nhận gần với chuyển tiếp là đúng.

- Việc vượt qua một chuyển tiếp sẽ làm hoạt động trạng thái kế tiếp và khử bỏ hoạt động của trạng thái trước đó.

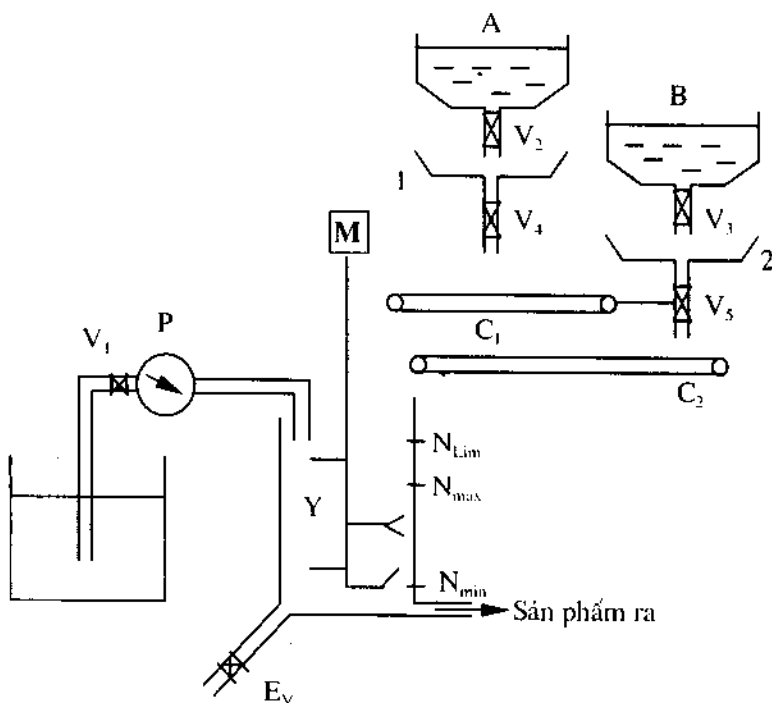
Nhiều chuyển tiếp được vượt qua đồng thời là các vượt qua đồng thời.

### 3.5.5. Ứng dụng grafcet

Ta xét một ví dụ cụ thể về việc dùng grafcet để thiết kế một hệ tự động điều khiển quá trình. Giả thiết có một máy trộn với sơ đồ công nghệ như ở hình 3.38. Thùng trộn Y chứa đủ nước và dùng cánh khuấy được kéo bằng động cơ M để khuấy trộn các nguyên liệu A, B. Các vật liệu cần trộn được chứa ở hai phễu A và B, được cân trên các cân 1 và 2. Sau đó các vật liệu được các băng tải  $C_1$ ,  $C_2$  đổ vào thùng trộn.

Trình tự khuấy trộn vật liệu như sau:

- Nếu mức vật liệu ở thùng trộn là min (tín hiệu  $N_{\min}$ ), hệ thống ở chế độ làm việc tự động (AUT) thì có tín hiệu cho mở các van  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ .



Hình 3.38

- Khi các vật liệu A, B được cân trên các cân 1, 2 đã đủ trọng lượng thì các van  $V_2$ ,  $V_3$  đóng lại.

- Khi van  $V_1$  đã mở, bơm P đã làm việc thì mức nước trong thùng Y tăng dần. Khi nước trong thùng Y đạt mức max ( $N_{\max}$ ) thì van  $V_1$  đóng, bơm P dừng.

- Khi việc chuẩn bị nguyên vật liệu như trên đã xong, động cơ khuấy M bắt đầu làm việc, đồng thời các van  $V_4, V_5$  mở, các băng tải  $C_1, C_2$  hoạt động để đổ vật liệu vào thùng Y.

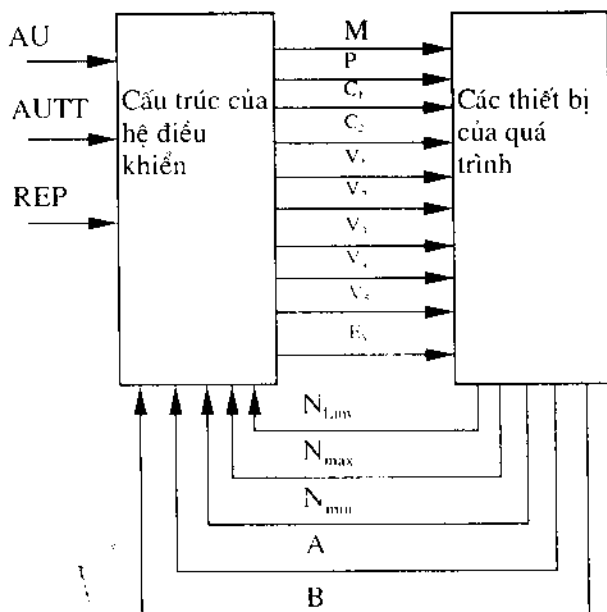
- Quá trình trộn được tính bằng thời gian, đó là thời gian ký hiệu  $t_2$ . Khi thùng trộn đã trộn đủ thời gian  $t_2$  thì có tín hiệu  $F_{12}$  xuất hiện và cắt động cơ khuấy M để kết thúc quá trình trộn.

-  $N_{Lim}$  là tín hiệu cực hạn trên để cấm hoạt động trộn khi thùng Y đã quá đầy.

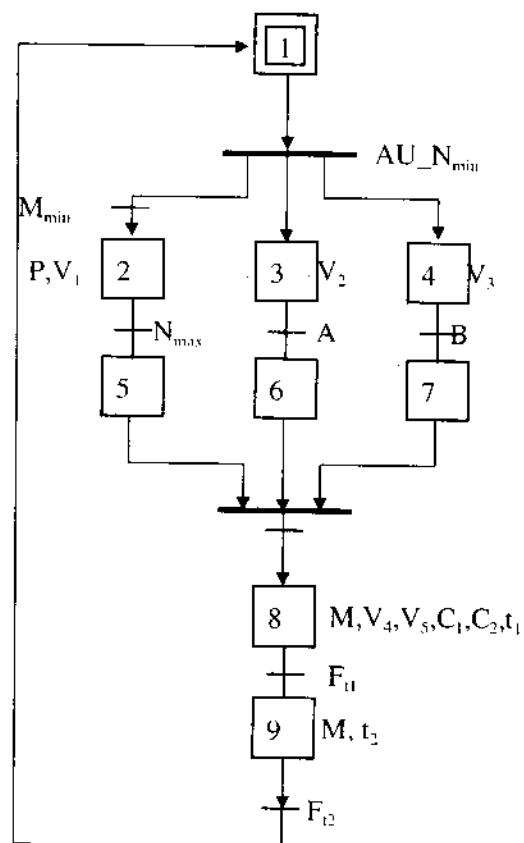
- Trước khi động cơ M làm việc người ta còn phải mở van  $E_1$  để tháo hết vật liệu thừa trong thùng cho đến mức min ( $N_{min}$  đóng), đồng thời khi vật liệu trên cân 1, 2 đã hết (các van  $V_4, V_5$  đã đóng) thì các băng tải  $C_1, C_2$  còn phải quay thêm một thời gian  $t$  để đổ hết vật liệu trên băng xuống thùng Y.

- Vì lý do an toàn, hệ thống cần có nút dừng khẩn cấp (AU) khi hệ thống có sự cố bất ngờ, đồng thời trước khi trộn cần có tín hiệu đặt lại tham số hệ thống (REP).

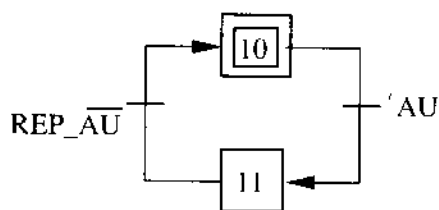
Sơ đồ cấu trúc chung của hệ điều khiển như ở hình 3.39.



Hình 3.39



a)



b)

Hình 3.40

Ở đây:

$M, P, C_1, C_2, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, E_v$  là biến điều khiển quá trình; AU, AUT, REP là tín hiệu đặt.

$A, B, N_{\min}, N_{\max}, N_{\text{Lim}}$  là tín hiệu từ quá trình đưa về điều khiển trạng thái.

Với ví dụ cụ thể này ta cần lưu ý đến hai phương thức điều khiển sau:

1. Phương thức làm việc tự động theo chu kỳ. Chu kỳ ở đây là chu kỳ trộn, mỗi một chu kỳ trộn được bắt đầu khi có tín hiệu điều khiển AUT, thùng trộn là rỗng và các thiết bị  $P, M, V_1, V_2 \dots$  chưa làm việc.

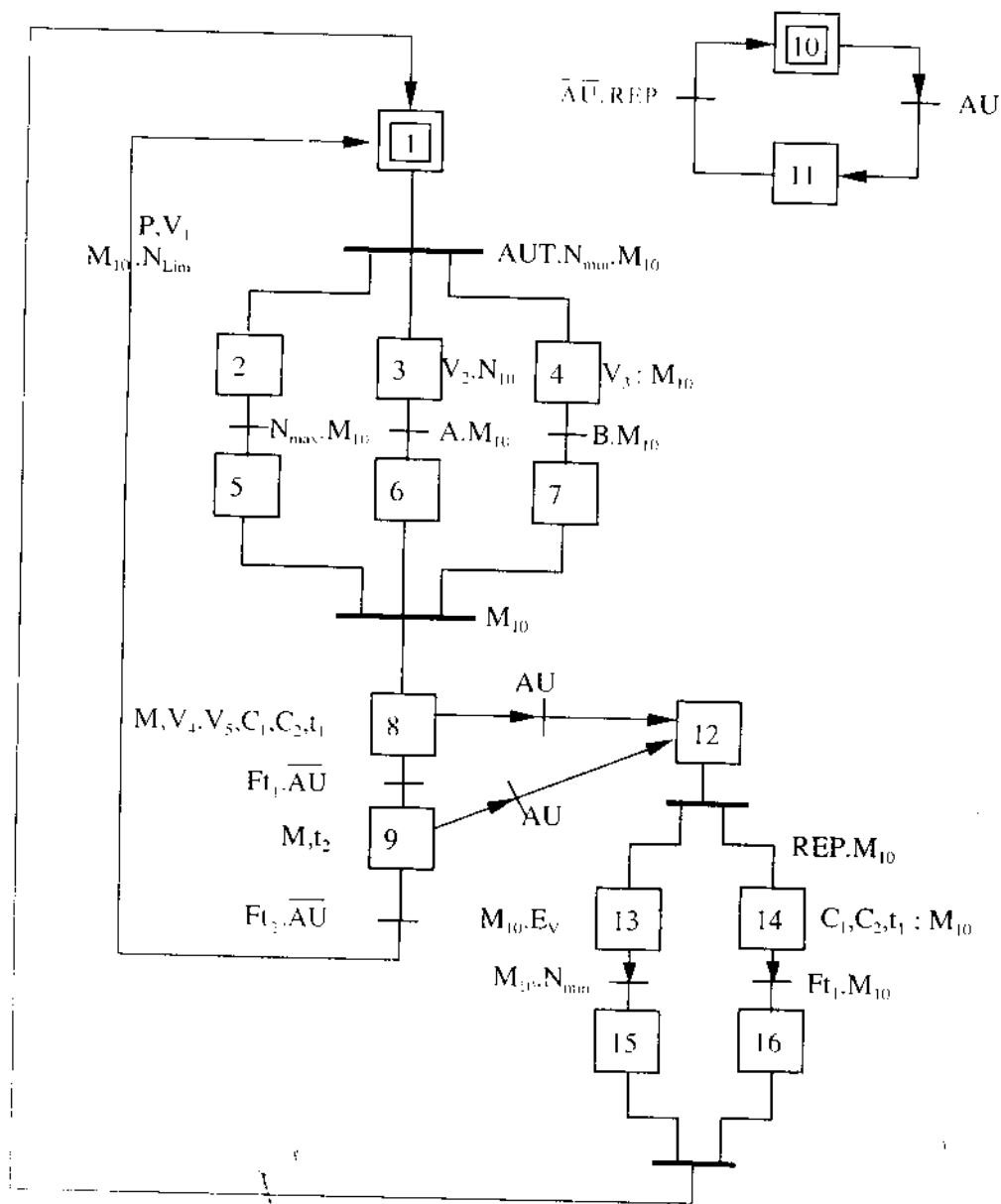
2. Phương thức khoá khi có sự cố. Khi có sự cố ngẫu nhiên, hệ thống phải dừng khẩn cấp bằng lệnh AU, lúc này phải chốt lại kết quả xuất hiện ngay trước khi có lệnh AU, sau đó khi sự cố đã được giải quyết thì hệ thống lại trở lại hoạt động theo trình tự đặt lại nhờ lệnh REP với việc tính đến hoặc không tính đến điều kiện khởi đầu.

Thoạt đầu để dễ dàng, ta vẽ grafcet khi không xét đến trạng thái do lệnh AU và REP tác động, đó là grafcet (hình 3.40a). Ở đây trạng thái khởi đầu là trạng thái 1, lúc đó các bộ phận không chế đều không làm việc và thùng trộn là rỗng, các trạng thái 5, 6, 7 là trạng thái biểu hiện các nguyên liệu cho một mẻ trộn đã chuẩn bị xong.

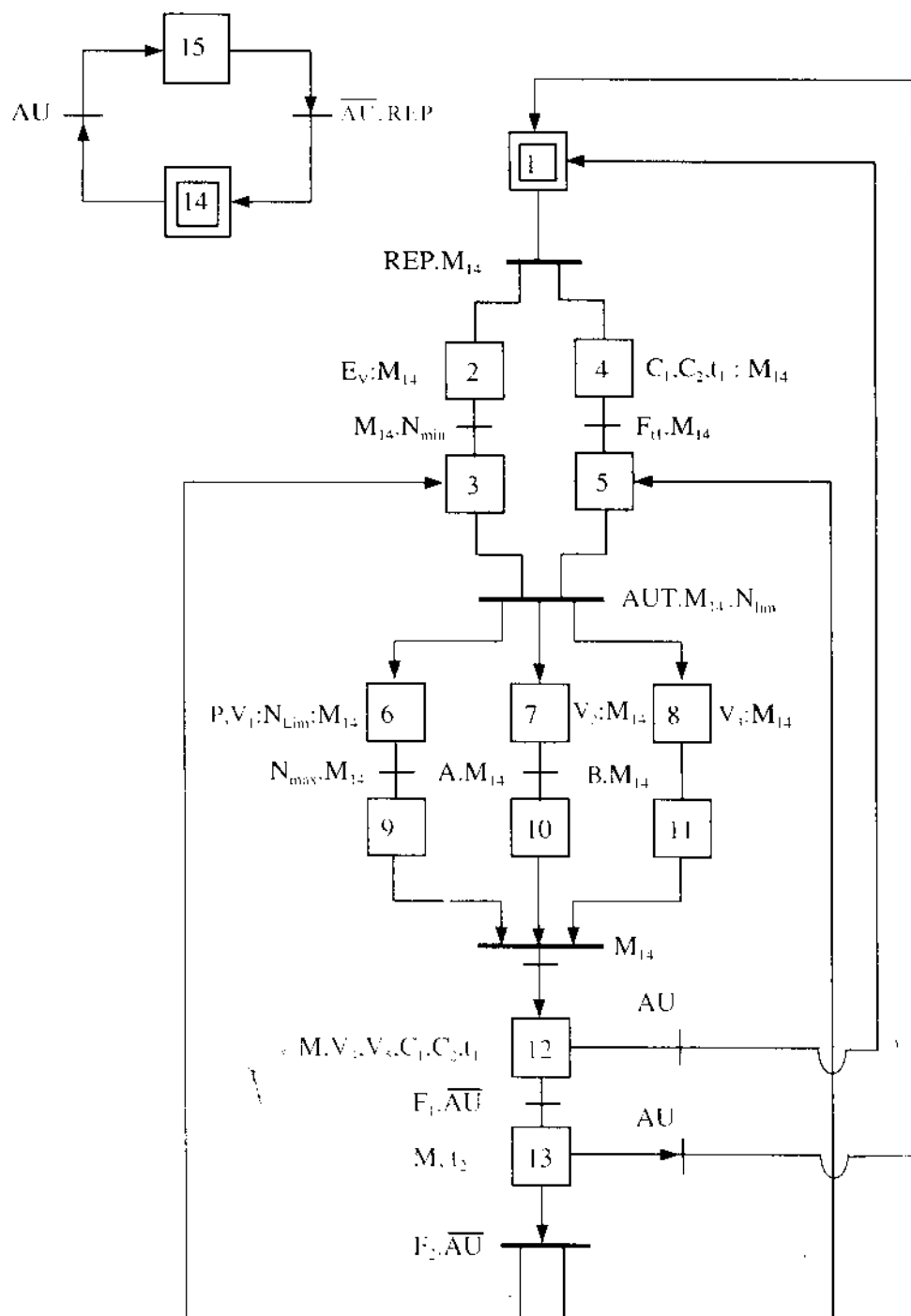
Hình 3.40b là grafcet có hai trạng thái 10, 11 để xét hiện tượng sự cố.

Kết hợp grafcet hình 3.40a và hình 3.40b và xét thêm các các trạng thái 12, 13, 14, 15, 16 là các thủ tục liên quan đến việc đặt lại và bắt đầu ta sẽ có grafcet hình 3.41. Biến  $M_{10}$  (biểu diễn tác động của trạng thái  $M_{10}$ ) sẽ đưa ra các điều kiện cho hoạt động của các trạng thái 2, 3, 4 và hoạt động của các trạng thái này sẽ dừng lại khi có dừng sự cố, đồng thời trạng thái 1 cũng không thể vượt qua để sang các trạng thái 2, 3, 4 khi có dừng sự cố (nghĩa là lúc  $M_{10} = 0$ ). Khi có dừng sự cố ( $AU = 1$ ), các trạng thái 8, 9 sẽ chuyển sang trạng thái 12, từ đây sẽ xuất hiện thủ tục đặt lại REP, sau đó hệ thống sẽ đi qua trạng thái 13, 15 hoặc 14, 16 để trở lại từ đầu chu trình.

Cuối cùng ta có thể rút gọn các trạng thái 15, 16 và trạng thái 1, như vậy ta được một grafcet như ở hình 3.42.



Hình 3.41



Hình 3.42



## Câu hỏi và bài tập

1. Định nghĩa và ý nghĩa của mạch trình tự.
2. Mô tả lại hoạt động của mạch logic ở hình 3.2 .
3. Nêu nguyên lý làm việc của một số phần tử nhớ : role thời gian, các mạch lật: RS, JK, D, T.
4. Nêu một số phương pháp thường dùng để mô tả mạch trình tự:
  - Bảng chuyển trạng thái.
  - Đồ hình trạng thái.
  - Grafcet.
5. Thiết kế một bộ đếm đồng bộ có  $N_d = 4$  và sử dụng các loại mạch lật JK, D.
6. Thiết kế một mạch khống chế khởi động động cơ roto dây quấn có một cấp điện trở khởi động và theo nguyên lý thời gian.

## Chương 4. MỘT SỐ ỨNG DỤNG MẠCH LOGIC TRONG ĐIỀU KHIỂN

### 4.1. MẠCH LOGIC TRONG KHỐNG CHẾ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Trong phần này sẽ xét một vài ứng dụng điển hình của các mạch logic trong khống chế truyền động điện, đó là loại mạch logic kiểu nối dây, với số tín hiệu vào/ra không nhiều, nhưng mạch đóng cắt ở các đối tượng có dòng điện và điện áp lớn. Đây là loại mạch khống chế rất phổ biến trong hệ tự động hoá các máy sản xuất và dây chuyền công nghệ.

Quá trình làm việc của một động cơ điện để truyền động một máy sản xuất thường gồm các giai đoạn: khởi động, làm việc và điều chỉnh tốc độ, dừng và có thể có cả giai đoạn đảo chiều. Ta xét động cơ điện là một thiết bị động lực, quá trình làm việc và đặc biệt là quá trình khởi động và hãm thường có dòng điện lớn, tự thân động cơ điện vừa là thiết bị chấp hành nhưng cũng vừa là đối tượng điều khiển phức tạp. Về nguyên lý khống chế truyền động điện, để khởi động và hãm động cơ với dòng điện được hạn chế trong giới hạn cho phép, ta thường dùng ba nguyên tắc khống chế tự động sau đây:

- *Nguyên tắc thời gian.* Việc đóng cắt để thay đổi tốc độ động cơ dựa theo nguyên tắc thời gian, nghĩa là sau những khoảng thời gian xác định sẽ có tín hiệu điều khiển để thay đổi tốc độ động cơ. Phần tử cảm biến và khống chế cơ bản ở đây là role thời gian.
- *Nguyên tắc tốc độ.* Việc đóng cắt để thay đổi tốc độ động cơ dựa vào nguyên lý xác định tốc độ tức thời của động cơ. Phần tử cảm biến và khống chế cơ bản ở đây là role tốc độ.
- *Nguyên tắc dòng điện.* Ta biết tốc độ động cơ do momen động cơ xác định, mà momen sẽ phụ thuộc vào dòng điện chạy qua động cơ, do vậy ta có thể đo dòng điện để khống chế quá trình thay đổi tốc độ động cơ điện. Phần tử cảm biến và khống chế cơ bản ở đây là *role dòng điện*.

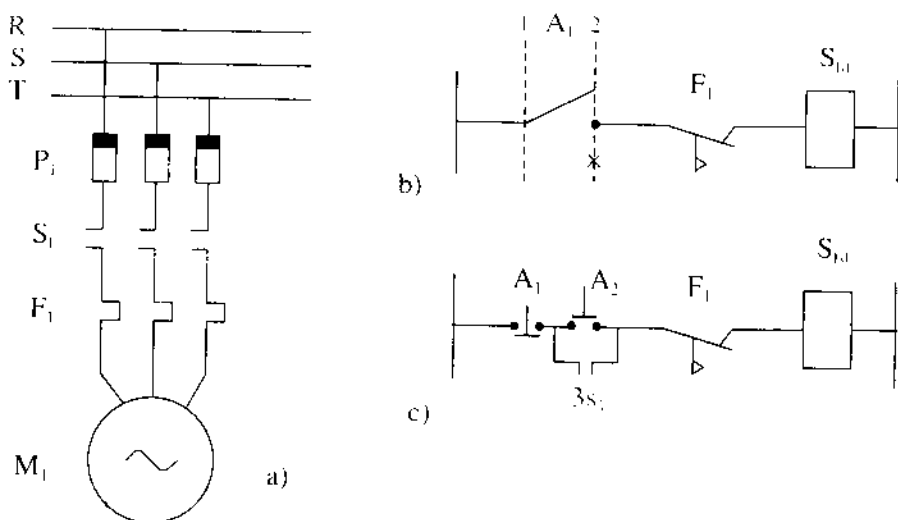
### 4.2. KHỐNG CHẾ KHỞI ĐỘNG, HÃM VÀ ĐẢO CHIỀU ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ ROTO LỒNG SÓC

Tuỳ theo công suất và yêu cầu công nghệ mà động cơ không đồng bộ roto lồng sóc (thường gọi tắt là động cơ lồng sóc) có thể được nối trực tiếp vào lưới điện.

dùng đôi nối  $\Delta/\Delta$ , qua điện kháng, qua biến áp tự ngẫu hay ngày nay thường dùng các bộ khởi động mềm để khởi động động cơ.

### 4.2.1. Mạch đóng cắt đơn giản

Trong trường hợp này, việc khởi động và dừng động cơ chỉ là việc nối trực tiếp động cơ vào lưới điện hoặc cắt động cơ ra khỏi lưới điện. Nếu động cơ chỉ quay theo một chiều thì mạch khống chế đóng cắt có thể dùng chuyển mạch như hình ở 4.1b, hoặc nút ấn như ở hình 4.1c.



Hình 4.1. Khống chế động cơ lồng sóc nối trực tiếp vào lưới điện và không đảo chiều quay

a. Mạch lực (hình 4.1a) gồm: R, S, T là 3 pha của lưới điện; P là cầu chì;  $S_1$  là tiếp điểm của công tắc tơ  $S_{1st}$ ;  $F_1$  là rơle nhiệt và  $M_1$  là động cơ.

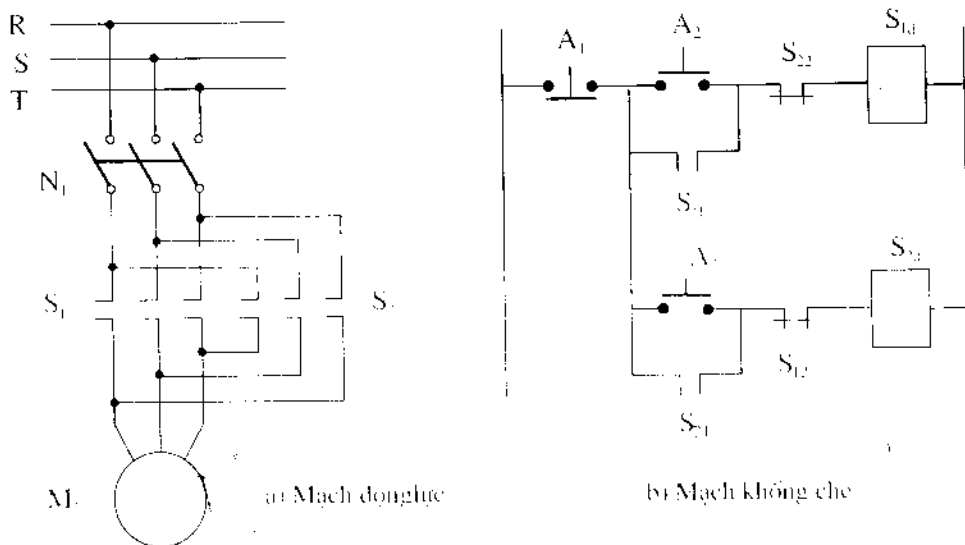
b. Mạch khống chế dùng chuyển mạch (hình 4.1b) có  $A_1$ ,  $F_1$  là tiếp điểm thường kín của rơle nhiệt  $F_1$  (bình thường tiếp điểm này kín để dòng điện có thể chạy qua, khi dòng điện qua động cơ lớn hơn trị số cho phép nào đó và thời gian quá thời gian đặt thì rơle nhiệt  $F_1$  tác động, khiến tiếp điểm  $F_1$  của nó mở ra làm ngắt mạch điện).  $S_1$  là cuộn dây của công tắc tơ  $S_{1st}$ .

Muốn khởi động động cơ ta đóng chuyển mạch sang vị trí 2, mạch điện sẽ kín, cuộn dây  $S_{1st}$  có điện và các tiếp điểm  $S_1$  ở mạch lực sẽ nối động cơ vào lưới điện.

Muốn dừng động cơ ta đóng chuyển mạch  $A_1$  về vị trí 1, mạch điện sẽ hở, cuộn dây  $S_{10}$  mất điện và động cơ bị cắt khỏi lưới điện 3 pha.

c. Mạch khống chế dùng nút ấn (hình 4.1c) gồm có nút ấn thường đóng  $A_1$  và thường mở  $A_2$ . Muốn khởi động động cơ thì ấn nút  $A_2$ , lúc đó cuộn dây  $S_{10}$  có điện, các tiếp điểm  $S_1$  ở mạch lực sẽ đóng động cơ vào lưới điện, đồng thời tiếp điểm  $3s_1$  (tiếp điểm phụ của công tắc tơ  $S_1$ ) sẽ đóng lại để duy trì cho cuộn dây  $S_{10}$  có điện khi ta không ấn nút  $A_2$  và như vậy để động cơ  $M$  liên tục được đóng vào lưới điện. Khi muốn dừng động cơ, ta ấn nút  $A_1$ , cuộn dây  $S_{10}$  mất điện và các tiếp điểm  $S_1$  ở mạch lực mở ra, cắt động cơ ra khỏi lưới điện 3 pha.

Sự khác nhau cơ bản của mạch khống chế bằng chuyển mạch (hình 4.1b) và mạch khống chế bằng nút ấn (hình 4.1c) là: Khi động cơ  $M$  đang làm việc mà đột ngột mất điện thì động cơ bị cắt ra và dừng lại. Tuy nhiên, khi mạch có điện trở lại thì, theo sơ đồ hình 4.1b, cuộn dây  $S_{10}$  có điện ngay (vì  $A_1$  còn đóng ở vị trí 2) và động cơ  $M$  sẽ khởi động ngay. Đây là trường hợp khởi động ngoài ý muốn của người vận hành nên dễ gây nguy hiểm. Ở sơ đồ hình 4.1c, nếu xảy ra mất điện thì động cơ  $M$  dừng, sau đó nếu có điện thì động cơ  $M$  không thể tự khởi động lại được. Nếu người vận hành muốn cho động cơ  $M$  chạy lại (sau khi có sự cố mất điện), phải ấn lại nút  $A_2$ , lúc đó động cơ  $M$  mới khởi động được.

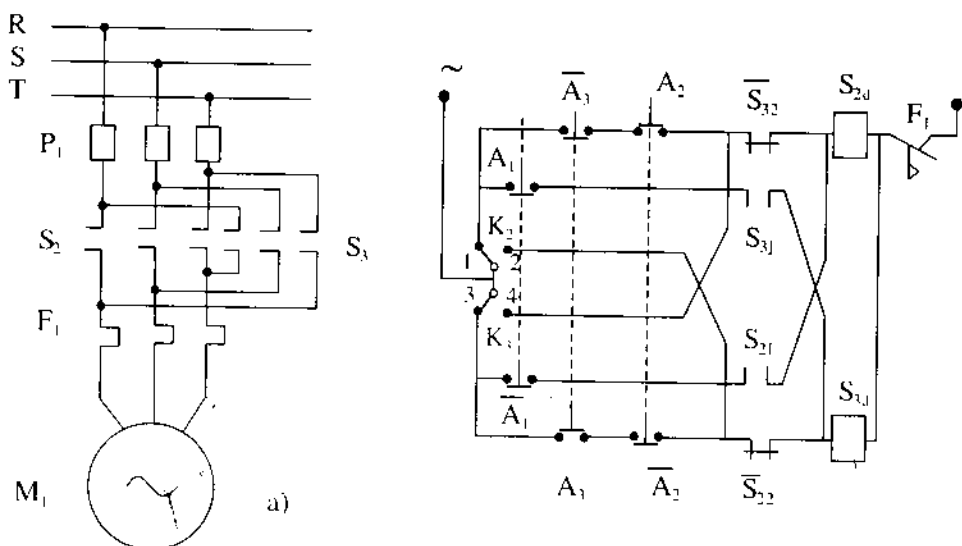


Hình 4.2. Sơ đồ khống chế động cơ lồng sóc quay theo hai chiều và nối trực tiếp vào lưới điện

Hình 4.2 là sơ đồ khống chế động cơ lồng sóc có đảo chiều quay. Phân động lực gồm cầu dao cách ly  $N_1$  (cầu dao này chỉ để đóng cắt không tải, chủ yếu là cách ly mạch điện khi sửa chữa). Các bộ tiếp điểm 3 pha  $S_1$  và  $S_2$  để đóng động cơ quay theo chiều thuận hoặc ngược vào lưới điện 3 pha R, S, T. Mạch khống chế ở hình 4.2b sử dụng các nút ấn:  $A_1$  để cắt mạch,  $A_2$  để khởi động động cơ theo chiều thuận,  $A_3$  để khởi động động cơ theo chiều ngược. Nếu động cơ đang quay theo một chiều xác định thì không thể ấn nút  $A_2$  (hoặc  $A_3$ ) để đảo chiều quay, nếu muốn đảo chiều thì phải ấn nút  $A_1$  để dừng động cơ trước sau đó mới ấn  $A_2$  (hoặc  $A_3$ ) thì động cơ mới đảo chiều quay.

#### 4.2.2. Mạch khống chế đảo chiều có giám sát tốc độ

Hình 4.3 là sơ đồ khống chế động cơ lồng sóc quay theo hai chiều và có hãm ngược. Hãm ngược là hãm xảy ra lúc động cơ còn đang quay theo chiều này (do quán tính), nhưng ta lại đóng điện cho động cơ quay theo chiều ngược lại mà không chờ cho động cơ dừng hẳn rồi mới đóng điện cho động cơ đảo chiều. Hãm ngược có khả năng hãm nhanh vì có thể tạo momen hãm lớn (do sử dụng cả hai nguồn năng lượng là động năng và điện năng tạo thành năng lượng hãm), tuy vậy dòng điện hãm sẽ lớn và trong ứng dụng cụ thể phải lưu ý hạn chế dòng điện hãm này.



Hình 4.3. Sơ đồ khống chế động cơ roto lồng sóc quay theo 2 chiều và có hãm ngược

a. Mạch động lực gồm  $P_1$  là cầu chì;  $S_2$  và  $S_3$  là các tiếp điểm của công tắc tơ  $S_2$  và  $S_3$  để đóng cắt động cơ theo chiều thuận và chiều ngược,  $F_1$  là rơle nhiệt,  $M_1$  là động cơ.

b. Mạch khống chế gồm  $A_1$  là nút ấn dừng,  $A_2$  và  $A_3$  là nút ấn điều khiển động cơ quay theo chiều thuận và ngược,  $K$  là bộ tiếp điểm của rơle tốc độ và đóng kín chỉ khi tốc độ đủ lớn (khi động cơ quay chiều thuận và tốc độ đủ lớn thì các tiếp điểm  $K_2$  đóng về phía 2 còn  $K_3$  vẫn đóng về phía 3, khi động cơ quay theo chiều ngược và tốc độ đủ lớn thì bộ tiếp điểm  $K_3$  đóng về phía 4 còn  $K_2$  vẫn còn đóng về phía 1).

Theo hình 4.3b ta viết các phương trình kích thích các cuộn dây  $S_{20}, S_{30}$ :

$$\begin{aligned} S_{20} &= (\bar{k}_2 \cdot \bar{a}_3 \cdot a_3 + k_1) \bar{s}_{12} + \bar{k}_1 \cdot \bar{a}_1 \cdot s_{21} \\ S_{30} &= (\bar{k}_1 \cdot \bar{a}_2 \cdot a_2 + k_2) \bar{s}_{22} + \bar{k}_2 \cdot \bar{a}_1 \cdot s_{31} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Ta phân tích tác dụng của các nút ấn  $A_1, A_3$  với giả thiết rằng động cơ quay theo hướng do  $S_{20}$  đóng. Điều kiện ban đầu là:

$$S_2 = 1; S_3 = 0; k_2 = 1; k_3 = 0; a_1 = 0; a_3 = 0. \quad (4.2)$$

Vì giả thiết rằng ta không ấn nút  $a_2$  và hướng quay đã xác định theo  $S_{20}$ , nghĩa là:

$$a_2 = 0; k_3 = 0. \quad (4.3)$$

Thay các điều kiện đầu vào các phương trình kích thích  $S_{20}, S_{30}$  ta được:

$$\begin{aligned} S_{20} &= \bar{a}_1 \cdot s_{21} \\ S_{30} &= (a_1 + k_2) \bar{s}_{22} + \bar{k}_2 \cdot \bar{a}_1 \cdot s_{31} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Như vậy từ (4.1) và (4.4) thì động cơ quay ở trạng thái xác lập và chỉ có thể cắt  $S_{20}$  bằng  $a_1$ .

Ta có thể lập được bảng kích thích của mạch như ở hình 4.4a và bảng chuyển của mạch như ở hình 4.4b với điều kiện đầu như (4.2).

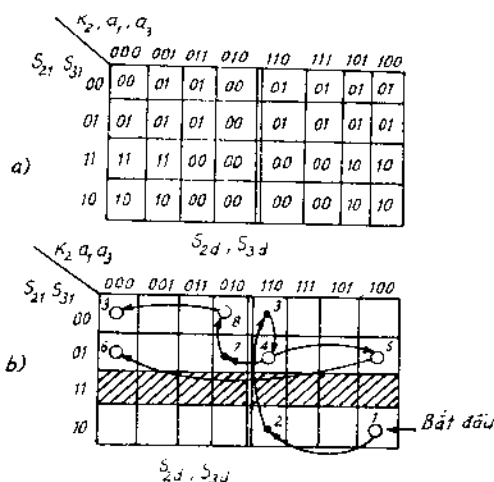
Quan sát mạch và bảng chuyển (hình 4.4b) ta thấy mạch có một số vấn đề sau:

*Thứ nhất* là khi thay đổi trạng thái  $a_3$  từ 0  $\rightarrow$  1 thì sẽ không làm trạng thái mạch thay đổi, nghĩa là lúc này ấn nút  $A_3$  trạng thái của mạch hoàn toàn được giữ nguyên.

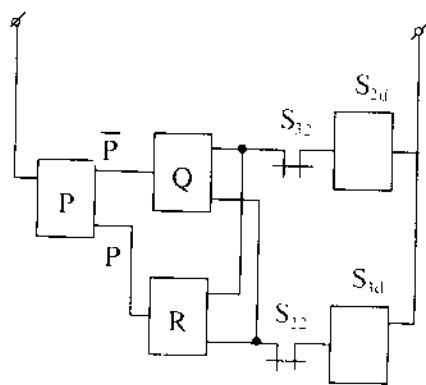
*Thứ hai* là nếu ta chỉ ấn nút  $A_1$  một thời gian ngắn rồi bỏ tay ra ngay, lúc đó mạch sẽ hoạt động nhảm. Trên bảng chuyển (hình 4.4b), từ trạng thái ban đầu 1, lúc này mạch sẽ chuyển qua các trạng thái không ổn định 2, 3 và rồi chuyển đến trạng thái ổn định 4, sau khi thả tay khỏi nút ấn  $A_1$  mạch sẽ chuyển sang trạng thái 5 với  $S_{21} = 0$  và  $S_{31} = 1$ , nghĩa là mạch chuyển sang trạng thái hãm ngược. Khi tốc độ động cơ giảm xuống đủ nhỏ thì tiếp điểm  $k_2$  của rơle tốc độ lại trở về trạng thái  $k_2 = 0$ , đó là trạng thái 6. Ở trạng thái 6, mạch làm việc ổn định, nghĩa là  $S_{31} = 1$ , động cơ sẽ

quay ngược. Đây là điều sai với yêu cầu thiết kế, vì lúc ấn  $A_1$  ta muốn động cơ dừng. Sai lầm này là do ở trạng thái 5, 6 có cùng chung việc đóng  $S_{21}$  và  $S_{31}$ . Nhìn mạch hình 4.3b ta thấy khi ấn nút  $A_1$  thì cuộn dây  $S_{21}$  mất điện, tiếp điểm thường kín  $s_{22}$  trong mạch cuộn dây  $S_{31}$  đóng lại và cuộn dây  $S_{31}$  sẽ có điện qua đường  $k_2 = 1$  (lúc này tốc độ động cơ còn cao, tiếp điểm  $k_2$  đóng về phía 2). Khi tốc độ động cơ đã đủ nhỏ thì tiếp điểm  $k_2 = 0$  (tiếp điểm  $k_2$  đóng về phía 1), vì ta không ấn nút  $A_1$  nữa nên cuộn dây  $S_{31}$  tiếp tục được cấp điện qua mạch  $k_2 - A_1 - S_{31} - S_{31}$  và trạng thái này được duy trì nên động cơ M quay ngược.

Điều kiện để mạch hoạt động đúng là việc cắt tiếp điểm thường mở  $k_2$  phải đủ lâu rồi mới đóng tiếp điểm thường kín của  $K_2$  ( $k_2$  đóng về phía 1). Điều này hoàn toàn phụ thuộc vào việc chỉnh định phần cơ khí của việc đóng cắt các tiếp của role tốc độ và nói chung tương đối phức tạp.



Hình 4.4.



Hình 4.5.

Để khắc phục các nhược điểm trên, ta có thể thiết kế một mạch không chế khác. Các bước thiết kế như sau:

Thoạt tiên ta chọn một mạch có cấu trúc gồm ba phần tách biệt nhau, ký hiệu là P, Q, R như trên hình 4.5.

Mạch P để chọn chế độ và tất nhiên sẽ chứa tất cả các nút ấn. Nếu  $P = 1$  thì đóng mạch R, nếu  $P = 0$  thì đóng mạch Q. Mạch Q để chọn chiều quay và chứa các nút ấn  $A_2, A_1$ . Mạch R để phục vụ cho việc hãm ngược và tất nhiên chứa các tiếp điểm của role tốc độ. Ta có thể thiết kế từng phần riêng biệt.

Với mạch P.

Mạch P sẽ bằng 1 khi ấn  $A_1$  và bằng 0 khi ấn  $A_2$  hoặc  $A_3$ , đồng thời mạch giữ nguyên trạng thái sau khi các nút  $A_2$  hoặc  $A_3$  được thả ra. Mạch P có hai trạng thái ta sẽ dùng một role phụ p. Bảng đầy đủ các trạng thái của mạch P ở hình 4.6a. Khi thiết kế ta tính đến cả phương án ấn đồng thời  $A_1$  và  $A_2$  hoặc  $A_1$  thì mạch ở trạng thái hãm và  $P = 1$  (trạng thái 5). Rút gọn bảng trên hình 4.6a ta được bảng như ở trên hình 4.6b và từ đó ta lập được bảng chuyển (hình 4.6c) và bảng kích thích hình 4.7. Từ bảng ở hình 4.7 ta viết được phương trình:

$$P = A_1 + p(A_2 + A_3) \text{ hay là } P = A_1 + pA_2A_3$$

Tương ứng ta có sơ đồ mạch P như ở hình 4.8.

| Trạng thái | $A_1, (A_2, A_3)$ |    |    |    | P |
|------------|-------------------|----|----|----|---|
|            | 00                | 01 | 11 | 10 |   |
| $S_1$      | ①                 | 4  | -  | 2  | 0 |
| $S_2$      | 3                 | -  | 5  | ②  | 1 |
| $S_3$      | ③                 | 4  | -  | 2  | 1 |
| $S_4$      | 1                 | ④  | 5  | -  | 0 |
| $S_5$      | -                 | 4  | ⑤  | 2  | 1 |

Hình 4.6a

| Trạng thái | $A_1, (A_2, A_3)$ |    |    |    | P |
|------------|-------------------|----|----|----|---|
|            | 00                | 01 | 11 | 10 |   |
|            | ①                 | ④  | 5  | 2  | 0 |
|            | ③                 | 4  | ⑤  | ②  | 1 |

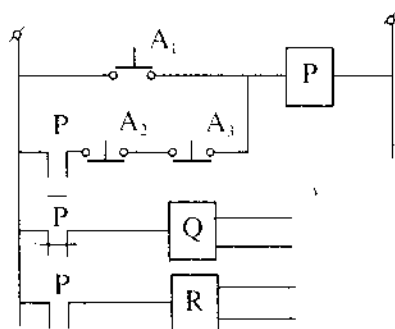
Hình 4.6b

| P | $A_1, (A_2, A_3)$ |    |    |    |
|---|-------------------|----|----|----|
|   | 00                | 01 | 11 | 10 |
| 0 | 0                 | 0  | •  | •  |
| 1 | 0                 | •  | 0  | 0  |

Hình 4.6c

| P | $A_1, (A_2, A_3)$ |    |    |    |
|---|-------------------|----|----|----|
|   | 00                | 01 | 11 | 10 |
| 0 | 0                 | 0  | 1  | 1  |
| 1 | 1                 | 0  | 1  | 1  |

Hình 4.7



Hình 4.8



Với mạch Q.

Mạch Q sẽ xác định chiều quay. Chiều quay được chọn bằng cách ấn  $A_2$  hoặc  $A_1$ , đồng thời mạch có nhớ, nên mạch Q là mạch trình tự.

| Trạng thái \ | $A_2, A_1$ |    |    |    | $S_{2d}$ | $S_{3d}$ |
|--------------|------------|----|----|----|----------|----------|
|              | 00         | 01 | 11 | 10 |          |          |
| $S_1$        | ①          | 4  | -  | 2  | 0        | 0        |
| $S_2$        | 3          | 4  | -  | ②  | 1        | 0        |
| $S_3$        | ③          | 4  | -  | 2  | 1        | 0        |
| $S_4$        | 5          | ④  | -  | 2  | 0        | 1        |
| $S_5$        | ⑤          | 4  | -  | 2  | 0        | 1        |

Hình 4.9a

| Trạng thái \ | $A_2, A_1$ |    |    |    | $S_{2d}$ | $S_{3d}$ |
|--------------|------------|----|----|----|----------|----------|
|              | 00         | 01 | 11 | 10 |          |          |
| $S_1$        | ①          | 4  | -  | 2  | 0        | 0        |
| $S_2$        | ③          | 4  | -  | ②  | 1        | 0        |
| $S_5$        | ⑤          | ④  | -  | 2  | 0        | 1        |

Hình 4.9b

Bảng đầy đủ các trạng thái của Q như trên hình 4.9a và bảng rút gọn như hình ở 4.9b. Nếu xảy ra ấn đồng thời  $A_2$  và  $A_3$  thì hệ thống cũng không xảy ra nguy hiểm vì, như ở hình 4.5, mạch đã có khoá liên động  $S_{22}$  và  $S_{32}$ . Bảng rút gọn (hình 4.9b) có 3 hàng, như vậy ta phải dùng hai biến phụ, ở đây ta dùng các tiếp điểm phụ của  $S_{2d}$  và  $S_{3d}$ . Bảng Karnaugh của bảng chuyển này như ở hình 4.10a. Ta thấy ở bảng trên hình 4.10a tồn tại sự chuyển động thời hai biến, tuy vậy nhờ khoá liên động như sơ đồ ở hình 4.5, nên mạch vẫn làm việc an toàn.

| $S_2, S_1$ | $A_2, A_1$ |    |    |    |
|------------|------------|----|----|----|
|            | 00         | 01 | 11 | 10 |
| 00         | 0          |    |    |    |
| 01         | 0          |    |    |    |
| 11         |            |    |    |    |
| 10         | 0          |    |    |    |

Hình 4.10a

| $S_2, S_1$ | $A_2, A_1$ |    |    |    |
|------------|------------|----|----|----|
|            | 00         | 01 | 11 | 10 |
| 00         | 00         | 01 | 00 | 10 |
| 01         | 01         | 01 | 00 | 10 |
| 11         | 00         | 00 | 00 | 00 |
| 10         | 10         | 01 | 00 | 10 |

Hình 4.10b

| $S_2, S_1$ | $A_2, A_1$ |    |    |    |
|------------|------------|----|----|----|
|            | 00         | 01 | 11 | 10 |
| 00         | 0          | 0  | 0  | 1  |
| 01         | 0          | 0  | 0  | 1  |
| 11         | 0          | 0  | 0  | 0  |
| 10         | 1          | 0  | 0  | 1  |

Hình 4.10c

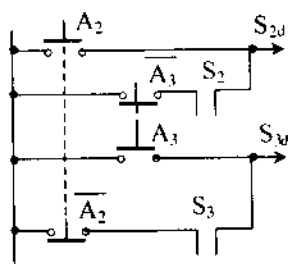
| $S_2, S_1$ | $A_2, A_1$ |    |    |    |
|------------|------------|----|----|----|
|            | 00         | 01 | 11 | 10 |
| 00         | 0          | 1  | 0  | 0  |
| 01         | 1          | 1  | 0  | 0  |
| 11         | 0          | 0  | 0  | 0  |
| 10         | 0          | 1  | 0  | 0  |

Hình 4.10d

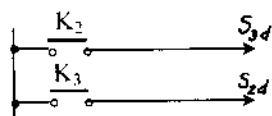
Từ bảng chuyển (hình 4.10a), ta lập bảng như ở hình 4.10b, với các ô trống ta có thể chọn 0 hoặc 1 (hàng 3 của bảng có thể lấy giá trị bất kỳ vì ảnh hưởng của khoá liên động, cột 3 cũng có thể lấy giá trị bất kỳ vì có thể ấn đồng thời cả  $A_2$  và  $A_3$ ). Từ đó ta lập được bảng kích thích riêng cho  $S_{2d}$  và  $S_{3d}$  như ở hình 4.10c và 4.10d và từ đây ta viết được phương trình:

$$S_{2d} = A_2 + \bar{A}_3 \cdot S_2 ; \quad S_{3d} = A_3 + \bar{A}_2 \cdot S_3 ;$$

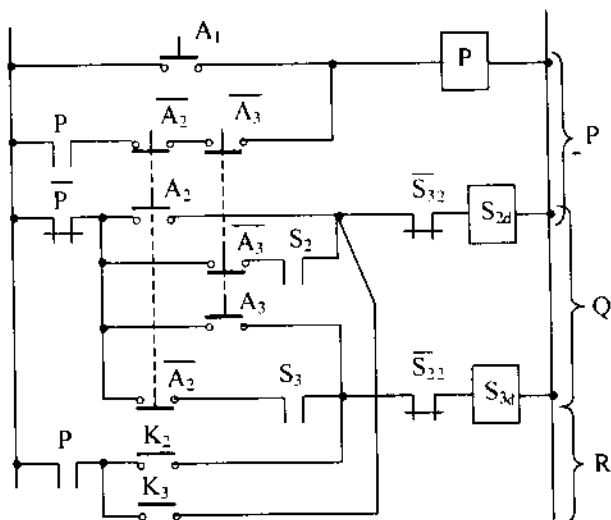
Sơ đồ mạch Q được trình bày trên hình 4.11.



Hình 4.11. Mạch Q



Hình 4.12. Mạch R



Hình 4.13

Với mạch R

Mạch R dùng cho việc hãm ngược và sử dụng các tiếp điểm của rơle tốc độ. Giả thiết khi  $S_{2d}$  đóng và tốc độ đủ lớn thì  $k_2$  đóng, khi  $S_{3d}$  đóng và với tốc độ đủ lớn thì  $k_3$  đóng. Khi đạt được tốc độ đủ nhỏ thì  $k_2$  và  $k_3$  mở. Mạch R là mạch tổ hợp, vì rằng giả thiết cần đóng  $S_{2d}$  để hãm ngược (tất nhiên trước đó động cơ quay theo chiều  $S_{3d}$  đóng) thì  $k_3$  đóng và khi  $S_{2d}$  cắt thì  $k_3$  cũng mở, nghĩa là:

$$S_{2d} = k_3 ; \quad S_{3d} = k_2 ;$$

Mạch R được trình bày trên hình 4.12.

Liên kết các mạch P, Q, R với sơ đồ ở hình 4.5 ta được mạch hoàn chỉnh như ở hình 4.13.

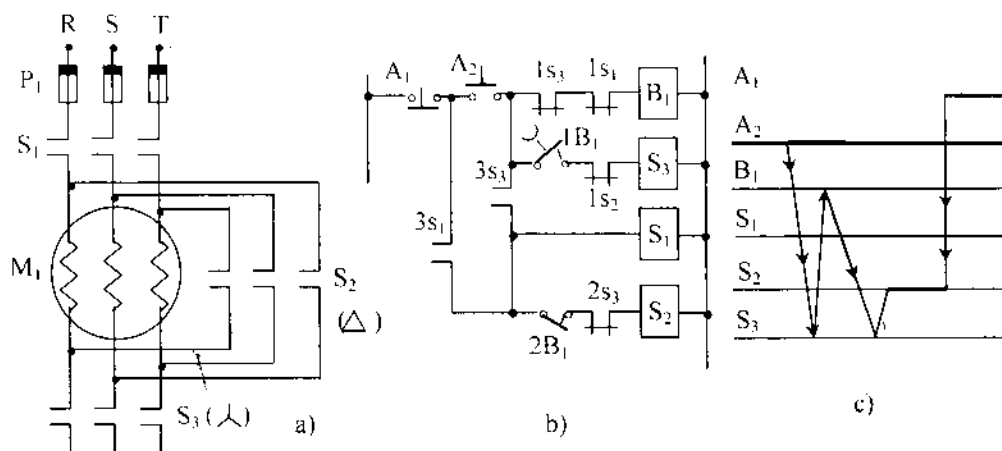
### 4.2.3. Khống chế khởi động động cơ lồng sóc kiểu đổi nối $\Delta/\Delta$ khi động cơ chỉ quay theo một chiều

Với động cơ lồng sóc, dòng điện khởi động thường gấp 5 đến 7 lần dòng định mức, để giảm nhỏ dòng khởi động với động cơ công suất nhỏ và trung bình người ta thường dùng cách đổi nối  $\Delta/\Delta$  lúc khởi động. Ở trạng thái làm việc bình thường, các cuộn dây ở stato của động cơ được nối theo hình  $\Delta$ , lúc đó điện áp trên mỗi cuộn dây là điện áp dây. Khi khởi động, ta chuyển các cuộn dây này nối theo kiểu hình  $\Delta$ , như vậy điện áp trên các cuộn dây giảm đi  $\sqrt{3}$  lần, tương ứng dòng điện khởi động cũng giảm đi khoảng  $\sqrt{3}$  lần. Sau một thời gian, khi dòng khởi động giảm đến mức cho phép, ta lại chuyển các cuộn dây stato trở lại nối hình  $\Delta$  và quá trình trở lại làm việc bình thường.

Sơ đồ mạch động lực, mạch khống chế và đồ thị trình tự thời gian tác động của các phần tử của mạch được trình bày trên hình 4.14.

Ở mạch động lực (hình 4.14a), khi các bộ tiếp điểm  $S_1$  và  $S_2$  nối kín thì cuộn dây stato của động cơ  $M_1$  được nối vào lưới điện theo hình  $\Delta$ , khi các bộ tiếp điểm  $S_1$  và  $S_2$  nối kín thì cuộn dây stato của động cơ  $M_1$  được nối vào lưới điện theo kiểu hình  $\Delta$ .

Ở mạch khống chế (hình 4.14b), phần tử cơ bản để xác định thời gian chuyển đổi  $\Delta/\Delta$  là role thời gian  $B_1$ . Role  $B_1$  có hai tiếp điểm:  $1B_1$  là tiếp điểm thường mở mở chậm và tiếp điểm  $2B_1$  là tiếp điểm thường đóng.



Hình 4.14. Sơ đồ khống chế khởi động theo kiểu đổi nối  $\Delta/\Delta$

Muốn khởi động động cơ ta ấn nút  $A_2$ , lúc đó cuộn dây rotor  $B_1$  có điện, tiếp điểm  $1B_1$  đóng lại và cuộn dây công tắc tơ  $S_1$  có điện, tiếp điểm  $3s_1$  đóng lại và cuộn dây công tắc tơ  $S_1$  có điện. Các tiếp điểm  $S_1$  và  $S_1$  ở mạch động lực đóng lại, động cơ được nối vào lưới điện theo kiểu hình  $\wedge$ .

Khi cuộn dây  $S_1$  có điện thì tiếp điểm  $1s_1$  mở ra, làm cuộn dây  $B_1$  mất điện, tiếp điểm  $1B_1$  mở ra-nhưng mở ra chậm, do vậy cuộn dây  $S_1$  tiếp tục có điện và động cơ giữ nguyên trạng thái nối hình  $\wedge$ . Sau một thời gian chính định, tiếp điểm  $1B_1$  mở ra, cuộn dây  $S_1$  mất điện, tiếp điểm  $S_1$  ở mạch lực mở ra và các cuộn dây stato động cơ sẽ không được nối theo hình sao  $\wedge$  nữa, đồng thời vì cuộn  $S_1$  đã mất điện nên tiếp điểm  $2s_1$  được đóng lại (tiếp điểm  $2B_1$  đã đóng từ trước) làm cuộn dây công tắc tơ  $S_2$  có điện, các tiếp điểm  $S_2$  ở mạch động lực nối lại và cuộn dây stato động cơ được nối theo hình  $\Delta$ , quá trình khởi động kết thúc và động cơ chuyển sang chế độ làm việc bình thường.

#### 4.2.4. Khống chế khởi động động cơ lồng sóc kiểu đổi nối $\wedge/\Delta$ khi động cơ quay theo hai chiều

Ta đặt vấn đề thiết kế sơ đồ khống chế của hệ truyền động điện này. Giả thiết cho trước:

Nút ấn  $A_1$ : Dừng chuyển động động cơ.

Nút ấn  $A_2$ : Đóng điện công tắc tơ  $S_2$  cho động cơ quay chiều thuận.

Nút ấn  $A_3$ : Đóng điện công tắc tơ  $S_3$  cho động cơ quay chiều ngược.

Role thời gian B: Có tiếp điểm thường mở đóng chậm.

Công tắc tơ  $S_2$ : Nối cuộn dây stato theo hình  $\wedge$ .

Công tắc tơ  $S_3$ : Nối cuộn dây stato theo hình  $\Delta$ .

Việc đảo chiều quay của động cơ phải qua nút  $A_1$  để dừng động cơ trước khi đảo chiều.

Mạch động lực cho việc nối động cơ lồng sóc khởi động kiểu đổi nối  $\wedge/\Delta$  và động cơ quay theo 2 chiều như hình 4.15. Khi động cơ quay theo chiều thuận thì công tắc tơ  $S_2, S_4, S_5$  được sử dụng, khi động cơ quay theo chiều ngược thì công tắc tơ  $S_3, S_2, S_4$  được sử dụng.

Mạch khống chế khởi động động cơ kiểu đổi nối  $\wedge/\Delta$  có đảo chiều quay có cấu trúc tổng quát như hình 4.16. Mạch P là mạch chọn chiều quay sẽ chứa các nút ấn  $A_2, A_3$  và tất nhiên cả các tiếp điểm khoá liên động  $S_2, S_3$ . Mạch Q là mạch thực hiện việc đổi nối  $\wedge/\Delta$  sẽ chứa role thời gian B, các tiếp điểm của công tắc tơ  $S_4$ ,

$S_2$  để cấm nối các công tắc tơ này đồng thời. Bảng chuyển cho mạch P như hình 4.17a. Trạng thái ① là trạng thái mạch chưa làm việc, đó là trạng thái ổn định. Từ trạng thái ① sau khi ấn nút  $A_2$  mạch sẽ chuyển sang trạng thái không ổn định 2 rồi đến trạng thái ổn định ②, từ đây ta tiếp tục thao tác các nút ấn sẽ có các trạng thái ③, ④, ⑤, đồng thời công tắc tơ  $S_2$  vẫn ở trạng thái đóng. Từ trạng thái ① bằng cách ấn nút  $A_1$  mạch sẽ chuyển đến trạng thái không ổn định 6 rồi đến trạng thái ổn định ⑥, tiếp tục thao tác ta sẽ có trạng thái ⑦, ⑧, ⑨ và  $S_1$  luôn có điện.

Bảng rút gọn có 3 hàng nên ta cần 2 biến phụ, với các biến phụ đó ta có bảng chuyển trạng thái như ở hình 4.17b. Từ bảng (hình 4.17b), trên cơ sở các trạng thái ổn định và không ổn định ta xây dựng được bảng kích thích cho công tắc tơ  $S_2, S_3$  (hình 4.17c). Giả thiết khi đồng thời ấn cả hai nút  $A_2$  và  $A_1$ , trạng thái công tắc tơ  $S_2, S_3$  là tùy ý (trước đó mạch chưa làm việc) nên ta ghi  $\emptyset$  vào ô này. Từ bảng kích thích (hình 4.17c) ta tách thành hai bảng riêng cho  $S_2$  và  $S_3$  (hình 4.17d và hình 4.17e). Từ đây ta có 2 phương án viết phương trình kích thích:

Phương án 1:

$$S_2 = s_2 \cdot \bar{s}_1 + A_2 \cdot \bar{A}_1 \cdot \bar{s}_1 = (A_2 \cdot \bar{A}_1 + s_2) \bar{s}_1$$

$$S_3 = \bar{s}_2 \cdot s_1 + \bar{A}_2 \cdot A_1 \cdot \bar{s}_2 = (\bar{A}_2 \cdot A_1 + s_1) \bar{s}_2$$

Từ các phương trình này ta xây dựng được mạch như ở hình 4.18a.

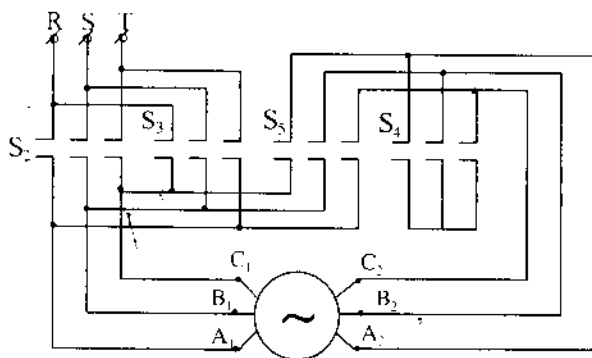
Phương án 2:

$$S_2 = s_2 \cdot \bar{s}_1 + A_2 \cdot \bar{s}_1 = (A_2 + s_2) \cdot \bar{s}_1$$

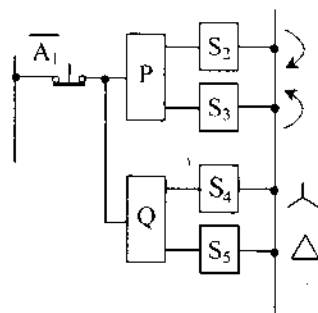
$$S_3 = \bar{s}_2 \cdot s_1 + A_1 \cdot \bar{s}_2 = (A_1 + s_1) \cdot \bar{s}_2$$

Từ các phương trình này ta xây dựng được mạch như ở hình 4.18b.

Ta thấy mạch ở hình 4.18a có cả khoá liên động bằng cơ khí nên an toàn hơn.



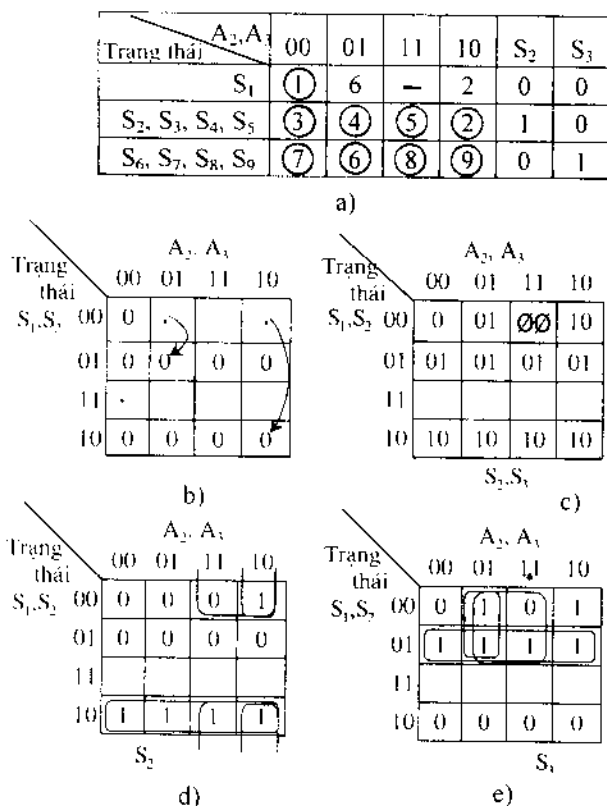
Hình 4.15



Hình 4.16

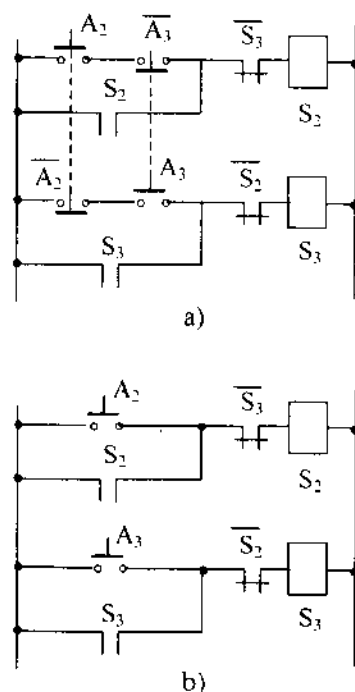
Mạch Q.

Mạch Q là mạch đóng trình tự  $S_4$  rồi  $S_5$  khi  $S_2$  hoặc  $S_3$  đóng, nghĩa là mạch Q bắt đầu tác động khi  $(s_2 + s_3)$  từ  $0 \rightarrow 1$ . Role thời gian B có tiếp điểm thường mở đóng chậm là b. Việc xây dựng các bảng trạng thái, bảng chuyển và bảng kích thích cho mạch Q như ở hình 4.19.



Hình 4.17

Ở hình 4.19a, trạng thái ② và ③ là ổn định. Từ ② đến ③ thì b thay đổi từ 0 sang 1 ( $0 \rightarrow 1$ ), còn từ ③ đến ④ thì b thay đổi từ 1 sang 0 ( $1 \rightarrow 0$ ). Ở bảng chuyển trạng thái (hình 4.19b), thời gian tiếp điểm b thay đổi từ 0 sang 1 là  $\tau$ . Ở bảng kích thích hình 4.19c thì role B có hai lần có giá trị tùy ý, do vậy ở hàng 1 của bảng (hình 4.19c) role B có thể được kích thích ngay trước khi đóng  $S_4$  hoặc ngay sau khi đóng  $S_4$ . Tương tự ở trạng thái ③ giá trị của B cũng tùy ý.



Hình 4.18.  
Hai phương án mạch P

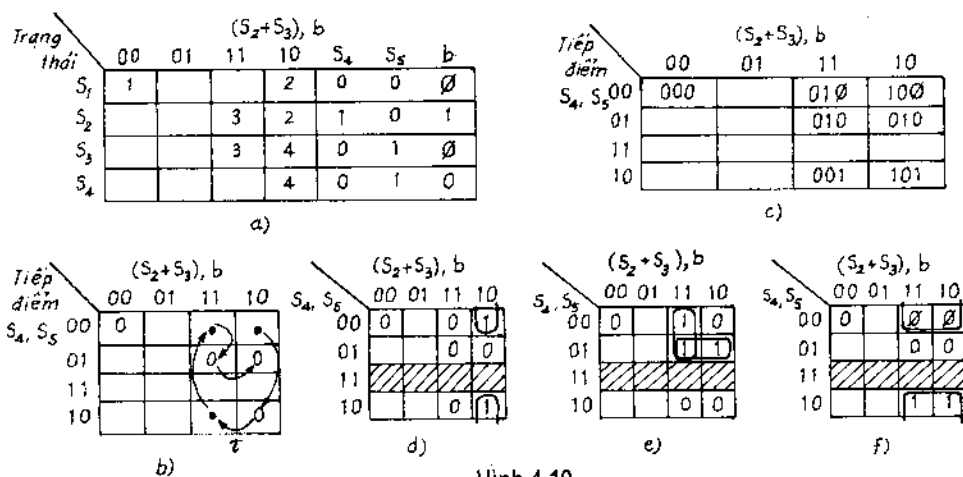
Phương trình kích thích cho  $S_1$  và  $S_2$  là:

$$S_1 = (s_1 + s_3)b\bar{s}_2; \quad S_2 = (s_2 + s_1)\bar{s}_2(b + s_2).$$

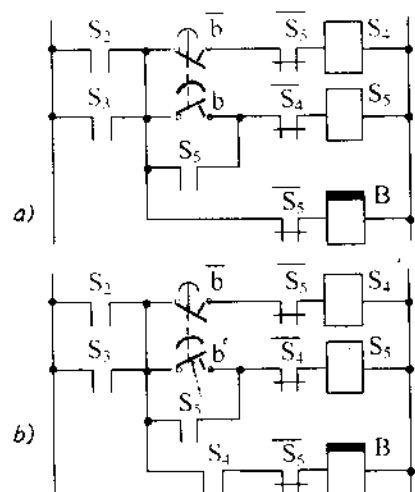
Bảng kích thích chứng tỏ có hai phương án cho role B, đó là:

$$B = (s_2 + s_1)\bar{s}_2 \quad \text{và} \quad B = (s_2 + s_3)s_4\bar{s}_5$$

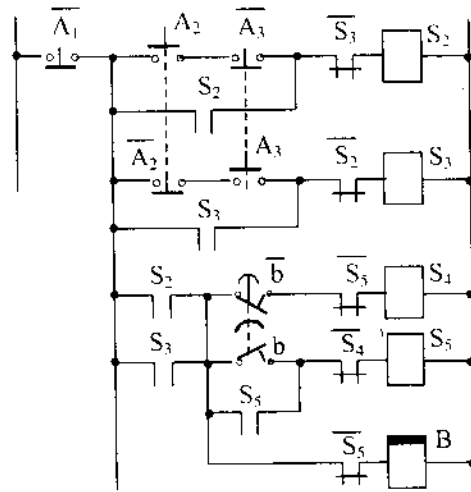
Với hai phương án role B ta vẽ được hai mạch cho Q (hình 4.20a và hình 4.20b).



Hình 4.19



Hình 4.20.



Hình 4.21.

Tổ hợp mạch P, Q và theo sơ đồ ở hình 4.16 ta được 1 trong 4 phương án (hai phương án P và hai phương án Q) của mạch khống chế khởi động động cơ lồng sóc kiểu đối nối  $\Delta/\Delta$  có đảo chiều quay như ở hình 4.21. Phương án ở hình 4.21 cũng là phương án thường dùng nhất trong thực tế.

### 4.3.KHỐNG CHẾ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ ROTO DÂY QUẮN

Nói chung mục đích chế tạo động cơ không đồng bộ roto dây quấn là để có thể nối thêm điện trở vào cuộn dây roto phục vụ cho việc giảm nhỏ dòng điện khởi động và thay đổi tốc độ động cơ trong quá trình làm việc. Tùy thuộc vào ứng dụng cụ thể mà có thể việc nối thêm điện trở vào roto chỉ phục vụ cho việc giảm dòng khởi động, khi khởi động xong, các điện trở phụ nối thêm vào mạch roto sẽ được cắt ra, động cơ sẽ làm việc ở một tốc độ không đổi xấp xỉ bằng tốc độ đồng bộ. Khi nối thêm điện trở phụ với mục đích để thay đổi tốc độ động cơ, thì tùy theo yêu cầu cụ thể, mà mỗi tốc độ làm việc sẽ có một trị số điện trở phụ tương ứng nối vào mạch roto và tất nhiên các điện trở phụ lúc này cũng phục vụ cho cả mục đích giảm dòng khởi động động cơ.

#### 4.3.1. Mạch khống chế khởi động động cơ dây quấn dùng động cơ phụ để thay đổi điện trở phụ trong mạch roto

Các điện trở phụ nối vào 3 pha cuộn dây roto lúc này thường dùng là điện trở chất lỏng (dầu, nước) hoặc các điện trở kim loại nhưng có tiếp điểm đóng cắt ngâm trong dầu. Ví dụ sơ đồ khống chế kiểu này được trình bày trên hình 4.22, trong đó 4.22a là mạch lực, 4.22b là mạch khống chế, 4.22c là biểu đồ đóng cắt.

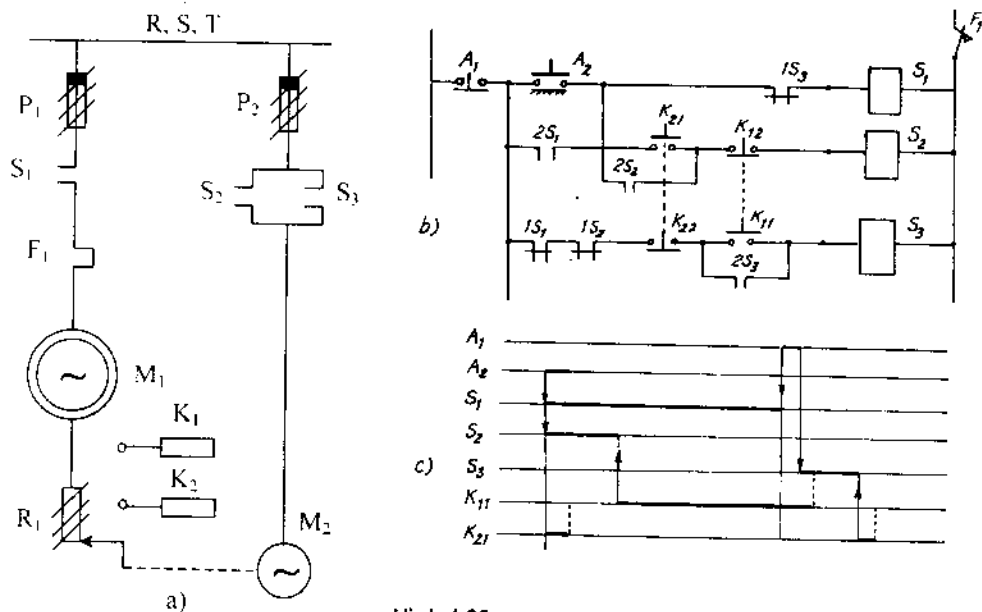
Mạch lực gồm cầu chì  $P_1$ , tiếp điểm lực  $S_1$ , rơle nhiệt  $F_1$ , động cơ roto dây quấn  $M_1$ , điện trở phụ  $R_1$ . Mạch cho động cơ phụ  $M_2$  gồm: cầu chì  $P_2$ , bộ 3 tiếp điểm  $S_2$  (sơ đồ chỉ vẽ 1) để đóng cho động cơ  $M_2$  chạy thuận nhằm giảm nhỏ dần điện trở  $R_1$ , bộ 3 tiếp điểm  $S_3$  (sơ đồ chỉ vẽ 1) để đóng cho động cơ chạy ngược nhằm tăng điện trở phụ  $R_1$  đến trị số lớn nhất. Công tắc  $K_1$  để hạn chế hành trình thuận của động cơ  $M_2$ , công tắc  $K_2$  để hạn chế hành trình ngược của  $M_2$ .

Hình 4.22b là mạch khống chế. Khi ta ấn nút  $A_2$  thì công tắc tơ  $S_1$  có điện, nếu tiếp điểm  $K_2$  đóng kín (nghĩa là điện trở  $R_1 \neq 0$  lúc bắt đầu khởi động) thì công tắc tơ  $S_2$  có điện và nối động cơ  $M_2$  vào lưới điện. Động cơ  $M_2$  quay theo chiều thuận sẽ kéo đầu trượt biến trở để giảm dần điện trở  $R_1$  nối vào roto. Khi đến vị trí cực hạn, tiếp điểm  $K_1$  cắt ra làm cuộn dây  $S_2$  mất điện, động cơ phụ  $M_2$  bị cắt điện và dừng lại, kết thúc quá trình khởi động động cơ  $M_1$ . Động cơ  $M_1$  sẽ làm việc ổn định ở tốc độ lớn nhất, tương ứng với điện trở  $R_1 = 0$ . Muốn dừng động cơ  $M_1$ , ta ấn nút  $A_1$  làm cuộn dây  $S_1$  mất điện, động cơ  $M_1$  bị cắt điện và dừng lại. Khi  $S_1$  mất điện thì



tiếp điểm  $1 S_1$  đóng lại, làm công tắc tơ  $S_3$  có điện, tiếp điểm  $S_3$  đóng kín để nối cho động cơ  $M_2$  quay theo chiều ngược làm cho điện trở  $R_1$  tăng dần để chuẩn bị cho khởi động  $M_1$  lần sau. Khi đến vị trí mà tiếp điểm  $K_{22}$  cắt ra, điện trở  $R_1$  sẽ có giá trị lớn nhất, cuộn dây  $S_3$  mất điện, động cơ  $M_2$  dừng lại, kết thúc trọn vẹn một chu trình làm việc của toàn hệ thống.

Hình 4.22c trình bày biểu đồ đóng cắt của các phần tử trong mạch khống chế.



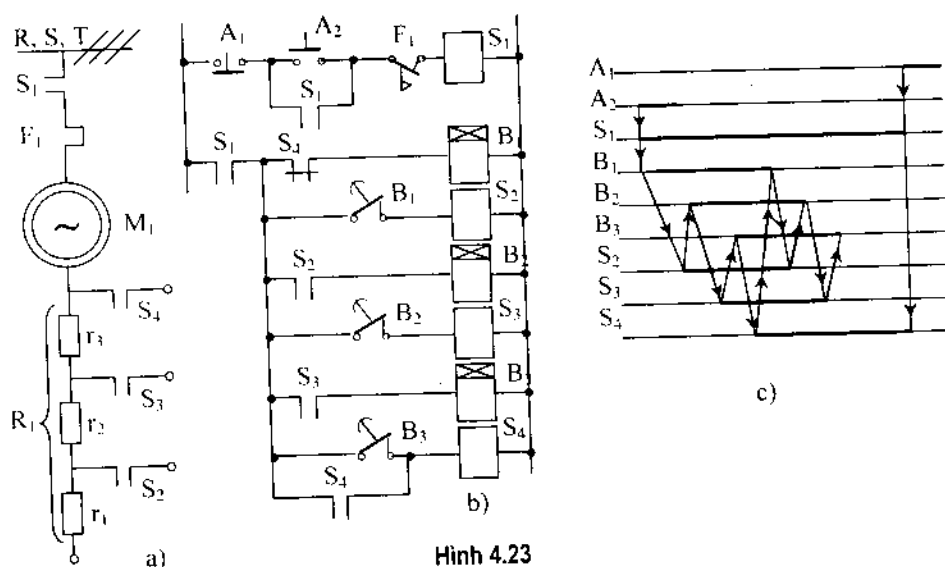
Hình 4.22

#### 4.3.2. Sơ đồ khống chế khởi động động cơ roto dây quấn với việc cắt điện trở khởi động từng cấp theo nguyên tắc thời gian

Hệ thống này thường dùng cho động cơ công suất trung bình và công suất lớn với sơ đồ nguyên lý như trình bày trên hình 4.23. Hình 4.23a là mạch động lực với  $M_1$  là động cơ 3 pha roto dây quấn,  $P_1$  là cầu chì,  $S_1$  là tiếp điểm mạch lực của công tắc tơ  $S_1$ ,  $F_1$  là реле nhiệt,  $R_1$  là điện trở phụ trong mạch roto với 3 cấp điện trở  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  và các cấp điện trở này được cắt ra khỏi cuộn dây roto bằng các tiếp điểm của khởi động từ  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ .

Hình 4.23b là sơ đồ nguyên lý của mạch khống chế khởi động với 3 cấp điện trở theo nguyên tắc thời gian, đây là nguyên tắc thường dùng nhất để cắt các cấp điện trở lúc khởi động động cơ roto dây quấn. Phần tử cơ bản của sơ đồ là các реле thời gian  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ . Muốn khởi động động cơ ta ấn nút  $A_1$ , công tắc tơ  $S_2$  có điện và

nối stato động cơ  $M_1$  vào lưới điện 3 pha R, S, T với toàn bộ điện trở  $r_1, r_2, r_3$  được nối vào cuộn dây roto. Khi  $S_1$  có điện thì role thời gian  $B_1$  có điện, sau một thời gian chỉnh định thì tiếp điểm  $B_1$  đóng lại làm cho cuộn dây  $S_2$  có điện và như vậy tiếp điểm  $S_2$  ở mạch roto được đóng kín, phần điện trở  $r_1$  được cắt ra khỏi mạch roto. Quá trình cứ tiếp tục như vậy cho đến khi cuộn dây  $S_4$  có điện, tiếp điểm  $S_4$  ở mạch roto sẽ nối kín và cắt phần điện trở  $r_3$  ra khỏi mạch roto. Khi cuộn dây  $S_4$  có điện thì tiếp điểm thường đóng  $S_4$  trong mạch cuộn dây  $B_1$  mở ra, làm  $B_1$  mất điện, kéo theo  $B_2, B_3$  cũng mất điện và quá trình khởi động kết thúc. Muốn dừng động cơ ta chỉ cần ấn nút  $A_1$ , cuộn dây  $S_1$  mất điện, kéo theo toàn bộ role và công tắc tơ phía sau mất điện, các điện trở  $r_1, r_2, r_3$  lại được đưa vào mạch roto để chuẩn bị cho khởi động lần sau.



Hình 4.23

Hình 4.23c biểu thị trình tự thời gian tác động của các phần tử ở mạch khống chế.

### 4.3.3. Sơ đồ khống chế đóng cắt điện trở phụ theo từng cấp để điều chỉnh tốc độ động cơ roto dây quấn và có hãm động năng

Trong công nghiệp có rất nhiều máy sản xuất dùng truyền động động cơ roto dây quấn để điều chỉnh tốc độ như cầu trục, máy cán, v.v... và ở đây thường dùng thêm khâu hãm động năng để dừng máy. Hãm động năng là cách hãm sử dụng

động năng của động cơ đang quay để tạo thành năng lượng hãm. Với động cơ roto dây quấn, muốn hãm động năng thì lúc hãm, khi đã cắt nguồn điện xoay chiều, phải nối vào các cuộn dây stato một dòng điện một chiều để tạo thành từ thông kích thích cho động cơ và như vậy mới có momen hãm. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống được thể hiện trên hình 4.24.

Hình 4.24a là sơ đồ nguyên lý mạch lực. Động cơ roto dây quấn  $M_1$  có thể quay theo chiều thuận nếu  $S_1, S_2$  đóng và quay theo chiều ngược nếu  $S_1, S_3$  đóng. Công tắc tơ  $S_6$  để đóng nguồn một chiều lúc hãm động năng, công tắc tơ  $S_4, S_5$  để cắt điện trở phụ trong mạch roto làm thay đổi tốc độ động cơ khi làm việc. Khi hãm động năng toàn bộ điện trở phụ  $R_1$  được đưa vào mạch roto để hạn chế dòng điện hãm, còn điện trở  $R_2$  trong mạch một chiều để đặt giá trị momen hãm.

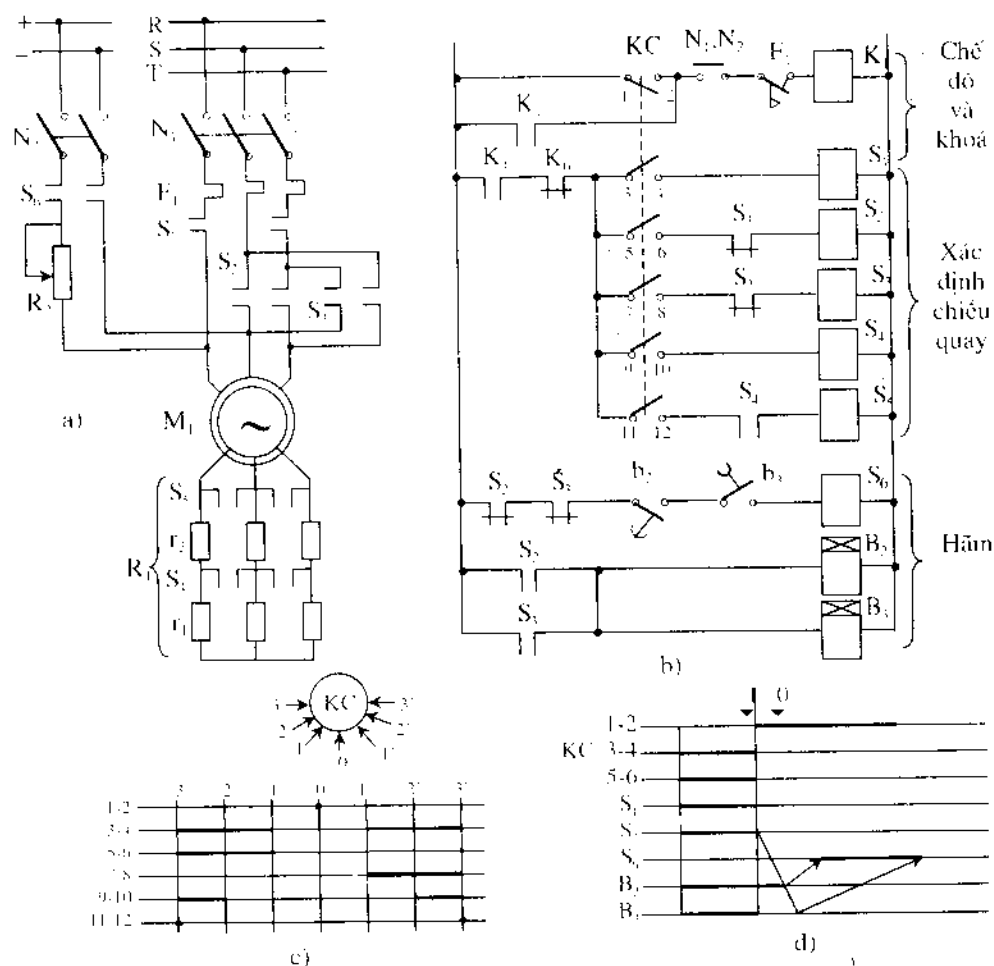
Hình 4.24b là sơ đồ nguyên lý mạch khống chế. Về cấu trúc có thể chia mạch này thành ba khối: khối xác định chế độ ban đầu và khoá, khối xác định chiều quay và khối hãm động năng. Trong thực tế vận hành, để hệ thống làm việc an toàn, mạch khống chế còn cần có một số yêu cầu phụ như sau:

- + Mạch khống chế chỉ hoạt động được khi cả hai áp tô mát  $N_1, N_2$  đã đóng.
- + Phải có một thời gian chậm trễ nhỏ giữa khi cắt động cơ khỏi nguồn xoay chiều 3 pha và bắt đầu đóng vào nguồn một chiều.
- + Sau khi kết thúc hãm động năng, nghĩa là khi tốc độ động cơ đã đủ nhỏ, cần cắt nguồn một chiều ra khỏi cuộn dây stato.
- + Động cơ chỉ có thể khởi động khi bộ khống chế KC được đặt ở vị trí 0 (vị trí giữa).

Một phần tư quan trọng của mạch khống chế là bộ khống chế theo kiểu chuyển mạch cơ khí KC. Bộ khống chế KC có nguyên lý cấu tạo là một trụ tròn cơ khí, có thể quay hai chiều, trên trục cố gắn các tiếp điểm động và kết hợp với các tiếp điểm tĩnh tạo thành các cặp tiếp điểm được đóng cắt tùy thuộc vào vị trí quay của trụ. Đồ thị đóng mở của các tiếp điểm của bộ khống chế KC được thể hiện trên hình 4.24c. Ví dụ ở vị trí 0 của bộ khống chế chỉ có tiếp điểm 1 - 2 đóng, tất cả các vị trí còn lại tiếp điểm 1 - 2 đều cắt, hoặc tiếp điểm 9 - 10 sẽ đóng ở các vị trí 2, 3 (bên trái) và 2', 3' (bên phải).

Hoạt động của mạch khống chế như sau: Ban đầu bộ khống chế KC được đặt ở vị trí 0, nếu các áp tô mát  $N_1, N_2$  đã đóng thì công tắc tơ  $K_1$  có điện, các tiếp điểm  $k_1$  ở mạch khống chế đóng lại, chuẩn bị cho hệ thống làm việc. Nếu muốn động cơ  $M_1$  quay theo chiều thuận thì ta quay bộ KC về phía trái, nếu muốn  $M_1$  quay theo chiều nghịch thì ta quay bộ KC về phía phải. Giả thiết ta quay bộ KC về vị trí 2 phía trái, lúc đó các tiếp 3-4, 5-6, 9-10 của bộ KC đóng kín (xem hình 4.24b), các cuộn dây của công tắc tơ  $S_1, S_2, S_4$  và  $B_1, B_2$  có điện, các tiếp điểm  $s_1, s_2$  ở mạch lực đóng

lại, cuộn dây stato được đóng vào nguồn 3 pha R-S-T, tiếp điểm  $s_4$  trong mạch roto đóng lại với phần điện trở phụ  $r_1$  được cắt ra, động cơ  $M_1$  được khởi động và làm việc ổn định ở tốc độ tương ứng với điện trở phụ  $r_2$  trong mạch roto (tương ứng với vị trí 2 của bộ KC), tiếp điểm  $b_2$  mở ra và  $b_3$  đóng lại - chuẩn bị cho hãm động năng



Hình 4.24

khi động cơ dừng. Nếu muốn dừng động cơ thì quay bộ KC về vị trí 0, các công tắc tơ  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_4$  và rơle  $B_1$ ,  $B_2$  mất điện, động cơ được cắt khỏi nguồn điện 3 pha với toàn bộ điện trở  $r_1$ ,  $r_2$  được đưa vào roto, đồng thời tiếp điểm  $b_2$  đóng lại (đóng chậm), tiếp điểm  $b_3$  mở ra chậm sẽ làm cho cuộn dây công tắc tơ  $S_6$  có điện, tiếp điểm  $s_6$  sẽ đóng nguồn một chiều vào cuộn dây stato và động cơ được hãm động

năng. Sau một thời gian chỉnh định, tiếp điểm b, mở ra tương ứng với tốc độ động cơ  $M_1$  đã đủ nhỏ, cuộn dây  $S_0$  mất điện, nguồn một chiều được cắt khỏi cuộn dây stato, kết thúc quá trình hãm động năng. Trong thực tế, người ta yêu cầu người vận hành khi quay bộ khống chế KC qua mỗi vị trí phải dừng lại một thời gian ngắn để hệ thống làm việc an toàn cả về mặt điện và cơ khí.

Hình 4.24d là biểu đồ trình tự thời gian tác động của các phần tử mạch khống chế lúc làm việc.

#### 4.4.KHỐNG CHẾ KHỞI ĐỘNG, HÃM VÀ ĐẢO CHIỀU ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Với động cơ điện một chiều, người ta thường sử dụng hai phương trình cơ bản sau đây để mô tả hoạt động của chúng:

$$u = C_e \omega + i.R + L \frac{di}{dt} \quad (4.5)$$

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (4.6)$$

trong đó:

$u$  - điện áp đặt vào phần ứng động cơ (V).

$i$  - dòng điện chạy qua động cơ (A).

$R$  - toàn bộ điện trở của mạch phần ứng động cơ ( $\Omega$ ).

$L$  - toàn bộ điện cảm của mạch phần ứng động cơ (Henry).

$M$  - momen do động cơ sinh ra ở trên trục động cơ (N.m).

$M_c$  - momen cản của phụ tải ở đầu trục động cơ (N.m).

$\omega$  - tốc độ góc của động cơ (r/s).

$d\omega/dt$  - đạo hàm tốc độ góc động cơ (r/s<sup>2</sup>).

$di/dt$  - đạo hàm dòng điện động cơ (A/s).

$J$  - momen quán tính ở đầu trục động cơ (N.m<sup>2</sup>).

$C = k_e \Phi$  ( $k_e$  hệ số chế tạo,  $\Phi$  từ thông động cơ).

Phương trình (4.5) phản ánh sự cân bằng năng lượng điện cơ, phương trình (4.6) phản ánh định luật 2 của Newton trong chuyển động quay của động cơ. Ở trạng thái xác lập hoặc gần xác lập (khi  $d\omega/dt$ ,  $di/dt$  nhỏ) ở phương trình (4.5) và

(4.6) không còn thành phần đạo hàm nữa và ta thường dùng các phương trình này để mô tả hoạt động của động cơ một chiều lúc khởi động và hãm.

Khi khởi động động cơ, do điện trở của cuộn dây phản ứng rất nhỏ (chỉ bằng khoảng  $3\div 5\% U_{dm}/I_{dm}$ ) và lúc đầu  $C.\omega = 0$ , nên nếu nối vào phần ứng điện áp  $U_{dm}$  thì dòng điện động cơ có thể lớn gấp hơn 20 lần dòng định mức. động cơ dễ bị hư hỏng cả về phần điện lẫn phần cơ. Để giảm nhỏ dòng khởi động, một cách đơn giản là ta nối thêm điện trở phụ vào phần ứng động cơ, sau một thời gian tốc độ động cơ tăng lên, dòng điện động cơ giảm, ta cắt điện trở phụ ra. Thực tế yêu cầu thời gian khởi động phải nhanh, đồng thời dòng điện chạy qua động cơ không được lớn hơn dòng cho phép (thường bằng  $2\div 2.5$  lần dòng định mức), do vậy ta phải dùng nhiều cấp điện trở để khởi động. Ngày nay nhờ kỹ thuật điện tử và tin học phát triển, người ta đã chế tạo các bộ biến đổi một chiều bằng bán dẫn công suất lớn làm nguồn trực tiếp cho động cơ và điều khiển các bộ biến đổi này bằng các mạch số logic khả trình. Các bộ biến đổi này nối trực tiếp vào phần ứng động cơ, việc khống chế khởi động, hãm và điều chỉnh tốc độ đều thực hiện bằng các mạch số khả trình nên rất thuận tiện và linh hoạt. Tuy vậy nội dung này sẽ được trình bày ở các tài liệu khác, ở đây chỉ trình bày các ví dụ có liên quan trực tiếp đến các mạch logic khống chế đóng cắt mạch.

Việc khống chế đóng cắt các điện trở phụ trong mạch phần ứng động cơ trong quá trình khởi động và hãm cũng theo 3 nguyên tắc: nguyên tắc thời gian, nguyên tắc dòng điện, nguyên tắc tốc độ, trong đó nguyên tắc thời gian thường dùng nhất và do vậy ở đây nêu một ví dụ về nguyên tắc khống chế này.

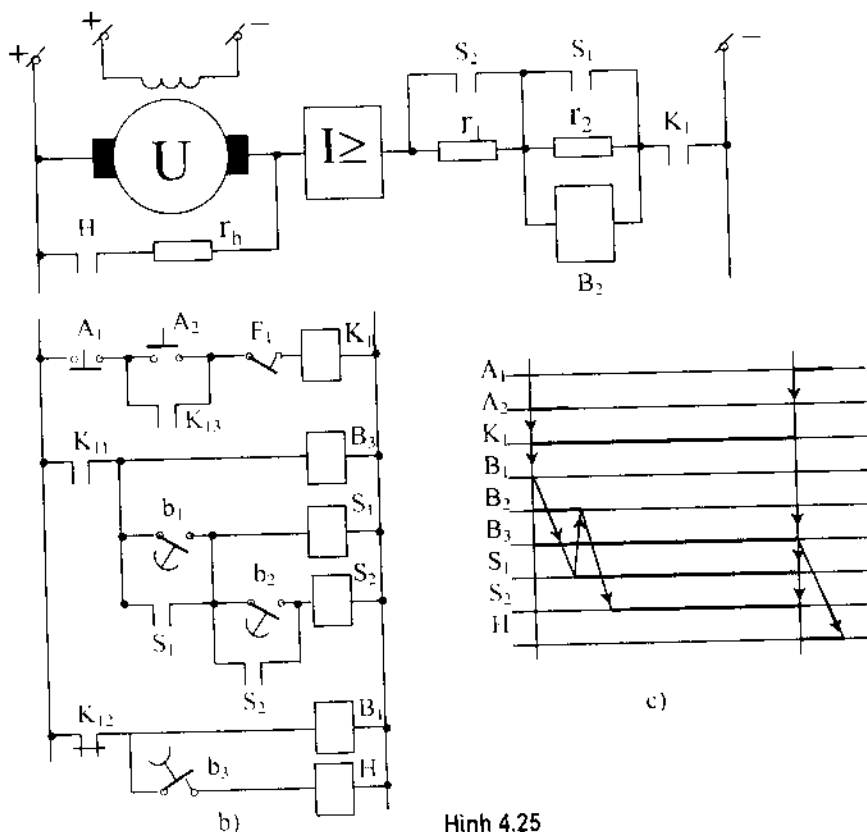
Nguyên tắc thời gian sử dụng phần tử cơ bản là rơle thời gian để điều khiển đóng cắt các điện trở phụ trong mạch phần ứng động cơ trong quá trình khởi động hoặc hãm.

Hình 4.25 giới thiệu sơ đồ nguyên lý của hệ thống khống chế này.

Hình 4.25a là mạch động lực. Phần ứng động cơ một chiều  $U$  được nối nối tiếp với hai cấp điện trở phụ  $r_1, r_2$  và nối song song với điện trở  $r_h$  để hãm động năng.  $K_1$  là tiếp điểm của công tắc tơ chính,  $s_1 - s_2$  là các tiếp điểm để nối tắt các cấp điện trở  $r_1 - r_2$ .  $H$  là tiếp điểm để nối điện trở  $r_h$  vào mạch phần ứng để thực hiện hãm động năng.  $B_1$  là rơle thời gian,  $I$  là rơle bảo vệ quá dòng.

Hình 4.25b là mạch khống chế. Để khởi động động cơ ta ấn nút  $A_2$ , lúc đó công tắc tơ  $K_1$  có điện, các tiếp điểm thường mở  $k_1$  đóng lại và tiếp điểm thường đóng mở ra. Như vậy ở mạch lực phần ứng động cơ được nối vào nguồn một chiều, ở mạch khống chế rơle thời gian  $B_1$  mất điện, sau một thời gian chỉnh định tiếp điểm  $b_1$  (thường đóng đóng chậm) đóng lại, công tắc tơ  $S_1$  có điện làm tiếp điểm  $s_1$  ở mạch lực đóng lại - cắt phần điện trở phụ  $r_1$  ra khỏi phần ứng động cơ. Khi tiếp điểm  $s_1$  (ở mạch lực) đóng lại thì rơle thời gian  $B_2$  mất điện, sau một thời gian chỉnh

định thì tiếp điểm thường đóng  $b_2$  (thường đóng đóng chặt) đóng lại, công tắc tơ  $S_2$  có điện làm tiếp điểm  $s_2$  ở mạch lực đóng lại - cắt phần điện trở phụ  $r_2$  ra khỏi phần ứng động cơ. Quá trình khởi động kết thúc. Để dừng động cơ ta ấn nút  $A_1$ , lúc đó công tắc tơ  $K_1$  mất điện, tiếp điểm  $k_1$  ở mạch lực mở ra, cắt phần ứng động cơ ra



Hình 4.25

khởi nguồn một chiều. Đồng thời tiếp điểm  $k_{11}$  mở ra và  $k_{12}$  đóng lại và làm công tắc tơ H có điện, tiếp điểm H ở mạch lực sẽ nối phần ứng động cơ vào điện trở hãm  $r_h$  - thực hiện quá trình hãm động năng. Sau một thời gian chỉnh định, khi tốc độ động cơ đủ nhỏ, tiếp điểm thời gian  $b_1$  mở ra, công tắc tơ H mất điện, kết thúc quá trình hãm động năng. Hệ thống không chế và động lực trở về trạng thái ban đầu, chuẩn bị cho khởi động lần sau.

Hình 4.25c là biểu đồ trình tự thời gian tác động của các phần tử mạch không chế.

## 4.5. THỰC HIỆN CÁC HỆ LOGIC TRÌNH TỰ BẰNG CÁC MẠCH TÍCH HỢP CỠ LỚN

Ta biết, về cơ bản hệ logic trình tự được thực hiện từ các mạch tổ hợp (các mạch điện tử, rơle đóng mở, các vi mạch cổng v.v...) kết hợp với các mạch lật hoặc các rơle thời gian. Đó là phương pháp thực hiện bằng các phần tử logic rời rạc.

Ngày nay nhờ công nghệ phát triển, xuất hiện nhiều vi mạch có độ tích hợp lớn. Việc sử dụng các vi mạch cỡ lớn này để thực hiện các mạch trình tự sẽ làm tăng độ tin cậy và giảm một cách đáng kể giá thành hệ thống.

### 4.5.1. Phương pháp cài đặt trực tiếp

Phương pháp cài đặt trực tiếp ứng dụng trực tiếp các mạch dồn kênh (multiplexeur), các mạch logic khả trình PAL- PLA-FPLA, các bộ nhớ ROM - RAM để tạo thành hệ logic trình tự. Ở đây hệ có thể thực hiện với các mạch lật để lưu giữ trạng thái và các vi mạch cỡ lớn để thực hiện hệ tổ hợp.

#### a. Sử dụng mạch dồn kênh

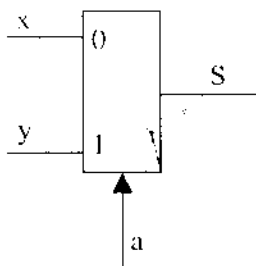
Một mạch dồn kênh với một biến chọn  $a$  (hình 4.26) sẽ thực hiện chức năng một mạch tổ hợp:

$$S = \bar{a}.x + a.y$$

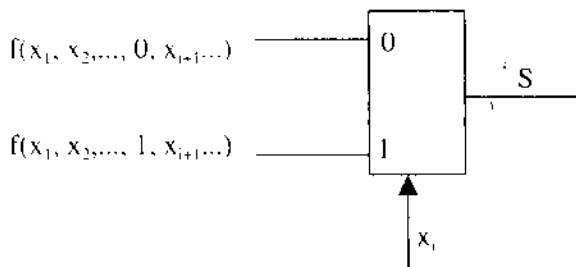
Tổng quát ta có:

$$\begin{aligned} S &= F(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_n) \\ &= \bar{x}_i . F(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n) + x_i . F(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n). \end{aligned}$$

Như vậy nhờ mạch dồn kênh 1 biến chọn ta có thể thực hiện mạch tổ hợp  $n$  biến bằng hai mạch tổ hợp  $n-1$  biến (hình 4.27).



Hình 4.26



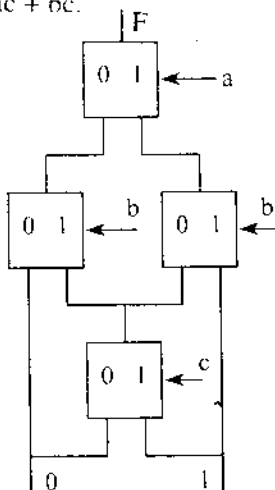
Hình 4.27



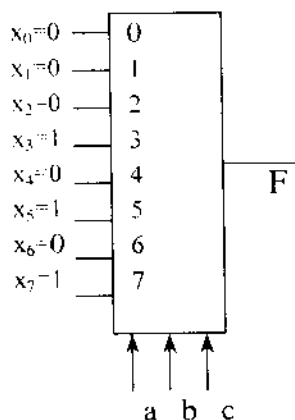
Ví dụ có một hàm tổ hợp cho bằng bảng (hình 4.28), từ đó ta viết được phương trình :

$$F = ab + ac + bc.$$

| a | b | c | F |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |



### Hình 4.28



**Hình 4.30**

Để tìm giá trị hàm  $F$  ta có thể dùng sơ đồ cây logic như ở hình 4.29 và thực hiện bằng mạch chọn kênh có 3 biến chọn  $a, b, c$  (hình 4.30). Lúc này ta biểu diễn hàm  $F$  như sau:

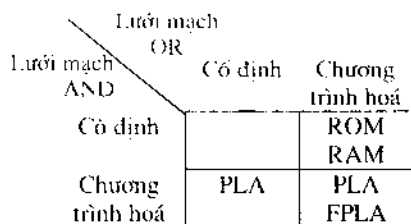
$$F = S = \bar{a}.b.\bar{c}.x_1 + \bar{a}.b.c.x_1 + \bar{a}.b.\bar{c}.x_2 + \bar{a}.b.c.x_3 + a.\bar{b}.\bar{c}.x_4 + a.\bar{b}.c.x_5 + a.b.\bar{c}.x_6 + a.b.c.x_7$$

Ta gán các giá trị  $x_0 \div x_7$  của mạch dồn kênh (hình 4.30) tương ứng với các giá trị của F cho ở bảng hình 4.28, lúc đó vì mạch sẽ thực hiện chức năng hàm F.

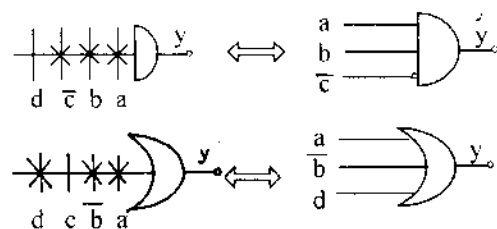
b. Sử dụng các vi mạch khai trình và vi mạch nhớ

Các vi mạch khai trình PLA (Programmable Logical Array), FPLA (Field Programmable Logical Array), PAL (Programmable Array Logic) và các vi mạch nhớ ROM, RAM đều cho phép thực hiện các hàm tổ hợp phức tạp, về nguyên tắc chế tạo đều là kết hợp các tổ hợp mạch AND và tổ hợp mạch OR như tóm tắt ở bảng hình 4.31.

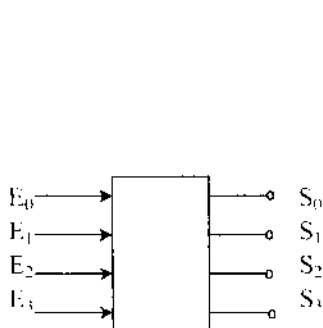
Qui ước ký hiệu các mạch AND, OR có nhiều đầu vào như vẽ ở hình 4.32, theo đó cấu trúc bên trong của các vi mạch cỡ lớn này có dạng chung như ở hình 4.33 và 4.34.



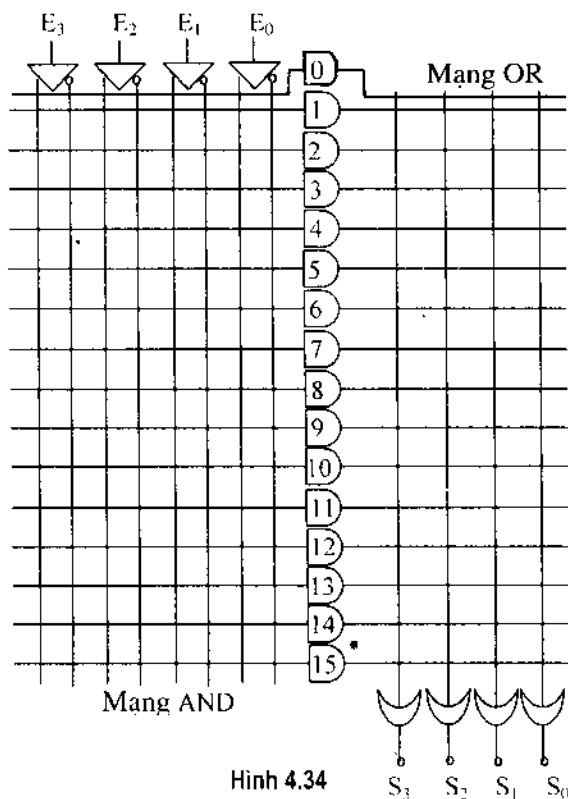
Hình 4.31



Hình 4.32



Hình 4.33



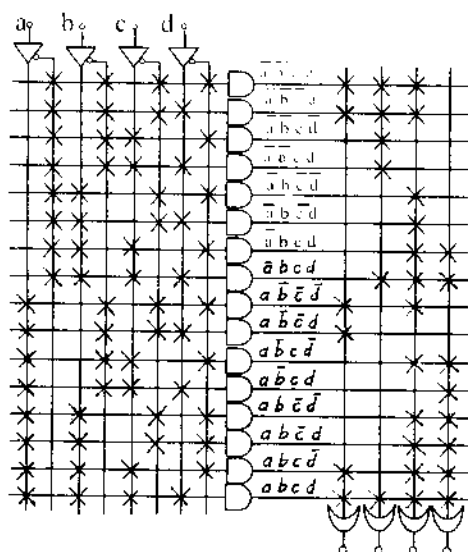
Hình 4.34

Giả thiết có các hàm tổ hợp 4 biến a, b, c, d dưới đây:

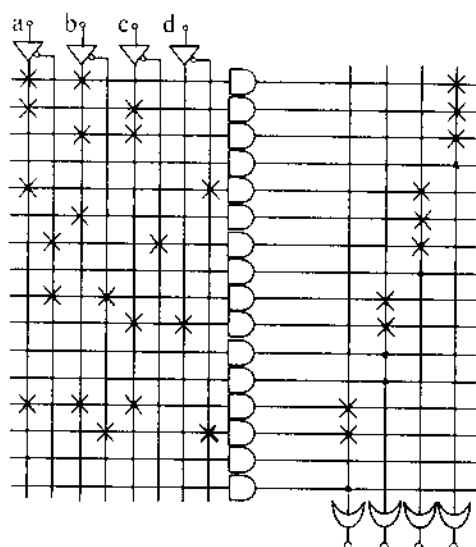
$$F_0 = ab + ac + bc \quad ; \quad F_1 = a.\bar{d} + b + a.\bar{c}$$

$$F_2 = \bar{a}.\bar{b} + c.d \quad ; \quad F_3 = a.b.c + \bar{b}.\bar{d}$$

Ta có thể thực hiện hàm bằng vi mạch như ở hình 4.35 và 4.36.



Hình 4.35



Hình 4.36

Khi thực hiện mạch bằng các vi mạch nhớ ROM, RAM, thì mảng mạch AND (như nguyên lý ở hình 4.34) được cố định theo hình 4.35. Các cổng AND từ  $0 \div 15$  sẽ có mạch giải mã để xác định địa chỉ theo tín hiệu vào a, b, c, d. Giá trị đầu ra của hàm sẽ là tổng của các mạch tích đã được gán địa chỉ đầu vào.

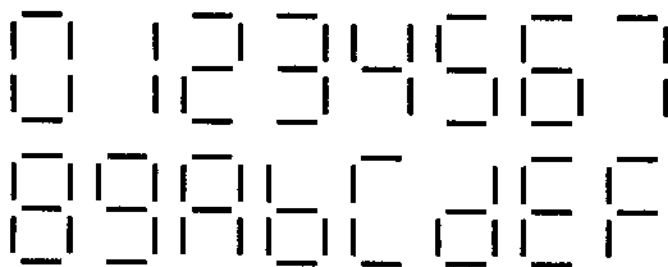
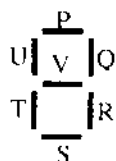
Khi thực hiện mạch bằng các vi mạch PAL, thì mảng mạch OR (như nguyên lý hình 4.34) được cố định theo hình 4.36, lúc này giá trị ra của hàm phụ thuộc vào chương trình của mảng mạch AND ở đầu vào.

Ví dụ dùng ROM để xây dựng bộ giải mã nhị phân sang mã 7 vạch cho các đèn hiển thị LED 7 nét.

Ta biết rằng các bộ hiển thị số thường dùng các đèn LED-7 nét. Các LED này được dùng hiển thị các chữ số từ: 0, 1, 2, ..., 9, A, B, ..., E, F. Các chữ số được hiển thị theo qui ước của nhà chế tạo như ở hình 4.37a.

Với cách hiển thị các nét chữ của các con số như Hình 4.37a, ta có bảng chuyển đổi từ mã nhị phân với 4 đầu vào E, F, G, H thành bảng mã 7 vạch P, Q, R, S, T, U, V như ở hình 4.37b.

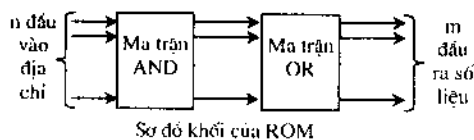
Các đầu vào được xem là các đầu địa chỉ của ROM, các đầu ra là 7 bit số liệu để nối đến LED-7 nét. Các ma trận AND để nối với các tín hiệu vào E, F, G, H và ma trận ra OR để nối với LED-7 nét như ở hình 4.37c và d.



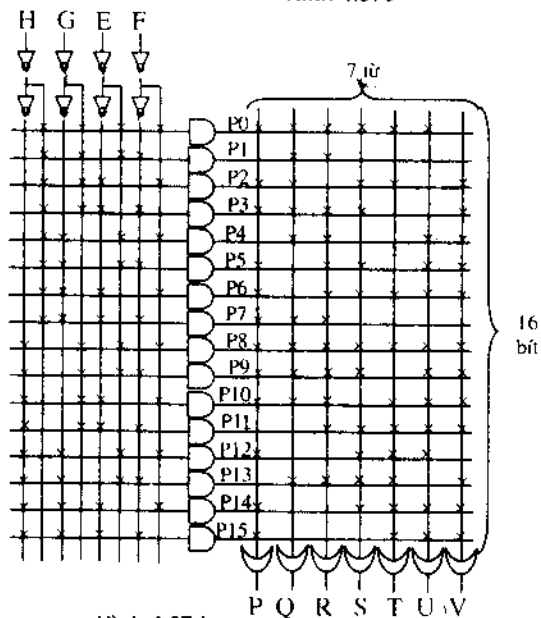
Hình 4.37a

| Mã<br>16 | Các đầu vào<br>nhị phân |   |   |   | Các đầu ra mã<br>7 vạch |   |   |   |   |   |   |
|----------|-------------------------|---|---|---|-------------------------|---|---|---|---|---|---|
|          | H                       | G | F | E | P                       | Q | R | S | T | U | V |
| 0        | 0                       | 0 | 0 | 0 | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1        | 0                       | 0 | 0 | 1 | 0                       | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2        | 0                       | 0 | 1 | 0 | 1                       | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 3        | 0                       | 0 | 1 | 1 | 1                       | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 4        | 0                       | 1 | 0 | 0 | 0                       | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5        | 0                       | 1 | 0 | 1 | 1                       | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 6        | 0                       | 1 | 1 | 0 | 1                       | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7        | 0                       | 1 | 1 | 1 | 1                       | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8        | 1                       | 0 | 0 | 0 | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9        | 1                       | 0 | 0 | 1 | 1                       | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| A        | 1                       | 0 | 1 | 0 | 1                       | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| B        | 1                       | 0 | 1 | 1 | 0                       | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C        | 1                       | 1 | 0 | 0 | 1                       | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| D        | 1                       | 1 | 0 | 1 | 0                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| E        | 1                       | 1 | 1 | 0 | 1                       | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| F        | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1                       | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

Hình 4.37b



Hình 4.37c



Hình 4.37d

### 4.5.2. Ví dụ thực hiện cài đặt một cấu trúc trình tự

Giả thiết cho các hàm logic  $F_1, F_2$  với 4 biến  $a, b, c, d$  biến đổi theo thời gian, hãy xây dựng một mạch cụ thể để thực hiện các hàm đó.

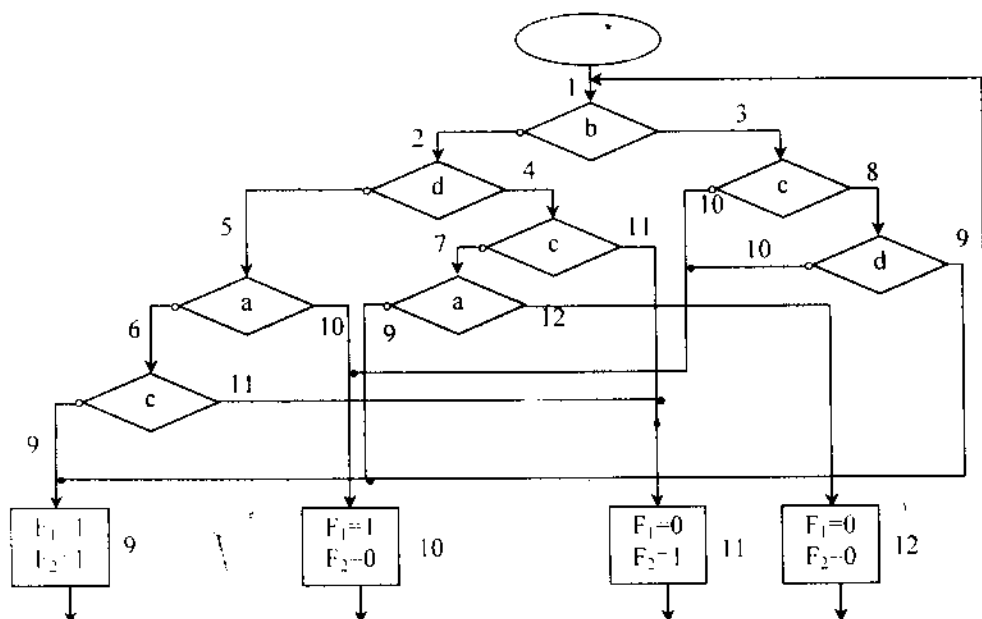
$$F_1 = a.\bar{d} + b + \bar{a}.c; \quad F_2 = \bar{a}.\bar{b} + c.d$$

Cách làm : Ta thực hiện theo 4 bước sau đây:

#### Bước 1. Xây dựng một cây logic

Việc tìm các giá trị hàm logic trình tự về thực chất là quá trình thử các giá trị "0" hoặc "1" của biến với các luật AND, OR, NOT ở một thời điểm để xác định giá trị hàm, sau đó xét sự thay đổi của các biến theo trình tự thời gian. Thực chất đây là việc xây dựng một trình tự quét các biến theo thời gian để tìm giá trị hàm. Một lưu đồ logic thực hiện bước này chính là một cây logic.

Một cây logic có duy nhất một điểm xuất phát, đó là một biến của hàm logic mà với biến đó khi ở một trong 2 giá trị có khả năng, chỉ có thể có một đường duy nhất nối đến đầu vào của biến tiếp theo. Với hàm  $F_1, F_2$  đã cho ta có thể xây dựng một cây logic như ở hình 4.38.



Hình 4.38

| T/T | Loại lệnh | Biến | Lệnh thứ |       | Lệnh đưa kết quả ra |                |                |
|-----|-----------|------|----------|-------|---------------------|----------------|----------------|
|     |           |      | Thứ 1    | Thứ 0 | Lệnh tiếp           | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> |
| 1   | Thứ       | b    | 3        | 2     |                     |                |                |
| 2   | Thứ       | d    | 4        | 5     |                     |                |                |
| 3   | Thứ       | c    | 8        | 10    |                     |                |                |
| 4   | Thứ       | c    | 11       | 7     |                     |                |                |
| 5   | Thứ       | a    | 10       | 6     |                     |                |                |
| 6   | Thứ       | c    | 11       | 9     |                     |                |                |
| 7   | Thứ       | a    | 12       | 9     |                     |                |                |
| 8   | Thứ       | d    | 9        | 10    |                     |                |                |
| 9   | Ra        |      |          |       | 1                   | 1              | 1              |
| 10  | Ra        |      |          |       | 1                   | 1              | 0              |
| 11  | Ra        |      |          |       | 1                   | 0              | 1              |
| 12  | Ra        |      |          |       | 1                   | 0              | 0              |

Hình 4.39

**Bước 2.** Biểu diễn cây logic thành bảng thứ.

Dựa vào cây logic ta xây dựng bảng thứ. Bảng thứ có các hàng là trình tự các bước thứ và trình tự đưa kết quả ra. Với qui ước như vậy, từ hình 4.38 ta xây dựng được bảng thứ (hình 4.39).

**Bước 3.** Mã hoá bảng thứ.

Đây là quá trình phiên dịch các ngôn từ logic thành các giá trị số để có thể cài đặt vào thiết bị số. Với ví dụ này ta chọn các ký hiệu sau (hình 4.40):

- +  $\alpha$  - biến chỉ trạng thái thứ và trạng thái đưa kết quả ra.
- + Các giá trị của  $x, y$  để chỉ các biến  $a, b, c, d$  của  $F_1, F_2$ .
- + Các giá trị của tổ hợp  $E_0, E_1, E_2, E_3$  để chỉ trình tự các bước.

Như vậy với các bảng ở hình 4.40a, b, c ta thu lại thành bảng ở hình 4.41.

**Bước 4.** Chọn thiết bị và cài đặt bảng ở hình 4.41.

Ở đây sử dụng bộ nhớ PROM với 4 đầu vào  $E_0, E_1, E_2, E_3$  và 11 đầu ra. Các đầu ra này nối với lưới mạch OR.

Bốn mạch lật  $D_0, D_1, D_2, D_3$  để nhớ các địa chỉ do  $E_0, E_1, E_2, E_3$  tạo ra, hai mạch lật  $DF_1, DF_2$  để đưa kết quả ra ngoài.

Một mạch chọn kênh 3 đầu vào  $\alpha, x, y$  và 6 phần tử chọn kênh để khống chế các mạch lật. Một mạch tạo nhịp H.

Việc liên kết giữa các phần tử được chỉ rõ ở hình 4.42.

|            |          |
|------------|----------|
| trạng thái | $\alpha$ |
| Ra         | 0        |
| Thử        | 1        |

Hình 4.40a

|   | Các biến vào |   |   |   |
|---|--------------|---|---|---|
|   | a            | b | c | d |
| y | 0            | 1 | 0 | 1 |
| x | 0            | 0 | 1 | 1 |

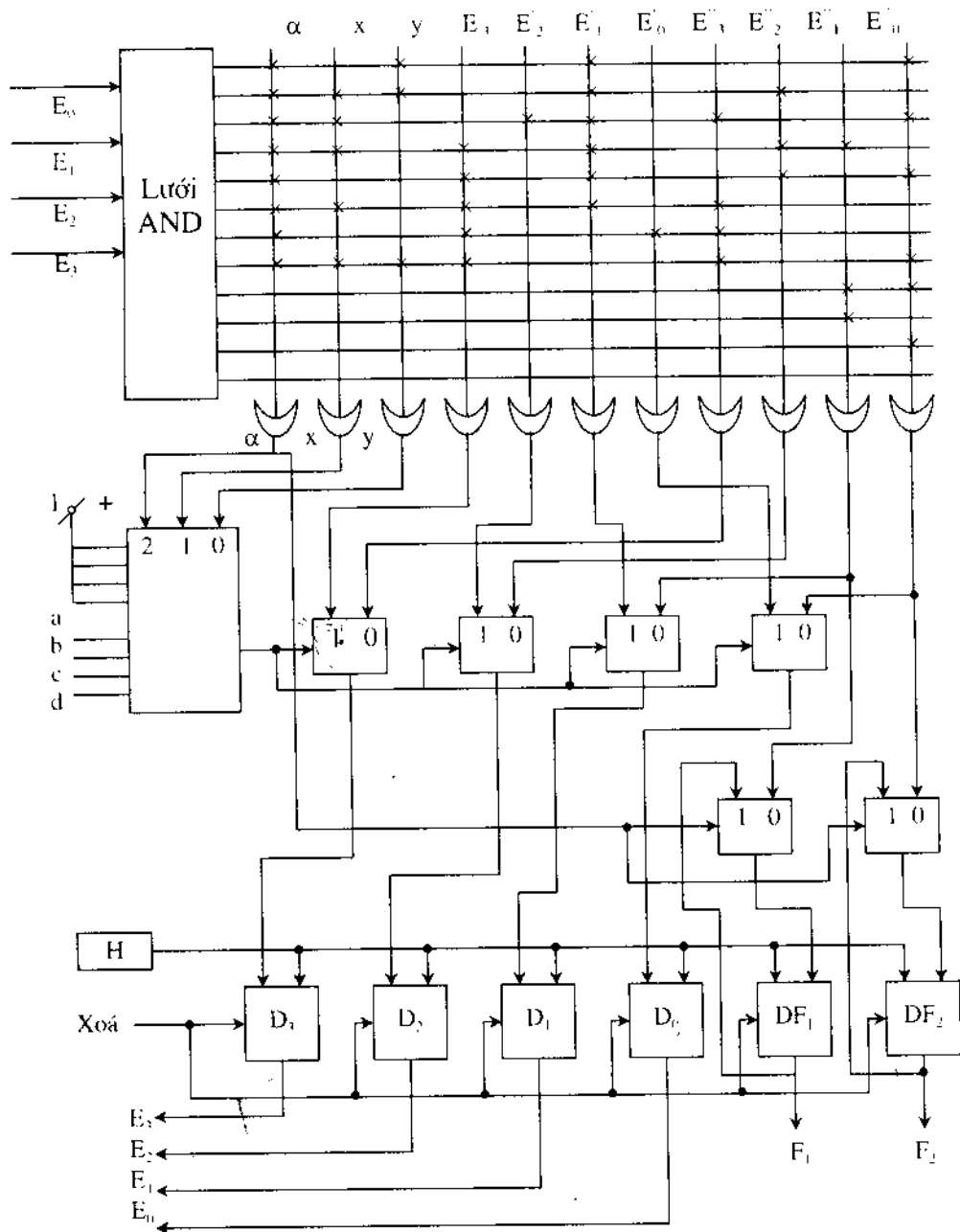
Hình 4.40b

|       | Thứ tự lệnh |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|-------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|       | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| $E_0$ | 0           | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1  | 0  | 1  |
| $E_1$ | 0           | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0  | 1  | 1  |
| $E_2$ | 0           | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| $E_3$ | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  | 1  | 1  |

Hình 4.40c

|    |       |       |       |       | T/t      | Biến |   | Thứ 1 |       |       |       | Thứ 0 |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|----------|------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    | $E_3$ | $E_2$ | $E_1$ | $E_0$ | $\alpha$ | x    | y | $E_3$ | $E_2$ | $E_1$ | $E_0$ | $E_3$ | $E_2$ | $E_1$ | $E_0$ |       |
| 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1        | 0    | 1 | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     |       |
| 2  | 0     | 0     | 0     | 1     | 1        | 1    | 1 | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     |       |
| 3  | 0     | 0     | 1     | 0     | 1        | 1    | 0 | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     |       |
| 4  | 0     | 0     | 1     | 1     | 1        | 1    | 0 | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     |       |
| 5  | 0     | 1     | 0     | 0     | 1        | 0    | 0 | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     |       |
| 6  | 0     | 1     | 0     | 1     | 1        | 1    | 0 | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     |       |
| 7  | 0     | 1     | 1     | 0     | 1        | 0    | 0 | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     |       |
| 8  | 0     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1    | 1 | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     |       |
| 9  | 1     | 0     | 0     | 0     | 0        | -    | - | 0     | 0     | 0     | 0     | -     | -     | 1     | 1     |       |
| 10 | 1     | 0     | 0     | 1     | 0        | -    | - | 0     | 0     | 0     | 0     | -     | -     | 1     | 0     |       |
| 11 | 1     | 0     | 1     | 0     | 0        | -    | - | 0     | 0     | 0     | 0     | -     | -     | 0     | 1     |       |
| 12 | 1     | 0     | 1     | 1     | 0        | -    | - | 0     | 0     | 0     | 0     | -     | -     | 0     | 0     |       |
|    |       |       |       |       |          |      |   |       |       |       |       |       |       |       | $F_1$ | $F_2$ |

Hình 4.41



Hình 4.42



## Câu hỏi và bài tập

1. Tóm tắt các nguyên tắc không chế khởi động và hãm động cơ điện.
2. Trình bày nguyên lý làm việc ở hình 4.3.
3. Trình bày các bước thiết kế hình 4.13.
4. Trình bày nguyên lý làm việc của hình 4.14. Giải thích đồ thị trình tự thời gian 4.14c.
5. Trình bày nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 4.22. Tổng hợp sơ đồ không chế có kết quả như hình 4.22b.
6. Phân tích quá trình hãm ở sơ đồ hình 4.24.
7. Giới thiệu phương pháp mạch dẫn kênh để thực hiện một mạch dẫn kênh.
8. Trình bày thuật toán để thực hiện mạch dẫn kênh có phương trình đầu ra là :
$$F = ab + ac + abc.$$
9. Trình bày các bước thực hiện để cài đặt một cấu trúc trình tự.

## **PHẦN II**

# **LOGIC MỜ VÀ ĐIỀU KHIỂN MỜ**

### **(FUZZY LOGIC AND FUZZY CONTROL)**

# Chương 5. LOGIC MỜ

## 5.1. KHÁI NIỆM CHUNG

### 5.1.1. Lịch sử phát triển và khái niệm mờ đầu

Từ những năm đầu của thập kỷ 90 cho đến nay, hệ điều khiển mờ và mạng nơron (Fuzzy system and neural network) được các nhà khoa học, các kỹ sư và sinh viên trong mọi lĩnh vực khoa học kỹ thuật đặc biệt quan tâm nghiên cứu và ứng dụng vào sản xuất. Tập mờ và logic mờ (Fuzzy set and Fuzzy logic) dựa trên các suy luận của con người về các thông tin "không chính xác" hoặc "không đầy đủ" về hệ thống để hiểu biết và điều khiển hệ thống một cách chính xác. Điều khiển mờ chính là bắt chước cách xử lý thông tin và điều khiển của con người đối với các đối tượng, do vậy, điều khiển mờ đã giải quyết thành công các vấn đề điều khiển phức tạp trước đây chưa giải quyết được.

Lịch sử của điều khiển mờ bắt đầu từ năm 1965, khi giáo sư Lofti A. Zadeh ở trường Đại học California - Mỹ đưa ra khái niệm về lý thuyết tập mờ (Fuzzy set theory), từ đó trở đi các nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng tập mờ phát triển một cách mạnh mẽ, với những thời điểm đáng chú ý sau:

- Năm 1972, các giáo sư Terano và Asai đã thiết lập ra cơ sở nghiên cứu hệ thống điều khiển mờ ở Nhật.
- Năm 1974, Mamdani đã nghiên cứu điều khiển mờ cho lò hơi.
- Năm 1980, hãng Smidth Co. đã bắt đầu nghiên cứu điều khiển mờ cho lò xi măng.
- Năm 1983, hãng Fuji Electric đã nghiên cứu ứng dụng điều khiển mờ cho nhà máy xử lý nước.
- Năm 1984, Hiệp hội Hệ thống Mờ quốc tế (IFSA) được thành lập.
- Năm 1989, phòng thí nghiệm quốc tế nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật mờ đầu tiên được thành lập.

Cho đến nay đã có rất nhiều tài liệu nghiên cứu lý thuyết và các kết quả ứng dụng logic mờ trong điều khiển hệ thống, tuy vậy cả về mặt phương pháp luận và tính nhất loạt cho ứng dụng thực tế của logic mờ vẫn còn đang thu hút nhiều tranh luận sôi nổi và hứa hẹn sự phát triển mạnh mẽ.

### 5.1.2. Logic rõ và sự xuất hiện logic mờ

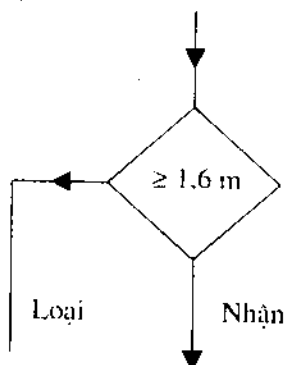
Logic rõ (logic thông thường) ta đã quá quen thuộc hàng ngày với những khái niệm rất rõ ràng và từ đó cho ta các kết luận dứt khoát.

Chẳng hạn một cơ quan cần tuyển dụng người làm việc, trong các tiêu chuẩn tuyển chọn có một tiêu chuẩn như sau:

Nếu người cao từ 1,6 m trở lên thì thuộc loại người cao và được chấp nhận, còn dưới 1,6 m thì thuộc loại người thấp và bị loại. Như vậy nếu có một anh Hùng nào đó có đủ tất cả các tiêu chuẩn khác nhưng chỉ cao 1,59 m thì sẽ bị loại. Logic suy nghĩ đó rất rõ ràng theo sơ đồ "mây tính" như sau :

Như vậy điểm 1,6 m là điểm tối hạn để ra quyết định, cứ 1,6 m trở lên là thuộc loại người cao, còn dưới 1,6 m là loại người thấp.

Những suy nghĩ về logic mờ (logic không rõ).



Trong cuộc sống hàng ngày, đặc biệt là rất nhiều hiện tượng (nếu không nói là tất cả) được thể hiện bằng ngôn ngữ đã đưa ta đến một khái niệm logic không rõ - logic mờ, chẳng hạn:

Anh này trông rất cao.

Cô này trông được đấy.

Hay như có nhà thơ viết:

Trời thì không nắng không mưa.

Chỉ hiu hiu mát cho vừa lòng nhau.

Các khái niệm như: trông rất cao, được đấy, không nắng không mưa, hiu hiu mát..., thật khó cho ta đưa ra một con số cụ thể, tuy vậy khi nghe các từ này ta vẫn hình dung được một đặc tính cụ thể rõ rệt về đối tượng.

Những suy nghĩ này đưa đến khái niệm về logic mờ, chính logic mờ đã xóa đi được khái niệm cứng nhắc của logic rõ, vì rằng logic mờ đã:

- Cho phép mô tả các trạng thái sự việc khi sử dụng các mức độ thay đổi giữa đúng và sai.
- Có khả năng lượng hóa các hiện tượng nhập nhằng hoặc là thông tin hiểu biết về các đối tượng không đủ hoặc không chính xác.
- Cho phép phân loại các lớp quan niệm chèn lấp lên nhau.

## 5.2. MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ CƠ SỞ TOÁN HỌC CỦA LOGIC MỜ

### 5.2.1. Nhắc lại tập rõ

Như đã biết tập hợp là một khái niệm nguyên thủy, muốn định nghĩa chặt chẽ phải diễn đạt qua một hệ thống các tiên đề và điều đó với các nhà kỹ thuật là không

cần thiết. Ở đây ta hiểu tập hợp là một lớp gồm nhiều đối tượng khác nhau theo một ý nghĩa nào đó, chẳng hạn tập hợp công nhân, tập hợp cán bộ kỹ thuật của một nhà máy, tập hợp các số nguyên  $\mathbb{Z}$ , tập hợp các số thực  $\mathbb{R}$  v.v..

Người ta thường dùng các chữ in hoa A, B, C, ... để ký hiệu một tập hợp, một đối tượng a được xếp vào tập A (tập hợp A) thì gọi a là phần tử của tập A, viết là  $a \in A$ , đọc là a thuộc A, và để chỉ đối tượng b không là phần tử của tập A, ta viết  $b \notin A$ , đọc là b không thuộc A.

Cho E là một tập hợp bất kỳ, nói rằng A là tập con của E, viết là  $A \subseteq E$  đọc là A bao hàm trong E, nếu bất kỳ phần tử a nào của A thì a cũng là phần tử của E, thường được diễn đạt dưới dạng:

$$A \subseteq E \Leftrightarrow \forall a \in A \Rightarrow a \in E \quad (5.1)$$

Theo cách diễn đạt ở (5.1), nói khác đi, một tập con  $A \subseteq E$  có thể định nghĩa thông qua hàm  $I_A(x)$ :

$I_A(x)$  được gọi là hàm chỉ thị của tập A

$$I_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x \in A \\ 0 & \text{nếu } x \notin A \end{cases} \quad (5.2)$$

Thí dụ, xét E là tập 7 giá trị điện áp pha của lưới điện sinh hoạt :

$$E := \{90; 95; 100; 105; 110; 115; 120\} \quad (5.3)$$

Và tập  $A \subseteq E$  chỉ gồm 3 giá trị: 90; 95; 100, nghĩa là:

$$A := \{90, 95, 100\} \quad (5.4)$$

Có thể biểu diễn tập A thông qua hàm chỉ thị  $I_A(x)$  như dưới đây:

$$A := \{(90/1), (95/1), (100/1), (105/0), (110/0), (115/0), (120/0)\} \quad (5.5)$$

Trong biểu thức (5.5), các cặp (./), số thứ nhất chỉ các phần tử của tập E, số thứ hai chỉ giá trị của hàm chỉ thị  $I_A(x)$ . Như vậy  $I_A(90) = 1$  (viết ở trên là (90/1)),  $I_A(110) = 0$  (viết ở trên là (110/0)) v.v..

Bây giờ cho 2 tập A, B. Định nghĩa giao của tập A và tập B, ký hiệu là  $A \cap B$ , đọc là "A giao B", là một tập được định nghĩa thông qua hàm chỉ thị  $I_{A \cap B}(x)$ :

$$I_{A \cap B}(x) = I_A(x) \cdot I_B(x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x \in A \text{ và } x \in B \\ 0 & \text{trong các trường hợp khác} \end{cases} \quad (5.6)$$

Thí dụ, xét tập E cho theo (5.3), tập A cho theo (5.5) và tập B cho như dưới đây:

$$B := \{(90/0), (95/1), (100/1), (105/1), (110/0), (115/0), (120/0)\} \quad (5.7)$$

Khi đó:

$$A \cap B := \{(90/0), (95/1), (100/1), (105/0), (110/0), (115/0), (120/0)\} \quad (5.8)$$

Phép giao hai tập theo định nghĩa (5.6) ứng với mạch logic "AND".

Gọi hợp của tập A và tập B, ký hiệu  $A \cup B$ , đọc là "A hợp B" là một tập được định nghĩa thông qua hàm chỉ thị  $I_{A \cup B}(x)$ :

$$I_{A \cup B}(x) = I_A(x) + I_B(x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x \in A \text{ hoặc } x \in B \\ 0 & \text{trong các trường hợp khác} \end{cases} \quad (5.9)$$

Trở lại thí dụ tập A cho theo (5.5), tập B cho theo (5.7), theo định nghĩa 5.9 ta có:

$$A \cup B := \{(90/1), (95/1), (100/1), (105/1), (110/0), (115/0), (120/0)\} \quad (5.10)$$

Phép hợp định nghĩa theo (5.9), (5.10) ứng với mạch logic "OR".

Cuối cùng, cho tập A, gọi tập bù của tập A, viết tắt  $\bar{A}$ , đọc là bù của A hoặc là "bù A" là một tập được định nghĩa thông qua hàm chỉ thị  $I_{\bar{A}}(x)$

$$\overline{I_A(x)} = \begin{cases} 0 & \text{nếu } x \in A \\ 1 & \text{nếu } x \notin A \end{cases} \quad (5.11)$$

Trở lại thí dụ cho theo (5.5), theo định nghĩa (5.11), ta có:

$$\bar{A} := \{(90/0), (95/0), (100/0), (105/1), (110/1), (115/1), (120/1)\} \quad (5.12)$$

Phép bù ứng với mạch logic "NOT".

Qui tắc De Morgan dưới đây cho quan hệ ba phép toán : Giao, Hợp và Bù là:

$$\overline{(A \cap B)} = \bar{A} \cup \bar{B} \quad (5.13)$$

$$\overline{(A \cup B)} = \bar{A} \cap \bar{B} \quad (5.14)$$

Qui tắc (5.13) nói rằng: Bù của Giao là bằng Hợp các Bù; qui tắc (5.14) nói rằng Bù của các Hợp bằng Giao của các Bù. Như vậy có nghĩa là có thể dùng hoặc là mạch "NOT" và mạch "OR" hoặc là mạch "NOT" và mạch "AND" là có thể diễn đạt mọi mạch logic.

## 5.2.2. Tập con mờ

### 5.2.2.1. Định vấn đề

Sau khi đã nhắc lại sơ lược về tập hợp thông thường, ta thấy rằng một tập A được định nghĩa thông qua hàm chỉ thị  $I_A(x)$  của nó và hàm  $I_A(x)$  của tập A chỉ nhận hai giá trị là 0 và 1. Năm 1965, L.A.Zadeh đã xây dựng khái niệm về tập con mờ bằng cách mở rộng miền giá trị của  $I_A(x)$ , trong trường hợp này thay cho  $I_A(x)$

là hàm  $\mu_A(x)$ , gọi là hàm liên thuộc của tập A. Hàm  $\mu_A(x)$  có thể có nhiều giá trị, thậm chí có tất cả các giá trị trên đoạn  $[0,1]$ .

Ta xét lại ví dụ lấy tập E (gọi là tập cơ sở) theo (5.3) và xét tập  $A_1, A_2, A_3$ :

$$A_1 := \{(90/0,9), (95/0,95), (100/0,8), (105/0), (110/0), (115/0), (120/0)\} \quad (5.15)$$

$$A_2 := \{(90/0,8), (95/0,9), (100/1), (105/0), (110/0), (115/0), (120/0)\} \quad (5.16)$$

$$A_3 := \{(90/0,75), (95/0,7), (100/0,9), (105/0,1), (110/0,05), (115/0), (120/0)\} \quad (5.17)$$

Xét tập  $A_1$ , các cặp, chẳng hạn  $(90/0,9)$ , số 90 là phần tử của E, còn số 0,9 là giá trị hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  tại phần tử  $x = 90$ , nghĩa là:

$$\mu_A(90) = 0,9, \text{ trong khi } I_A(90) = 1$$

Tương tự:  $\mu_A(95) = 0,95$ , trong khi  $I_A(95) = 1$

$$\mu_A(100) = 0,8, \text{ trong khi } I_A(100) = 1, \text{ v.v...}$$

So sánh các biểu thức (5.5) và các biểu thức (5.15), (5.16), (5.17) ta thấy các tập  $A_1, A_2, A_3$  gần giống tập A, trong đó  $A_1$  gần giống với A hơn, còn  $A_3$  xa A hơn cả. Các tập  $A_1, A_2, A_3$  là hình ảnh mờ của tập "tổ" A. Về mặt kỹ thuật, một lưới điện hạ áp 120 V thì nếu các giá trị điện áp cho theo tập A (5.5) thì rõ ràng điện áp là thấp, còn nếu các giá trị điện áp cho dưới dạng tập mờ  $A_1, A_2, A_3$  thì hiểu là điện áp thấp và dao động, vì thế điện áp cho dưới dạng  $A_1, A_2, A_3$  là thực tế hơn và động hơn.

#### 5.2.2.2. Định nghĩa tập con mờ và hàm liên thuộc

Cho tập E, gọi  $A$  là tập con mờ của E, ký hiệu  $A$ , là:

$$A := \{(x/\mu_A(x)); x \in E\} \quad (5.18)$$

trong đó:  $\mu_A(x)$  được gọi là hàm liên thuộc của tập mờ A,  $\mu_A(x)$  lấy giá trị bất kỳ trong đoạn  $[0; 1]$ .  $\mu_A(x)$  càng gần 1 thì phần tử  $x \in E$  tương ứng càng tỏ, nếu  $\mu_A(x) = 1$  thì x đúng là phần tử tỏ của tập mờ A,  $\mu_A(x)$  càng gần 0 thì phần tử  $x \in E$  tương ứng càng mờ.

Về mặt toán học người ta nói rằng: hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  đã ánh xạ mỗi một phần tử x của E thành một giá trị liên thuộc (cấp độ liên thuộc) liên tục trong khoảng 0 và 1.

Chính hàm liên thuộc  $\mu$  đã làm "mềm hoá" và "linh hoạt hoá" một tập hợp, tùy theo quan niệm của mỗi người có thể đặt các giá trị  $\mu_A(x)$  cụ thể để diễn đạt "mức độ mờ", nếu  $\mu_A(x) = I_A(x)$  thì tập mờ A trở thành tập tỏ A.

Ví dụ, tập mờ A diễn đạt ý "x là một số dương bé", có thể lấy  $\mu_A(x)$  theo nhiều kiểu khác nhau:

$$\text{Hoặc: } \mu_A(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq a \\ 0 & x > a \end{cases}$$

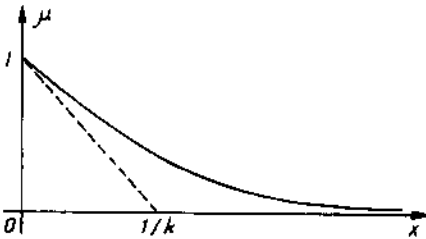
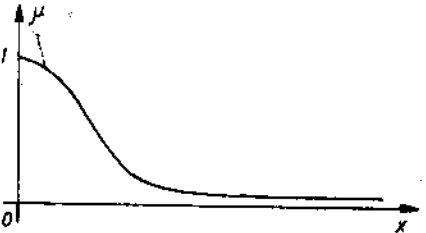
$$\text{Hoặc: } \mu_A(x) = e^{-kx}, \quad k > 0$$

$$\text{Hoặc: } \mu_A(x) = e^{-kx^2}, \quad k > 0$$

$$\text{Hoặc: } \mu_A(x) = \frac{1}{1+kx^2}, \quad k > 1$$

Bảng ở các hình 5.1, 5.2, 5.3, và 5.4 là các hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  ứng với x bé và x lớn.

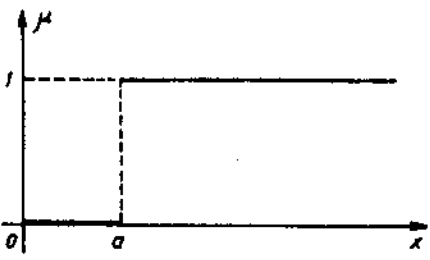
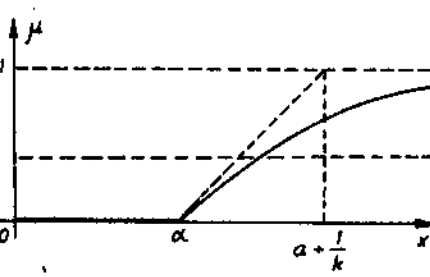
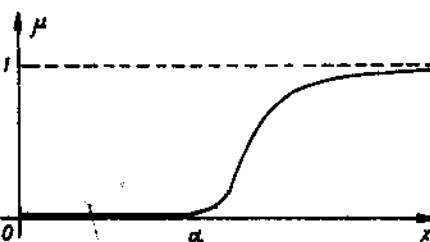
**Hình 5.2.** Hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  ứng với "x bé"

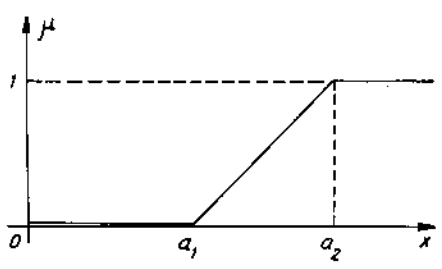
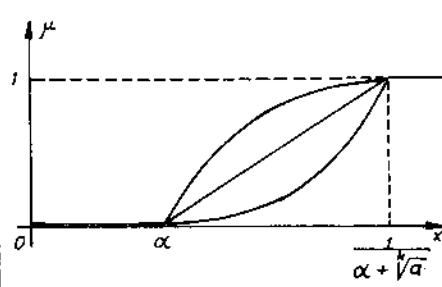
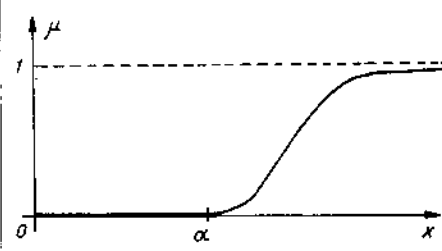
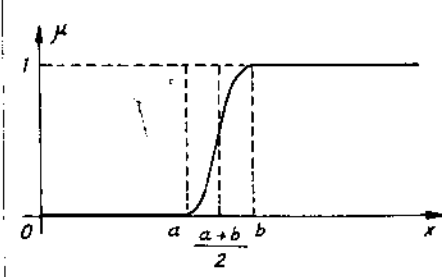
| Miền         | Đồ thị                                                                              | Hàm liên thuộc                                                          |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| $R^+$<br>$N$ |    | $\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a \\ 0, & x > a \end{cases}$ |
| $R^+$<br>$N$ |   | $\mu(x) = e^{-kx}, \quad k > 0$                                         |
| $R^+$<br>$N$ |  | $\mu(x) = e^{-kx^2}, \quad k > 0$                                       |



|              |  |                                                                                                                                                                                     |
|--------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R^+$<br>$N$ |  | $\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a_1, \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ 0, & a_2 \leq x. \end{cases}$                                               |
| $R^+$<br>$N$ |  | $\mu(x) = \begin{cases} 1 - ax^k, & 0 \leq x \leq \frac{1}{\sqrt[k]{a}}, \\ 0, & \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \leq x. \end{cases}$                                                         |
| $R^+$<br>$N$ |  | $\mu(x) = \frac{1}{1 + kx^2}, \quad k > 1.$                                                                                                                                         |
| $R^+$<br>$N$ |  | $\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a, \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right), & a \leq x \leq b, \\ 0, & b \leq x. \end{cases}$ |

Hình 5.2. Hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  ứng với "x lớn"

| Miền                           | Đồ thị                                                                              | Hàm liên thuộc                                                                                                           |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{N}$ |    | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a, \\ 1, & a \leq x. \end{cases}$                                             |
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{N}$ |    | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \alpha, \\ 1 - e^{-k(x-\alpha)}, & \alpha \leq x, \quad k > 0. \end{cases}$   |
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{N}$ |  | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \alpha, \\ 1 - e^{-k(x-\alpha)^2}, & \alpha \leq x, \quad k > 0. \end{cases}$ |

|              |                                                                                     |                                                                                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R^+$<br>$N$ |    | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a_1, \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ 1, & a_2 \leq x. \end{cases}$                                                   |
| $R^+$<br>$N$ |    | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \alpha, \\ a(x - \alpha)^k, & \alpha \leq x \leq \alpha + \frac{1}{\sqrt[k]{a}}, \\ 1, & \alpha + \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \leq x. \end{cases}$ |
| $R^+$<br>$N$ |   | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \alpha, \\ \frac{k(x - \alpha)^2}{1 + k(x - \alpha)^2}, & \alpha \leq x \leq \infty, \\ 1, & \infty \leq x. \end{cases}$                     |
| $R^+$<br>$N$ |  | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a, \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right), & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x. \end{cases}$     |

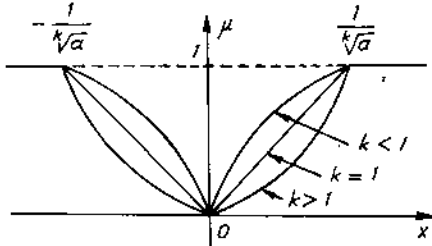
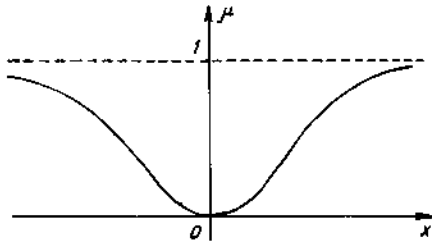
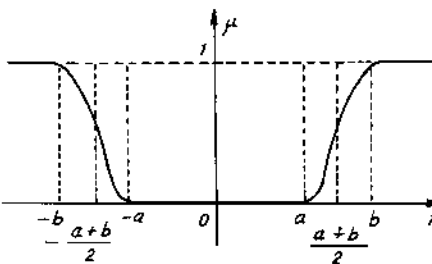
Hình 5.2. Hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  ứng với "  $x$  : bé "

| Miền                           | Đồ thị | Hàm liên thuộc                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{Z}$ |        | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & -\infty < x < -a, \\ 1, & -a \leq x \leq a, \\ 0, & a \leq x. \end{cases}$                                                                                                                                 |
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{Z}$ |        | $\mu(x) = \begin{cases} e^{kx}, & -\infty < x \leq 0, \\ e^{-kx}, & 0 \leq x < \infty, \\ k > 1. \end{cases}$                                                                                                                           |
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{Z}$ |        | $\mu(x) = e^{-kx^2}.$                                                                                                                                                                                                                   |
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{Z}$ |        | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & -\infty < x \leq -a_2, \\ \frac{a_2 + x}{a_2 - a_1}, & -a_2 \leq x \leq -a_1, \\ 1, & -a_1 \leq x \leq a_1, \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ 0, & a_2 \leq x < \infty. \end{cases}$ |

|              |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R^+$<br>$Z$ |  | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & -\infty < x \leq -\frac{1}{\sqrt{a}}, \\ 1 - a(-x)^k, & -\frac{1}{\sqrt{a}} \leq x \leq 0, \\ 1 - a(x)^k, & 0 \leq x \leq \frac{1}{\sqrt{a}}, \\ 0, & \frac{1}{\sqrt{a}} \leq x \leq \infty. \end{cases}$                                                                                               |
| $R^+$<br>$Z$ |  | $\mu(x) = \frac{1}{1 + kx^2}, \quad k > 1.$                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $R^+$<br>$Z$ |  | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & -\infty < x \leq -b, \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left( x + \frac{a+b}{2} \right), & -b \leq x \leq -a, \\ 1, & -a \leq x \leq a, \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right), & a \leq x \leq b, \\ 0, & -b \leq x < \infty. \end{cases}$ |

Hình 5.2. Hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  ứng với " $|x|$  lớn"

| Miền                           | Đồ thị | Hàm liên thuộc                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{Z}$ |        | $\mu(x) = \begin{cases} 1, & -\infty < x < -a, \\ 0, & -a < x < a, \\ 1, & a < x < \infty. \end{cases}$                                                                                                                              |
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{Z}$ |        | $\mu(x) = \begin{cases} 1 - e^{-kx}, & -\infty < x \leq 0, \\ 1 - e^{-kx}, & 0 \leq x < \infty, \\ k > 1. \end{cases}$                                                                                                               |
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{Z}$ |        | $\mu(x) = 1 - e^{-kx^2}, \quad k > 1.$                                                                                                                                                                                               |
| $\mathbb{R}^+$<br>$\mathbb{Z}$ |        | $\mu(x) = \begin{cases} 1, & -\infty < x < -a_2, \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & -a_2 \leq x \leq -a_1, \\ 0, & -a_1 \leq x \leq a_1, \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ 1, & a_2 \leq x < \infty. \end{cases}$ |

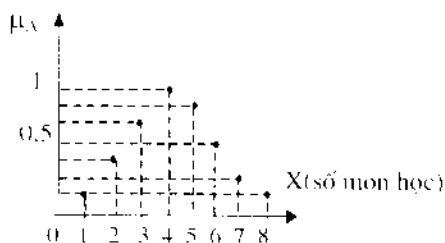
|              |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R^+$<br>$Z$ |   | $\mu(x) = \begin{cases} 1, & -\infty < x \leq -\frac{1}{\sqrt{a}}, \\ a(-x)^k, & -\frac{1}{\sqrt{a}} \leq x \leq 0, \\ ax^k, & 0 \leq x \leq \frac{1}{\sqrt{a}}, \\ 1, & \frac{1}{\sqrt{a}} \leq x \leq \infty. \end{cases}$                                                                                            |
| $R^+$<br>$Z$ |   | $\mu(x) = \frac{kx^2}{1+kx^2} = \frac{1}{1+\frac{1}{kx^2}}, \quad k > 1.$                                                                                                                                                                                                                                               |
| $R^+$<br>$Z$ |  | $\mu(x) = \begin{cases} 1, & -\infty < x \leq -b, \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left( x + \frac{a+b}{2} \right), & -b < x < -a, \\ 0, & -a \leq x \leq a, \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right), & a < x < b, \\ 1, & b \leq x < \infty. \end{cases}$ |

Thường thì tập E có thể gồm các **đối tượng** liên tục hoặc đối tượng gián đoạn, khái niệm này có thể hiểu như sau.

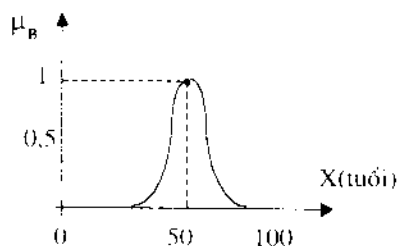
Giả thiết  $E_k = \{1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8\}$  là số môn học trong một học kỳ của sinh viên, lúc đó xét tập mờ A như sau:

$$A := \{1/0,1; 2/0,3; 3/0,8; 4/1; 5/0,9; 6/0,5; 7/0,2; 8/0,1\}$$

thì tập mờ A được biểu thị bằng các giá trị gián đoạn (hình 5.5a).



Hình 5.5a



Hình 5.5b

Bây giờ ta lại xét E là tập tuổi thọ của con người, lúc đó xét tập mờ B là tập tuổi thọ khoảng 50, ta viết:

$$B := \{ (x/\mu_B(x)) : x \in E \}$$

trong đó:

$$\mu_B(x) = \frac{1}{1 + \left( \frac{x - 50}{5} \right)^4}$$

Quan hệ này được thể hiện trên hình 5.5b.

Như vậy, những cách khác nhau để diễn đạt về mặt toán học tập mờ A là :

$$A = \begin{cases} \sum_x \mu_A(x_i) / x_i & \text{nếu E là gián đoạn,} \\ \int \mu_A(x) / x & \text{nếu E là liên tục.} \end{cases}$$

*Lưu ý:* Các dấu  $\sum$  và  $\int$  đơn thuần chỉ là ký hiệu, không phải là phép lấy tổng và tích phân.

### 5.2.2.3. Các hàm liên thuộc thường gặp

Từ các ví dụ trên ta thấy rằng, cấu trúc của tập mờ phụ thuộc vào 2 yếu tố: sự nhận dạng vật thể của tập và các tính chất của hàm liên thuộc. Và cũng cần nhấn mạnh thêm tính chất của hàm liên thuộc là hoàn toàn chủ quan, chẳng hạn khái niệm "đẹp" của những người khác nhau rất khác nhau. Tính chủ quan và không ngẫu nhiên của tập mờ là điểm khác nhau đầu tiên giữa lý thuyết mờ và lý thuyết xác suất.

Trong kỹ thuật điều khiển mờ, thông thường các hàm liên thuộc được dùng là các hàm tuyến tính từng đoạn và gọi chung là hàm liên thuộc có mức chuyển đổi



tuyến tính (hình 5.6c). Đó là các hàm liên thuộc kiểu hình tam giác và hàm liên thuộc kiểu hình thang.

Hàm liên thuộc kiểu tam giác được xác định bởi bộ 3 tham số  $\{a,b,c\}$ :

$$\mu_A(x;a,b,c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (5.19)$$

Hình 5.6a là ví dụ về hàm liên thuộc kiểu tam giác với  $\mu_A(x;20,60,80)$ .

Hàm liên thuộc kiểu hình thang được xác định bởi bộ 4 tham số  $\{a,b,c,d\}$ :

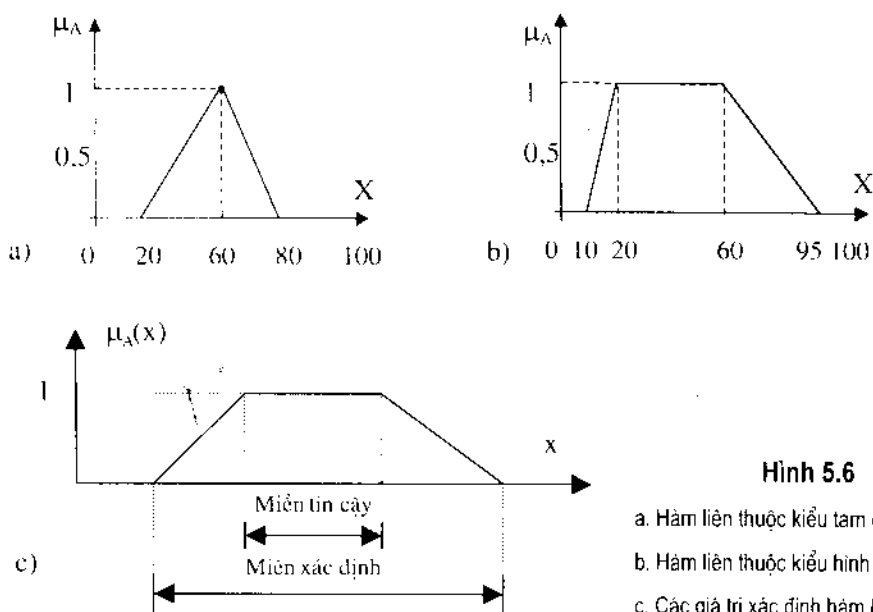
$$\mu_A(a,b,c,d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (5.20)$$

Hình 5.6b là ví dụ về hàm liên thuộc kiểu hình thang với  $\mu_A(x;10,20,60,95)$ .

Với hàm liên thuộc kiểu tuyến tính từng đoạn, người ta xét tập mờ qua các chỉ tiêu của hàm liên thuộc:

**Độ cao.** Trong thực tế không phải tập mờ nào cũng có phần tử có hàm liên thuộc bằng 1, do vậy ta có khái niệm về độ cao được định nghĩa như sau: Độ cao của một tập mờ  $A$  (thuộc tập  $E$ ) là giá trị  $\text{hgh}(A)$  bằng:

$$\text{hgh}(A) = \sup_{x \in E} \mu_A(x) \quad (5.21)$$



**Hình 5.6**

- a. Hàm liên thuộc kiểu tam giác;
- b. Hàm liên thuộc kiểu hình thang.
- c. Các giá trị xác định hàm liên thuộc

Một tập mờ với ít nhất một phần tử có  $hgh = 1$  gọi là tập mờ chính tắc, ngược lại một tập mờ với  $hgh < 1$  được gọi là tập mờ không chính tắc.

**Miền xác định.** Miền xác định của tập mờ  $A$  (thuộc tập  $E$ ) được ký hiệu là  $S$ , với  $S$  là tập con của  $E$ , thỏa mãn điều kiện:

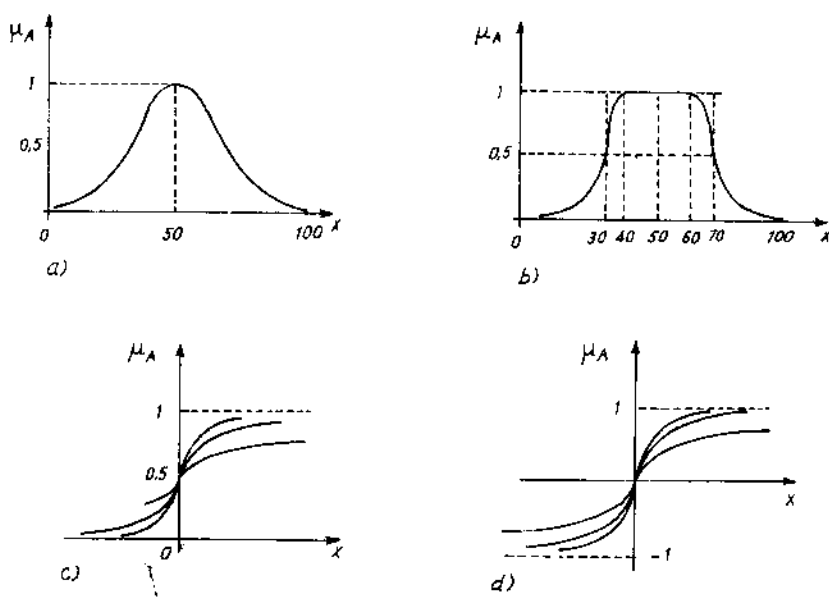
$$S = \{ x \in E / \mu_A(x) > 0 \}. \quad (5.22)$$

**Miền tin cậy.** Miền tin cậy của tập mờ  $A$  (thuộc tập  $E$ ) được ký hiệu là  $T$ , với  $T$  là tập con của  $E$  thỏa mãn điều kiện:

$$T = \{ x \in E / \mu_A(x) = 1 \}. \quad (5.23)$$

Hình 5.6c là ví dụ về miền xác định, miền tin cậy của tập mờ  $A$ .

Do biểu thức đơn giản và tính toán dễ dàng mà cả 2 dạng hàm liên thuộc kiểu tam giác và hình thang đều được dùng rộng rãi trong bài toán kỹ thuật điều khiển mờ, đặc biệt các hệ điều khiển "thời gian thực" (real-time). Tuy nhiên các hàm liên thuộc này chỉ gồm các đoạn thẳng nên không mềm mại ở các điểm gãy, do vậy khi cần thiết ta sẽ sử dụng các loại hàm liên thuộc kiểu khác.



Hình 5.7 .

- a. Hàm liên thuộc Gauss; d. Hàm liên thuộc hình chuông.  
c. Hàm liên thuộc Sigmoid 1 cực; d. Hàm liên thuộc Sigmoid 2 cực.

*Hàm liên thuộc Gauss.* Hàm liên thuộc này được xác định bởi 2 tham số:  $\{\sigma, c\}$ .

$$\mu_A(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{\sigma^2}} \quad (5.24)$$

trong đó  $c$  là tâm và  $\sigma$  xác định độ rộng của hàm liên thuộc.

Hình 5.7c là hàm liên thuộc Gauss với  $(x; 20, 50)$ .

*Hàm liên thuộc hình chuông.* Hàm liên thuộc này được xác định bởi 3 tham số:  $\{a, b, c\}$  với:

$$\mu_A(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (5.25)$$

trong đó  $b$  thường là số dương.

Ta có thể chỉnh định  $c$  và  $a$  để thay đổi tâm và độ rộng, dùng  $b$  để điều khiển độ dốc ở các điểm cắt của hàm liên thuộc. Hình 5.7b là hàm liên thuộc hình chuông với  $(x; 20, 4, 50)$ .

*Hàm liên thuộc Sigmoid.* Hàm liên thuộc này được xác định bởi 2 tham số:  $\{a, c\}$  với:

$$\mu_A(x; a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x-c)]} \quad (5.26)$$

trong đó  $a$  điều khiển độ dốc ở điểm cắt  $x = c$ .

Phụ thuộc vào dấu của  $a$  có thể mở rộng về bên trái hoặc bên phải theo khái niệm "rất rộng" hoặc "rất âm". Hàm Sigmoid được sử dụng nhiều trong "mạng neural" (neural network) và có dạng 1 cực hoặc 2 cực như hình 5.7c và hình 5.7d.

#### 5.2.2.4. Các phép toán về tập mờ

##### 1. Khái niệm so sánh hai tập mờ

Đối với các tập mờ chúng ta cũng có thể định nghĩa các phép toán tương tự như các phép toán đối với tập thông thường.

Cho tập  $E$ , cho  $\underline{A}, \underline{B}$  là hai tập con mờ của  $E$ , nghĩa là:

$$\underline{A} := \{[x/\mu_A(x)] : x \in E\}, \mu_A(x) \text{ lấy giá trị trong khoảng } [0,1] \quad (5.27)$$

$$\underline{B} := \{[x/\mu_B(x)] : x \in E\}, \mu_B(x) \text{ lấy giá trị trong khoảng } [0,1] \quad (5.28)$$

Nói rằng tập mờ  $\underline{A}$  là tập con của tập mờ  $\underline{B}$ , viết  $\underline{A} \subseteq \underline{B}$ , đọc là  $\underline{A}$  bao hàm mờ trong  $\underline{B}$  nếu:

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x), \quad x \in E. \quad (5.29)$$

Thí dụ, xét tập mờ  $\underline{A}_1$  cho theo (5.15) và tập mờ  $\underline{B}_1$  dưới đây:

$$\underline{B}_1 = \{(90/1), (95/0,95), (100/0,81), (105/0,02), (110/0,1), (115/0), (120/0)\} \quad (5.30)$$

Khi đó hiển nhiên  $\underline{A}_1 \subseteq \underline{B}_1$ .

Nói rằng tập mờ  $\underline{A}$  bằng tập mờ  $\underline{B}$ , viết  $\underline{A} = \underline{B}$ , đọc là  $\underline{A}$  bằng mờ  $\underline{B}$  nếu

$$\mu_A(x) = \mu_B(x), \quad x \in E \quad (5.31)$$

## 2. Phép hợp hai tập mờ

Hợp của hai tập mờ  $\underline{A}$  và  $\underline{B}$  (cùng trong tập  $E$ ) là một tập mờ cũng xác định trong  $E$  (hình 5.8) với hàm liên thuộc  $\mu_{A \cup B}(x)$  xác định bằng:

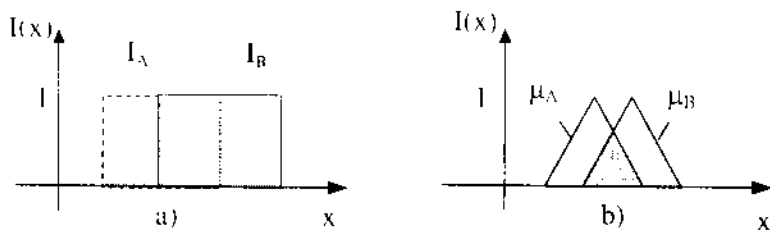
$$\underline{A} \cup \underline{B} := \{[x/\mu_{A \cup B}(x)], x \in E\}$$

trong đó

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max} [\mu_A(x), \mu_B(x)], \quad x \in E \quad (5.32)$$

Chẳng hạn, với  $\underline{A}_1$ ,  $\underline{A}_2$  cho bằng (5.15) và (5.16):

$$\underline{A}_1 \cup \underline{A}_2 := \{(90/0,9), (95/0,95), (100/1), (105/0), (110/0), (115/0), (120/0)\} \quad (5.33)$$



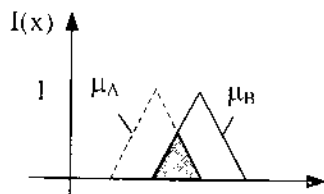
Hình 5.8. Hàm liên thuộc của hợp 2 tập mờ

a. Hợp của hai tập rõ; b. Hợp của hai tập mờ.

## 3. Phép giao hai tập mờ

Giao của 2 tập mờ  $\underline{A}$  và  $\underline{B}$  (cùng thuộc tập  $E$ ) là một tập mờ cũng xác định trên  $E$  với định nghĩa sau (hình 5.9):

$$\underline{A} \cap \underline{B} := \{[x/\mu_{A \cap B}(x)], x \in E\}$$



Hình 5.9.

Hàm liên thuộc giao của hai tập mờ

trong đó:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min} [\mu_A(x), \mu_B(x)], x \in E. \quad (5.34)$$

Chẳng hạn, với  $A_1, A_2$  cho bằng (5.15) và (5.16):

$$A_1 \cap A_2 := \{(90/0,8), (95/0,9), (100/0,8), (105/0), (110/0), (115/0), (120/0)\} \quad (5.35)$$

#### 4. Phép bù của một tập mờ

Cho tập mờ  $A$ , gọi tập bù mờ của  $A$ , viết  $\bar{A}$ , đọc bù mờ của  $A$ , là tập định nghĩa bởi:

$$\bar{A} := \{(x/\mu_A(x)); x \in E\} \quad (5.36)$$

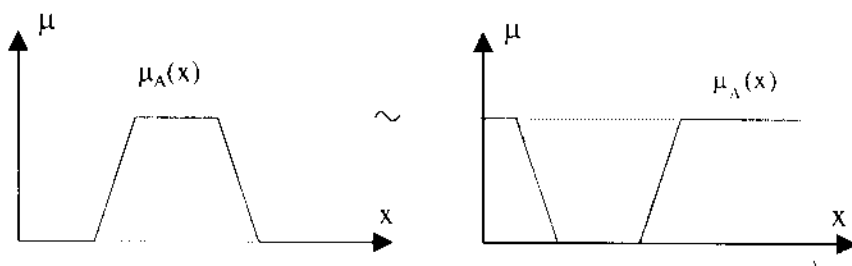
với  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

Thí dụ, cho  $A_1$  theo biểu thức (5.15) thì :

$$\bar{A}_1 = \{(90/0,1), (95/0,05), (100/0,2), (105/1), (110/1), (115/1), (120/1)\} \quad (5.37)$$

Bây giờ, cho một tập mờ  $A$ , ta gọi tập tổ  $A$  gần tập mờ  $A$  nhất là một tập (thông thường) định nghĩa bởi:

$$A := \{(x/\mu_A(x)); x \in E\} \text{ với } \mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } \mu_A(x) < 0,5 \\ 1 & \text{nếu } \mu_A(x) > 0,5 \\ 0 \text{ hay } 1 & \text{nếu } \mu_A(x) = 0,5 \end{cases} \quad (5.38)$$



Hình 5.10. Biểu diễn về hàm liên thuộc của bù mờ

Chẳng hạn các tập mờ  $A_1, A_2, A_3$  theo (5.15), (5.16), (5.17) có chung cơ sở thì tập tổ gần các tập mờ đó nhất là tập  $A$  cho theo biểu thức (5.5).

### 5.2.2.5. Graph mờ và quan hệ mờ

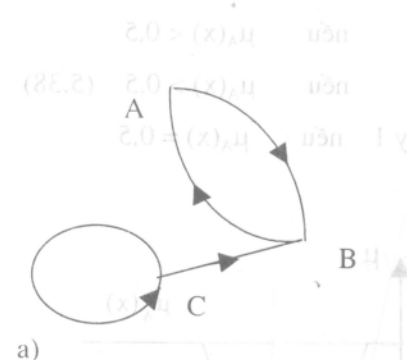
#### 1. Graph mờ

Cho một tập  $S$  gồm  $n$  phần tử:  $S := \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , cho một qui tắc  $\Gamma$  xác định đường đi từ  $x_i$  đến  $x_j$ ; khi đó bộ đôi  $G := (S, \Gamma)$  được gọi là một graph  $G$ ;  $S$  được gọi là tập đỉnh của  $G$ , tập các đường đi do qui tắc  $\Gamma$  tạo ra là tập các cung của  $G$ .

Thí dụ, hệ thống đường giao thông trong một thành phố là một graph giao thông, các đỉnh là các ngã đôi, ba, ...; các cung là các đường phố. Hệ thống tổ chức một cơ quan là một graph tổ chức, có đỉnh là các phòng ban chức năng, các cung là các đường dây truyền đạt thông tin, chỉ thị, thông báo ...

Bây giờ xét graph  $G$  cho theo hình 5.11a và xét ma trận  $3 \times 3$  dưới đây, trong đó các phần tử chỉ lấy hai giá trị 0 hoặc 1, nếu  $(A, B)$  là một cung của  $G$  thì phần tử  $(A, B) = 1$ , nếu không thì  $(A, B) = 0$ . Như vậy, cho một graph  $G$ , luôn luôn có thể xây dựng một ma trận - gọi là ma trận kết với  $G$  và ngược lại, cho một ma trận có các phần tử hoặc bằng 0 hoặc bằng 1, bao giờ cũng xây dựng được một graph tương ứng với ma trận đó - gọi là graph kết với ma trận.

Bây giờ ta xét ma trận  $(11 \times 11)$  ở hình 5.12 dưới đây:



| $x$ | A | B | C |
|-----|---|---|---|
| A   | 0 | 1 | 0 |
| B   | 1 | 0 | 0 |
| C   | 0 | 1 | 1 |

Hình 5.11.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Hình 5.12.

ub iv isl tēx sT

$$0 = (11X_1X_2X_3)_{\mathcal{O}H}, \dots, 0 = (rX_1X_2X_3)_{\mathcal{O}H}, 0 = (rX_1X_2X_3)_{\mathcal{O}H}, 0 = (1X_1X_2X_3)_{\mathcal{O}H}$$

đó graph giao thông của thành phố đó là một graph mờ.

Bây giờ ta tổng quát hoá khái niệm graph mờ. Cho hai tập:

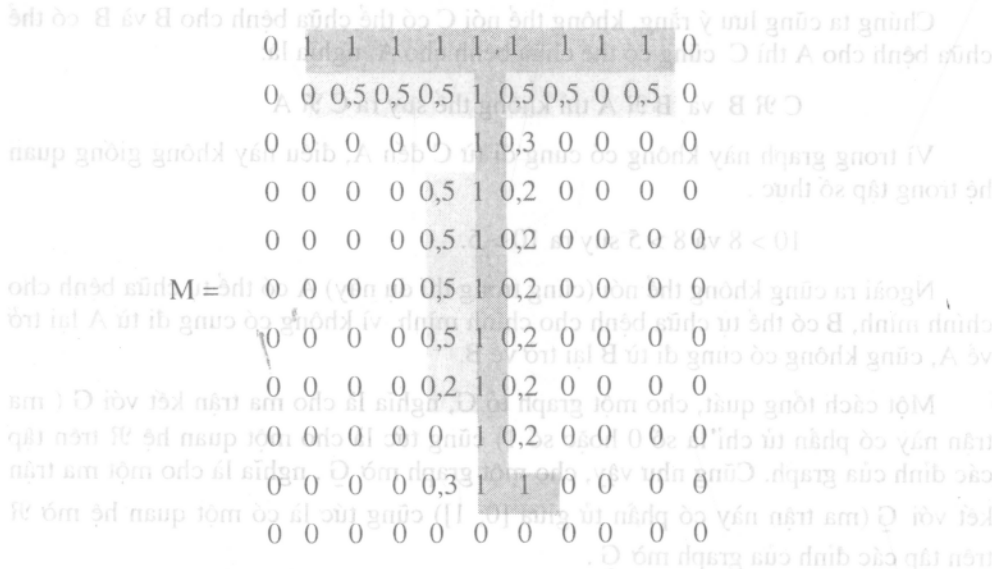
$$E := \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \text{ và } F := \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \quad (5.39)$$

Khi đó tập mờ được định nghĩa dưới đây:

$$\underline{G} := \{ [(x_1, y_1) / \mu(x_1, y_1)]; [(x_1, y_2) / \mu(x_1, y_2)]; \dots ;$$

$$[(x_1, y_n) / (\mu(x_1, y_n))], \dots, \dots, [(x_m, y_n) / \mu(x_m, y_n)] \} \quad (5.39)$$

graph mờ.



Hình 5.13

Ta xét lại ví dụ :

$$E = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}\} \text{ và } F = E;$$

Từ ma trận M ta có :

$$\mu_G(x_1, x_1) = 0, \mu_G(x_1, x_2) = 1, \mu_G(x_1, x_3) = 1, \dots, \mu_G(x_1, x_{11}) = 0$$

$$\mu_G(x_2, x_1) = 0, \mu_G(x_2, x_2) = 0, \mu_G(x_2, x_3) = 0,5, \dots, \mu_G(x_2, x_{11}) = 0$$

-----  
-----

$$\mu_G(x_{10}, x_1) = 0, \mu_G(x_{10}, x_2) = 0, \dots, \mu_G(x_{10}, x_5) = 0,3, \dots, \mu_G(x_{10}, x_{11}) = 0$$

$$\mu_G(x_{11}, x_1) = 0, \mu_G(x_{11}, x_2) = 0, \dots, \mu_G(x_{11}, x_{11}) = 0$$

Như vậy từ ma trận mờ M ta có graph mờ tương ứng (hình 5.13). Bây giờ trở lại xét graph thông thường ở hình 5.11, nếu ta hiểu "có một cung đi từ đỉnh  $x_i$  đến  $x_j$ " thì ta nói " $x_i$  có thể chữa bệnh cho  $x_j$ " thì ở graph này đã có "một quan hệ  $\mathcal{R}$ " - đó là quan hệ "có thể chữa bệnh cho", cụ thể ở đây ta đã có quan hệ:

A có thể chữa bệnh cho B, viết là  $A \mathcal{R} B$

B có thể chữa bệnh cho A, viết là  $B \mathcal{R} A$

C có thể chữa bệnh cho B, viết là  $C \mathcal{R} B$

Và C có thể chữa bệnh cho chính mình, viết là  $C \mathcal{R} C$ .

Chúng ta cũng lưu ý rằng, không thể nói C có thể chữa bệnh cho B và B có thể chữa bệnh cho A thì C cũng có thể chữa bệnh cho A, nghĩa là:

$C \mathcal{R} B$  và  $B \mathcal{R} A$  thì không thể suy ra  $C \mathcal{R} A$

Vì trong graph này không có cung đi từ C đến A, điều này không giống quan hệ trong tập số thực .

$$10 > 8 \text{ và } 8 > 5 \text{ suy ra } 10 > 5.$$

Ngoài ra cũng không thể nói (cũng trong thí dụ này) A có thể tự chữa bệnh cho chính mình, B có thể tự chữa bệnh cho chính mình, vì không có cung đi từ A lại trở về A, cũng không có cung đi từ B lại trở về B.

Một cách tổng quát, cho một graph tổ G, nghĩa là cho ma trận kết với G ( ma trận này có phần tử chỉ là số 0 hoặc số 1) cũng tức là cho một quan hệ  $\mathcal{R}$  trên tập các đỉnh của graph. Cũng như vậy, cho một graph mờ  $\underline{G}$ , nghĩa là cho một ma trận kết với  $\underline{G}$  (ma trận này có phần tử giữa  $[0; 1]$ ) cũng tức là có một quan hệ mờ  $\mathcal{R}$  trên tập các đỉnh của graph mờ  $\underline{G}$ .



Thí dụ, cho  $E \subset \mathbb{R}$  (tập các số thực);  $F \subset \mathbb{R}$ , khi đó quan hệ  $y \ll x$  ( $y$  quá bé so với  $x$ ), với mọi  $(x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}$  có thể mô tả bởi hàm liên thuộc  $\mu_{\mathfrak{R}}(x, y)$

$$\mu_{\mathfrak{R}}(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } y \geq x \\ \frac{1}{1 + \frac{1}{(x-y)^2}} & \text{nếu } y < x \end{cases} \quad (5.41)$$

Theo cách xây dựng graph mờ ở trên, có thể xây dựng vô số graph mờ và tương ứng có thể xây dựng vô số quan hệ mờ. Tuy nhiên ở đây ta chỉ giới thiệu một quan hệ mờ, đó là quan hệ thứ tự mờ  $\mathfrak{R}$ .

## 2. Quan hệ thứ tự mờ

Một quan hệ  $\mathfrak{R}$  giữa hai đối tượng với nhau (gọi là quan hệ hai ngôi) được gọi là quan hệ thứ tự mờ nếu hàm liên thuộc  $\mu_{\mathfrak{R}}(x, y)$  thỏa mãn các tính chất :

a)  $\forall (x, x) \in E \times E : \mu_{\mathfrak{R}}(x, x) = 1$ ; gọi là tính phản xạ (5.42)

b)  $\forall (x, y), (y, z), (z, x) \in E \times E$ :

$$\mu_{\mathfrak{R}}(x, z) \geq \max [\min(\mu_{\mathfrak{R}}(x, y), \mu_{\mathfrak{R}}(y, z))]; \text{ gọi là tính truyền ứng} \quad (5.43)$$

Nếu dùng ký hiệu  $\vee$  để chỉ max đối với một phần tử hay một biến  $x$ ;  $\wedge$  để chỉ min đối với một phần tử hay một biến thì có thể diễn đạt tính truyền ứng của quan hệ mờ dưới dạng:

$$\mu_{\mathfrak{R}}(x, z) \geq \vee [\mu_{\mathfrak{R}}(x, y) \wedge \mu_{\mathfrak{R}}(y, z)] \quad (5.44)$$

c)  $\forall (x, y) \in E \times E$  với  $x \neq y$  mà:

$$(\mu_{\mathfrak{R}}(x, y) \neq \mu_{\mathfrak{R}}(y, x)) \text{ hoặc } (\mu_{\mathfrak{R}}(x, y) = \mu_{\mathfrak{R}}(y, x) = 0) \quad (5.45)$$

gọi là tính phản đối xứng.

Nói khác đi, một quan hệ mờ  $\mathfrak{R}$  được gọi là quan hệ thứ tự mờ nếu có tính phản xạ, truyền ứng và phản đối xứng hiểu theo các biểu thức (5.42), (5.43), (5.44) và (5.45).

Ta thấy quan hệ mờ cho theo (5.41) và theo các ma trận dưới đây là quan hệ thứ tự mờ:

| R | A   | B   | C | D   |
|---|-----|-----|---|-----|
| A | 1   | 0,8 | 0 | 0   |
| B | 0,2 | 1   | 0 | 0   |
| C | 0,3 | 0,4 | 1 | 0,1 |
| D | 0   | 0   | 0 | 1   |

Hình 5.14a

| R | A   | B   | C   | D   |
|---|-----|-----|-----|-----|
| A | 1   | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| B | 0,5 | 1   | 0,6 | 1   |
| C | 0,5 | 1   | 1   | 1   |
| D | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 1   |

Hình 5.14b

Có thể chứng minh rằng: Mọi quan hệ thứ tự mờ (trên tập E) đều cảm sinh một thứ tự được xác định bởi hệ thức:

$$\mu_{\mathcal{R}}(x, y) \geq \mu_{\mathcal{R}}(y, x) \quad (5.46)$$

Thứ tự này được ký hiệu là:  $y \geq x$

Chẳng hạn quan hệ thứ tự mờ cho ở ma trận hình 5.14a cho ta:

$$\mu_{\mathcal{R}}(A, B) = 0,8 \text{ và } \mu_{\mathcal{R}}(B, A) = 0,2; \text{ do vậy } B \geq A$$

$$\mu_{\mathcal{R}}(C, D) = 0,1 \text{ và } \mu_{\mathcal{R}}(D, C) = 0; \text{ do vậy } D \geq C$$

$$\mu_{\mathcal{R}}(C, B) = 0,4 \text{ và } \mu_{\mathcal{R}}(B, C) = 0; \text{ do vậy } B \geq C$$

$$\mu_{\mathcal{R}}(C, A) = 0,3 \text{ và } \mu_{\mathcal{R}}(A, C) = 0; \text{ do vậy } A \geq C.$$

Và ta có  $B \geq A$ ,  $A \geq C$ , do đó  $B \geq C$  (thỏa mãn tính truyền ứng).

### 5.2.2.6. Biến mờ, hàm biến mờ, biến ngôn ngữ

#### 1. Biến mờ

Xét một tập mờ  $A$ , có hàm liên thuộc là  $\mu_A(x)$ , cũng chính là hàm liên thuộc của phần tử  $x$  của tập mờ  $A$ , bây giờ ta dùng ký hiệu:

$$\underline{a} := \mu_A(x), \underline{b} := \mu_B(x), \text{ v.v...} \quad (5.47)$$

và ta gọi  $\underline{a}, \underline{b}, \text{ v.v...}$  là các biến mờ.

Như ta đã biết, đối với biến Boole, thì các biến  $a, b, \dots$ , chỉ có thể lấy hai giá trị hoặc bằng 0 hoặc bằng 1 và ta đã có sự tương ứng giữa phép toán về tập hợp thông thường với phép toán đại số Boole như bảng ở hình 5.15.

| Các tập con | Các phép toán Boole tương ứng |
|-------------|-------------------------------|
| $A \cap B$  | $a.b$                         |
| $A \cup B$  | $a + b$                       |
| $\bar{A}$   | $\bar{a}$                     |

Hình 5.15

Với các biến mờ  $a, b, \dots$  và  $a, b, \dots \in [0, 1]$ , tương tự như định nghĩa các phép toán về đại số Boole, ta định nghĩa các phép toán cho biến mờ:

$$\underline{a} \wedge \underline{b} := \min(\underline{a}, \underline{b}) \quad (5.48)$$

$$\underline{a} \vee \underline{b} := \max(\underline{a}, \underline{b}) \quad (5.49)$$

$$\bar{\underline{a}} := 1 - \underline{a} \quad (5.50)$$

Từ các định nghĩa đó, ta có thể định nghĩa được:

*Tính giao hoán*

$$\underline{a} \wedge \underline{b} = \underline{b} \wedge \underline{a}; \quad \underline{a} \vee \underline{b} = \underline{b} \vee \underline{a} \quad (5.51)$$

*Tính kết hợp*

$$\begin{aligned} \underline{a} \wedge \underline{b} \wedge \underline{c} &= \underline{a} \wedge (\underline{b} \wedge \underline{c}) \\ \underline{a} \vee \underline{b} \vee \underline{c} &= \underline{a} \vee (\underline{b} \vee \underline{c}) \end{aligned} \quad (5.52)$$

$$\begin{aligned} \underline{a} \vee \underline{a} &= \underline{a} \\ \underline{a} \wedge \underline{a} &= \underline{a} \end{aligned} \quad (5.53)$$

*Tính phân phối*

$$\begin{aligned} \underline{a} \wedge (\underline{b} \vee \underline{c}) &= (\underline{a} \wedge \underline{b}) \vee (\underline{a} \wedge \underline{c}) \\ \underline{a} \vee (\underline{b} \wedge \underline{c}) &= (\underline{a} \vee \underline{b}) \wedge (\underline{a} \vee \underline{c}) \end{aligned} \quad (5.54)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{a} \wedge 0 &= 0 \\ \underline{a} \vee 0 &= \underline{a} \\ \underline{a} \wedge 1 &= \underline{a} \\ \underline{a} \vee 1 &= 1 \\ \overline{(\bar{\underline{a}})} &= \underline{a} \end{aligned} \right\} \quad (5.55)$$

Nguyên lý De Morgan suy rộng:

$$\begin{aligned} \overline{(a \wedge b)} &= \bar{a} \vee \bar{b} \\ \overline{(a \vee b)} &= \bar{a} \wedge \bar{b} \end{aligned} \quad (5.56)$$

Lưu ý rằng tất cả các phép toán " $\wedge$ ", " $\vee$ ", " $\neg$ ", đối với biến mờ giống hết phép toán " $\bullet$ ", " $+$ ", " $-$ " đối với biến Boole, duy chỉ có hai tính chất sau đây là khác nhau:

$$\text{Với biến Boole: } a \cdot \bar{a} = 0 \text{ và } a + \bar{a} = 1 \quad (5.57)$$

$$\begin{aligned} \text{Với biến mờ: } \quad & \bar{a} \wedge a \neq 0, \text{ trừ khi } a = 0 \text{ hoặc } 1 \\ & \bar{a} \vee a \neq 1, \text{ trừ khi } a = 0 \text{ hoặc } 1 \end{aligned} \quad (5.58)$$

Tóm lại, dùng biểu thức (5.47) chúng ta xây dựng khái niệm biến mờ và cũng từ đó ta định nghĩa các phép toán về biến mờ, nói chung các phép toán đó đều có tính chất tương tự như đối với biến Boole, trừ tính chất (5.57) phải thay bằng (5.58).

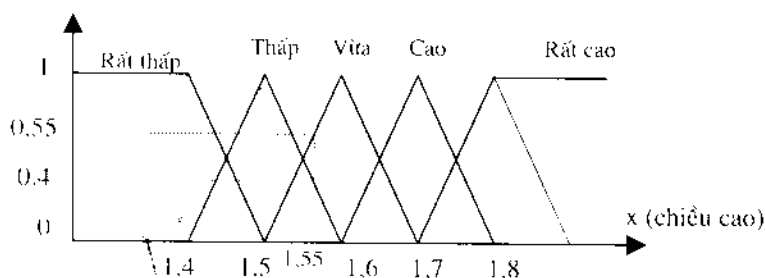
## 2. Hàm biến mờ

Cho  $f(a, b, \dots)$  là một hàm của các biến  $a, b, \dots$ , điều kiện cần có và đủ để hàm  $f$  được gọi là một hàm các biến mờ là  $f$  chỉ phụ thuộc các biến mờ và thoả mãn điều kiện:

$$0 \leq f \leq 1 \quad (5.59)$$

Ta cũng dễ dàng thấy rằng, nếu  $f$  chỉ chứa các biến mờ và chỉ xây dựng  $f$  qua các phép toán " $\cap$ ", " $\cup$ ", " $-$ " thì điều kiện (5.59) luôn luôn thoả mãn.

## 3. Biến ngôn ngữ



Hình 5.16. Mô tả giá trị ngôn ngữ chiều cao người Việt Nam bằng tập mờ

Trong thực tế xã hội và đặc biệt trong hoạt động tư duy của con người, nhiều vấn đề hoặc hiện tượng không được đánh giá bằng một số cụ thể mà lại được đánh

giá bằng một khái niệm ước lượng, tuy vậy lại rất phù hợp với thực tế. Chẳng hạn, khi nói về chiều cao của con người, thường phổ dụng khái niệm: rất cao, cao, vừa, thấp, rất thấp hoặc là khi nói về tốc độ của một động cơ chẳng hạn ta có khái niệm: rất chậm, chậm, trung bình, nhanh và rất nhanh. Về mặt toán học, có thể quan niệm là: chiều cao của con người là một biến mà biến đó có giá trị được thể hiện bằng ngôn ngữ là: cao, vừa, thấp hay đối với tốc độ động cơ sẽ có các giá trị ngôn ngữ là: rất chậm, chậm, trung bình, nhanh và rất nhanh v.v...

Mỗi một giá trị ngôn ngữ của một biến vật lý, chẳng hạn ta xét là chiều cao của người Việt Nam (với vừa: 1,6 m, cao: > 1,7 m, rất cao: > 1,8 m, thấp: < 1,5 m, rất thấp: < 1,4 m), sẽ được xác định bằng một tập mờ với các hàm liên thuộc tương ứng là:  $\mu_{\text{rất thấp}}(x)$ ,  $\mu_{\text{thấp}}(x)$ ,  $\mu_{\text{vừa}}(x)$ ,  $\mu_{\text{cao}}(x)$ ,  $\mu_{\text{rất cao}}(x)$  như ở hình 5.16.

Như vậy, với biến là chiều cao H, ta thấy có 2 miền giá trị khác nhau:

– Miền các giá trị rõ:

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

– Miền các giá trị ngôn ngữ:

$$N = \{ \text{Rất thấp, Thấp, Vừa, Cao, Rất cao} \}$$

Và mỗi giá trị ngôn ngữ ( mỗi phần tử của N ) lại được mô tả bằng một tập mờ có tập xuất xứ là các giá trị vật lý của chiều cao H.

Ta thấy, từ một giá trị rõ của chiều cao là  $x \in H$ , ta được một vectơ hàm liên thuộc  $\mu(x)$ , biểu hiện sự liên thuộc của chiều cao x thông qua biến ngôn ngữ là:

$$x \rightarrow \mu(x) = \begin{cases} \mu_{\text{rất thấp}}(x) \\ \mu_{\text{thấp}}(x) \\ \mu_{\text{vừa}}(x) \\ \mu_{\text{cao}}(x) \\ \mu_{\text{rất cao}}(x) \end{cases}$$

Chẳng hạn cho  $x = 1,55$  m (hình 5.12) thì vectơ  $\mu(x)$  là:

$$1,55 \text{ m} \rightarrow \mu(1,55) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,4 \\ 0,5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

## 5.3. LOGIC MỜ

### 5.3.1. Đặt vấn đề

Thật ra, về mặt ngôn từ, kết hợp chữ mờ với chữ logic thì nghe không hợp lắm. Logic, theo nghĩa thông thường của chữ này, đó là một hệ thống qui tắc chặt chẽ của phép tư duy, hệ thống, nó không bao giờ được mờ mà phải luôn luôn chặt chẽ, chính xác. Tuy nhiên khi đi sâu vào các hệ thống qui tắc, ta thấy rằng trong thực tế không hề chỉ có một logic duy nhất, chẳng hạn không phải chỉ có một logic Boole mà có thể có nhiều logic khác nhau, tùy theo cách xây dựng và phụ thuộc vào hệ thống tiên đề mà người ta chọn để xây dựng ra nó. Như vậy, khi đã có một hệ thống tiên đề cụ thể, mọi mệnh đề xây dựng tiếp theo đều phải tuân theo một cách nghiêm ngặt các qui tắc được suy diễn từ hệ thống tiên đề mà không được gặp mâu thuẫn. Và như vậy logic mờ chính là logic để làm rõ các hiện tượng mờ.

Vì thế, cũng rất tự nhiên, ta sẽ xây dựng khái niệm logic mờ trên cơ sở các khái niệm của tập con mờ, các phép toán về tập con mờ, các biến mờ và hàm biến mờ.

Không đi sâu vào quá chi tiết, ở đây ta sẽ chỉ giới thiệu khái niệm logic mờ qua một thí dụ đơn giản lấy từ câu chuyện cổ tích "Tấm-Cám". Từ câu chuyện "Tấm-Cám" ta có một mệnh đề là:

"Vàng anh, vàng anh, có phải vợ anh, chui vào tay áo"

Mệnh đề logic này ta phải kiểm tra khi đọc hết chuyện cổ tích "Tấm-Cám" qua 2 mệnh đề logic hình thức:

$P_1$ : "Con chim vàng anh là hóa thân của nàng Tấm, Vợ của hoàng tử"

$P_2$ : "Con chim vàng anh chui vào ống tay áo hoàng tử"

Như vậy, theo logic hình thức: mệnh đề  $P_1$  và mệnh đề  $P_2$  (ký hiệu  $P_1 \Delta P_2$ ) có nghĩa là: "Con chim vàng anh, hóa thân của nàng Tấm, vợ của hoàng tử, chui vào tay áo của hoàng tử". Để mệnh đề  $P_1 \Delta P_2$  đúng nhất thiết phải cả 2 mệnh đề  $P_1$  và  $P_2$  đều đúng, nếu chỉ một hoặc không có mệnh đề nào đúng thì kết quả sẽ sai và không phù hợp kết cục câu chuyện cổ tích "Tấm-Cám", như vậy ta có bảng chân lý:

| $P_1$ | $P_2$ | $P_1 \Delta P_2$ |
|-------|-------|------------------|
| Đúng  | Đúng  | Đúng             |
| Đúng  | Sai   | Sai              |
| Sai   | Đúng  | Sai              |
| Sai   | Sai   | Sai              |

Bây giờ ta diễn đạt mệnh đề  $P_1, P_2$  theo một cách khác:

Xét  $E$  là một tập các loài chim, chẳng hạn:

$$E := \{\text{Bồ câu}, \text{Sẻ}, \text{Vàng anh}, \text{Sáo}, \text{Vịt giời}\}$$

Gọi  $A \subseteq E$  là tập con những con chim có thể là hóa thân của nàng Tấm, vợ hoàng tử, nghĩa là:

$$A := \{\text{Bồ câu}/0, \text{Sẻ}/0, \text{Vàng anh}/1, \text{Sáo}/0, \text{Vịt giời}/0\}.$$

Gọi  $B \subseteq E$  là tập con những con chim có thể chui vào ống tay áo của hoàng tử:

$$B := \{\text{Bồ câu}/0, \text{Sẻ}/0, \text{Vàng anh}/1, \text{Sáo}/0, \text{Vịt giời}/0\}.$$

Như vậy ta có:  $A = \{\text{Vàng anh}/1\}$ ,  $B = \{\text{Vàng anh}/1\}$ .

$$\text{Vậy: } A \cap B = \{\text{Vàng anh}\}.$$

Trên đây mới là suy luận theo logic rõ từ 2 mệnh đề  $P_1, P_2$  và ta đã kiểm tra được: chính chim Vàng anh là con chim đã được kể trong câu chuyện cổ tích Tấm - Cám.

Bây giờ ta xét theo khái niệm mờ. Giả thiết xét tập mờ  $A \subseteq E$  là các con chim có thể hóa thân thành nàng tấm, vợ hoàng tử:

$$\underline{A} := \{\text{Bồ câu}/0,1; \text{Sẻ}/1; \text{Vàng anh}/1; \text{Sáo}/0,5; \text{Vịt giời}/0\}.$$

Cho tập mờ  $\underline{B} \subseteq E$  là những con chim có thể chui vào ống tay áo của hoàng tử:

$$\underline{B} := \{\text{Bồ câu}/0,1; \text{Sẻ}/0,4; \text{Vàng anh}/1; \text{Sáo}/0,7; \text{Vịt giời}/0\}.$$

Như thế theo định nghĩa giao mờ, ta có:

$$\underline{A} \cap \underline{B} := \{\text{Bồ câu}/0,1; \text{Sẻ}/0,4; \text{Vàng anh}/1; \text{Sáo}/0,5; \text{Vịt giời}/0\}.$$

Từ đây ta thấy rằng, hiển nhiên câu chuyện dẫn đến kết cục chính là Vàng anh (khả năng 1), tuy vậy cũng có thể là Sáo (khả năng 0,5), là Sẻ (khả năng 0,4) và Bồ câu (khả năng là 0,1).

Như vậy qua ví dụ trên cho ta thấy rằng, những phát biểu về logic mờ cũng kết tương ứng với lý thuyết tập mờ, trong khi logic rõ được kết tương ứng với lý thuyết tập hợp thông thường.

### 5.3.2. Mệnh đề kéo theo (Implication) và mệnh đề tương đương

**Mệnh đề kéo theo.** Giả thiết có hai mệnh đề  $p$  và mệnh đề  $q$ , ta xét mệnh đề  $p$  kéo theo  $q$  (ký hiệu  $p \Rightarrow q$ ). Mệnh đề  $p \Rightarrow q$  được hiểu là: nếu  $p$  đúng thì  $q$  luôn đúng, nhưng không thể khẳng định gì khi  $p$  sai, khi đó  $q$  cũng có thể đúng, có thể sai.

Bang chân lý của mệnh đề  $p \Rightarrow q$  như thể hiện trên hình 5.17a.

Nếu ta kết tập A với mệnh đề p, tập B với mệnh đề q, ta có sự tương ứng:  $p \Rightarrow q$  theo ngôn từ tập hợp là:  $\bar{A} \cup B$ .

**Mệnh đề tương đương.** Với hai mệnh đề p và q, ta xét mệnh đề tương đương  $P \equiv q$  (ký hiệu  $P \equiv q$ ) sẽ được định nghĩa bằng bảng chân lý ở hình 5.17b.

| P    | q    | $P \rightarrow q$ |
|------|------|-------------------|
| Sai  | Sai  | Đúng              |
| Sai  | Đúng | Đúng              |
| Đúng | Sai  | Sai               |
| Đúng | Đúng | Đúng              |

Hình 5.17a

| P    | q    | $P \equiv q$ |
|------|------|--------------|
| Sai  | Sai  | Đúng         |
| Sai  | Đúng | Sai          |
| Đúng | Sai  | Sai          |
| Đúng | Đúng | Đúng         |

Hình 5.17b

Nếu ta kết tập A với mệnh đề P, tập B với mệnh đề q, ta có sự tương ứng:  $p \equiv q$  theo ngôn từ tập hợp là:  $(A \cup \bar{B}) \cap (\bar{A} \cup B)$ .

Khi chuyển sang logic mờ, hoàn toàn tương ứng, ta có mệnh đề kéo theo mờ được định nghĩa ứng với phép toán  $(\bar{A} \cup B)$  và mệnh đề tương đương mờ được định nghĩa ứng với phép toán  $(A \cup \bar{B}) \cap (\bar{A} \cup B)$ .

Bây giờ ta xét kỹ mệnh đề kéo theo mờ:  $p \Rightarrow q$ .

Gọi mệnh đề p là mệnh đề điều kiện và mệnh đề q là mệnh đề kết luận.

Mệnh đề kéo theo p q hoàn toàn tương ứng với luật điều khiển "**Nếu... Thì**" (IF...THEN), nghĩa là:

**Nếu** x = A **Thì** y = B.

trong đó A và B là giá trị ngôn ngữ của tập cơ sở X,Y.

Luật **Nếu... Thì** được dùng rộng rãi trong các biểu thức ngôn ngữ cuộc sống hàng ngày, chẳng hạn:

**Nếu** áp suất cao **Thì** thể tích nhỏ;

**Nếu** đường trơn **Thì** lái xe dễ xảy tai nạn;

**Nếu** cà chua đỏ **Thì** cà chua chín;

**Nếu** mệt **Thì** nghỉ;

Về bản chất quan hệ **Nếu ...Thì** mô tả cho ta quan hệ 2 ngôi của 2 biến x và y trên không gian cơ sở  $X \times Y$  và được đặc trưng bởi hàm liên thuộc  $\mu_R(x,y)$ .



Ta xét ví dụ sau đây: Đầu tiên ta xét một ví dụ về các tập rỗng A và B, cho A các giá trị  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  và B các giá trị  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$ .

Viết theo ký hiệu là:

$$A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}, \quad B = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6\}$$

Quan hệ giữa tập A và tập B được cho ở ma trận rỗng (hình 5.18).

| R     | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ | $y_6$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_1$ | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_2$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| $x_3$ | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_4$ | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_5$ | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| $x_6$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| $x_7$ | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     |

Hình 5.18

Nhìn ma trận hình 5.18 ta có:

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| <b>Nếu</b> $x = x_1$ | <b>Thì</b> $y = y_2$ |
| .. $x = x_2$         | .. $y = y_6$         |
| .. $x = x_3$         | .. $y = y_1$         |
| .. $x = x_4$         | .. $y = y_2$         |
| .. $x = x_5$         | .. $y = y_3$         |
| .. $x = x_6$         | .. $y = y_5$         |
| .. $x = x_7$         | .. $y = y_3$         |

| R     | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ | $y_6$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_1$ | 0,8   | 1     | 0,3   | 1     | 0,9   | 0,9   |
| $x_2$ | 0,2   | 0,9   | 1     | 0     | 0,6   | 1     |
| $x_3$ | 0,3   | 0,8   | 0,9   | 1     | 0,8   | 0     |
| $x_4$ | 0,5   | 0     | 1     | 1     | 0,8   | 0,9   |
| $x_5$ | 1     | 0,2   | 0,9   | 0,6   | 0     | 0,5   |
| $x_6$ | 0,6   | 0,8   | 1     | 1     | 0,8   | 1     |
| $x_7$ | 0,1   | 1     | 0     | 0,9   | 0,3   | 1     |

Hình 5.19

Bây giờ, cũng với quan hệ cho bởi ma trận trên, nhưng ta "mờ hóa" ma trận đó, nghĩa là cho các phần tử không nhất thiết chỉ lấy hai giá trị: 0 hoặc 1 mà có thể lấy bất kỳ giá trị nào giữa 0 và 1, chẳng hạn ta có ma trận mờ ở bảng trên hình 5.19 (ma trận đó chính là quan hệ mờ giữa tập  $A$  và tập  $B$ ).

Nhìn ma trận trên hình 5.19 ta thấy :

**Nếu  $x = x_1$  Thì  $\underline{B} = \{(y_1/0,8), (y_2/1), (y_3/0,3), (y_4/1), (y_5/0,9), (y_6/0,9)\}$**

**Nếu  $x = x_2$  Thì  $\underline{B} = \{(y_1/0,2), (y_2/0,9), (y_3/1), (y_4/0), (y_5/0,6), (y_6/1)\}$**

•  
•  
•  
•  
•

**Nếu  $x = x_7$  Thì  $\underline{B} = \{(y_1/0,1), (y_2/1), (y_3/0), (y_4/0,9), (y_5/0,3), (y_6/1)\}$**

Bây giờ, nếu ta cho một tập  $A'$  là tập con mờ của  $A$ , với các giá trị cụ thể là:

$$\underline{A}' = \{(x_1/0,2), (x_2/0,3), (x_3/0,5), (x_4/1), (x_5/0), (x_6/0), (x_7/0,8)\}$$

Theo định nghĩa, mệnh đề kéo theo mờ  $P \Rightarrow q$ , được hiểu là :

**Nếu  $x \in \underline{A}$  Thì  $y \in \underline{B}$** , với  $\mu_B(y)$  được xác định là (sẽ nói kỹ ở phần sau):

$$\mu_B(y) = \text{MaxMin} \{ \mu_A(x), \mu_B(y/x) \}; x \in \underline{A}$$

Như vậy ta tính được:

$$\begin{aligned} \mu_B(y_1) &= \max \{ \min(0,2; 0,8); \min(0,3; 0,2); \min(0,5; 0,3); \min(1; 0,5); \\ &\quad \min(0; 1); \min(0; 0,6); \min(0,8; 0,1) \} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \mu_B(y_2) &= \max \{ \min(0,2; 1); \min(0,3; 0,9); \min(0,5; 0,8); \min(1; 0); \\ &\quad \min(0; 0,2); \min(0; 0,8); \min(0,8; 1) \} \end{aligned}$$

$$= \max \{ 0,2; 0,3; 0,5; 0; 0; 0; 0,8 \} = 0,8$$

Hoàn toàn tương tự ta có :

$$\mu_B(y_3) = 1; \mu_B(y_4) = 1; \mu_B(y_5) = 0,8; \mu_B(y_6) = 0,9$$

Phép lấy Max-Min tương ứng với ký hiệu phép nhân ma trận sau :

| $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,2   | 0,3   | 0,5   | 1     | 0     | 0     | 0,8   |

 $*$ 

| $R$   | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ | $y_6$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_1$ | 0,8   | 1     | 0,3   | 1     | 0,9   | 0,9   |
| $x_2$ | 0,2   | 0,9   | 1     | 0     | 0,6   | 1     |
| $x_3$ | 0,3   | 0,8   | 0,9   | 1     | 0,8   | 0     |
| $x_4$ | 0,5   | 0     | 1     | 1     | 0,8   | 0,9   |
| $x_5$ | 1     | 0,2   | 0,9   | 0,6   | 0     | 0,5   |
| $x_6$ | 0,6   | 0,8   | 1     | 1     | 0,8   | 1     |
| $x_7$ | 0,1   | 1     | 0     | 0,9   | 0,3   | 1     |

 $=$ 

| $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ | $y_6$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,5   | 0,8   | 1     | 1     | 0,8   | 0,9   |

$[A'] \quad [B]$

Qua phép toán đó, ta đi đến kết luận:

Nếu:

$$A' = \{(x_1/0,2); (x_2/0,3); (x_3/0,5); (x_4/1); (x_5/0); (x_6/0); (x_7/0,8)\}$$

Thì:

$$B = \{(y_1/0,5); (y_2/0,8); (y_3/1); (y_4/1); (y_5/0,8); (y_6/0,9)\}$$

Ta thấy rằng, mệnh đề: "Nếu...Thì..." cho trường hợp mờ  $p \Rightarrow q$ , cũng đúng cho cả trường hợp logic rõ (logic hình thức thông thường)  $p \Rightarrow q$ . Thật vậy, ta có thể kiểm tra nhận xét này, nếu cho  $A'$  dưới dạng tập rõ:

$$A' = \{(x_1/0); (x_2/0); (x_3/0); (x_4/1); (x_5/0); (x_6/0); (x_7/0)\}$$

nghĩa là:  $A' = \{x_4\}$

và thực hiện phép toán lấy Max-Min hàng  $A'$  với ma trận mờ (hình 5.18) ta cũng được tập B tương ứng là:

| $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     |

 $*$ 

| $R$   | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ | $y_6$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_1$ | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_2$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| $x_3$ | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_4$ | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_5$ | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| $x_6$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| $x_7$ | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     |

 $=$ 

| $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ | $y_6$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |

$[A'] \quad [B]$

$$B = \{(y_1/0); (y_2/1); (y_3/0); (y_4/1); (y_5/0); (y_6/0)\} = \{y_2\}$$

Và điều đó được hiểu là:

**Nếu**  $A = \{x_4\}$  **Thì**  $B = \{y_2\}$  hay là:

**Nếu**  $x = x_4$  **Thì**  $y = y_2$

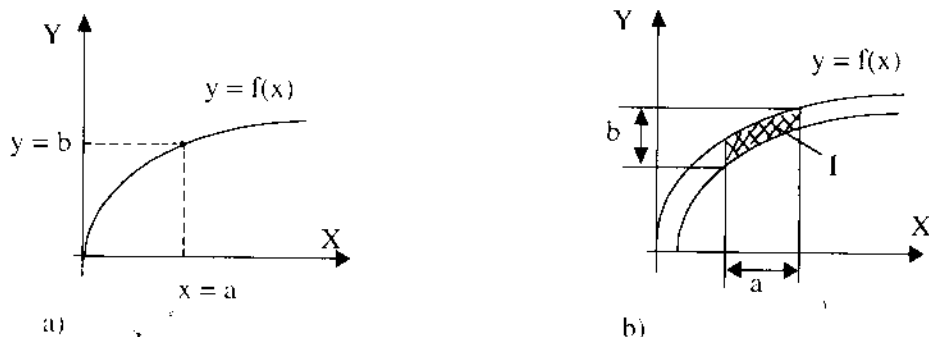
### 5.3.3. Suy luận mờ và luật hợp thành

#### 5.3.3.1. Suy luận mờ

Suy luận mờ cũng thường gọi là suy luận xấp xỉ (Fuzzy reasoning or approximate reasoning) là thủ tục suy luận (inference procedure) để suy diễn ra kết quả từ tập các quy tắc **Nếu...Thì** theo một hay nhiều điều kiện. Trước khi nói về suy luận mờ ta hãy nói về luật hợp thành (compositional rule of inference) để mô tả sự hợp lý thực chất của suy luận mờ.

Luật hợp thành là sự khái quát hoá các khái niệm tương tự sau đây. \*

Giả thiết ta có đường cong  $y = f(x)$ , đó là quan hệ điều khiển giữa  $x$  và  $y$ . Khi cho  $x = a$  với  $y = f(x)$  thì suy ra  $y = b = f(a)$  (hình 5.20a). Tổng quát nếu bây giờ ta cho  $a$  là một khoảng và  $f(x)$  là hàm của khoảng giá trị như ở hình 5.20b. Để tìm khoảng kết quả  $y = b$  tương ứng với khoảng  $x = a$ , trước tiên ta mở rộng vùng  $a$  theo kiểu hình trụ từ  $X$  sang vùng  $X \times Y$  và tìm vùng  $I$  là giao của khoảng giá trị  $a$  và hàm của khoảng giá trị  $f(x)$ , sau đó lấy hình chiếu của vùng  $I$  lên trục  $y$ , ta tìm được  $y = b$  (hình 5.20b).

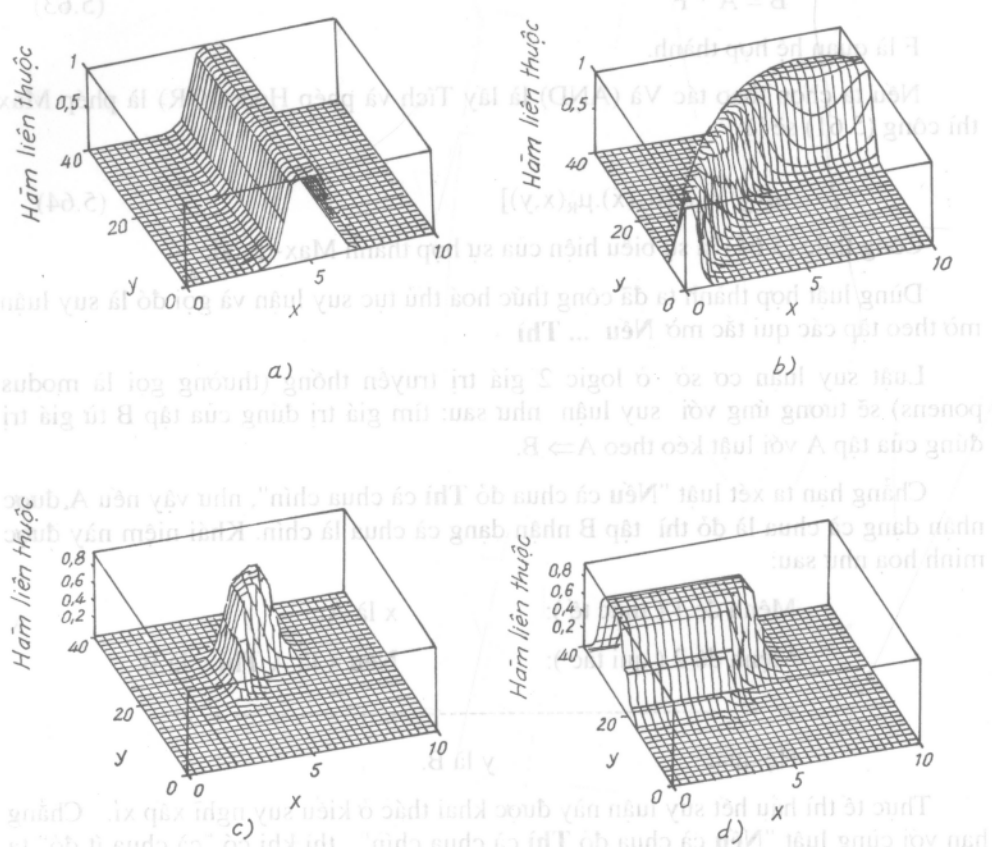


Hình 5.20

Mở rộng suy nghĩ trên ra xa hơn, ta cho rằng  $A$  là tập mờ của  $X$  và  $R$  là quan hệ mờ trên  $X \times Y$ , như ở hình 5.21a, 5.21b. Bây giờ ta cần tìm tập mờ kết quả  $B$ . Chúng ta lại xây dựng kiểu mở rộng hình trụ  $c(A)$  với  $A$  làm cơ sở (nghĩa là việc mở rộng vùng  $A$  từ  $X$  sang  $X \times Y$ ). Mặt giao giữa  $c(A)$  và  $R$  ở hình 5.21c có dạng

tương tự như vùng giao I ở hình 5.20b. Bằng cách chiếu phần giao  $c(A) \cap R$  lên trục y, đó là tập mờ  $\underline{B}$  ở trên trục y như hình 5.21d.

Bây giờ ta cho các hàm liên thuộc  $\mu_A, \mu_{C/A}, \mu_B$  và  $\mu_R$  tương ứng cho các tập  $A, \underline{C}(A), \underline{B}$  và  $\underline{R}$ , trong đó  $\mu_{C/A}(x, y) = \mu_A(x)$ .



Hình 5.21

- a. Mở rộng hình trụ của tập A; b. Quan hệ mờ R;
- c. Min của (a) và (b); d. Hình chiếu của (c) trên trục y

Từ đây ta có:

$$\begin{aligned} \mu_{C/A \cap R}(x, y) &= \text{Min}\{\mu_{C/A}(x, y), \mu_R(x, y)\}; \\ &= \text{Min}\{\mu_A(x), \mu_R(x, y)\}; \end{aligned} \tag{5.60}$$

Hình chiếu của tập  $c/A \cap R$  trên trục  $y$  là:

$$\mu_B(y) = \text{MaxMin} \{ \mu_A(x), \mu_R(x,y) \} \quad (5.61)$$

hay là 
$$\mu_B(y) = \vee [ \mu_A(x) \wedge \mu_R(x, y) ] \quad (5.62)$$

Công thức (5.60) chính là biểu hiện của sự hợp thành Max-Min và tập mờ  $B$  được biểu diễn thành:

$$B = A * F \quad (5.63)$$

$F$  là quan hệ hợp thành.

Nếu ta chọn thao tác Và (AND) là lấy Tích và phép Hoặc (OR) là phép Max thì công (5.61) sẽ là:

$$\mu_B(y) = \vee [ \mu_A(x) \cdot \mu_R(x,y) ] \quad (5.64)$$

Công thức (5.64) là sự biểu hiện của sự hợp thành Max-Prod.

Dùng luật hợp thành ta đã công thức hoá thủ tục suy luận và gọi đó là suy luận mờ theo tập các qui tắc mờ **Nếu ... Thì**

Luật suy luận cơ sở ở logic 2 giá trị truyền thống (thường gọi là modus ponens) sẽ tương ứng với suy luận như sau: tìm giá trị đúng của tập  $B$  từ giá trị đúng của tập  $A$  với luật kéo theo  $A \Rightarrow B$ .

Chẳng hạn ta xét luật "**Nếu** cà chua đỏ **Thì** cà chua chín", như vậy nếu  $A$  được nhận dạng cà chua là đỏ thì tập  $B$  nhận dạng cà chua là chín. Khái niệm này được minh hoạ như sau:

|                        |                                               |
|------------------------|-----------------------------------------------|
| Mệnh đề 1 ( thực tế ): | $x$ là $A$ .                                  |
| Mệnh đề 2 ( qui tắc ): | <b>Nếu</b> $x$ là $A$ <b>Thì</b> $y$ là $B$ . |

---

Hệ quả:  $y$  là  $B$ .

Thực tế thì hầu hết suy luận này được khai thác ở kiểu suy nghĩ xấp xỉ. Chẳng hạn với cùng luật "**Nếu** cà chua đỏ **Thì** cà chua chín", thì khi có "cà chua ít,đỏ" ta có thể suy luận rằng "cà chua ít chín". Vậy ta viết :

|                        |                                               |
|------------------------|-----------------------------------------------|
| Mệnh đề 1 ( thực tế ): | $x$ là $A'$ .                                 |
| Mệnh đề 2 ( qui tắc ): | <b>Nếu</b> $x$ là $A$ <b>Thì</b> $y$ là $B$ . |

---

Hệ quả:  $y$  là  $B'$ .

Tất nhiên  $A'$  phải trong  $A$  (đóng) và  $B'$  phải trong  $B$  (đóng).

Khi  $A, B, A', B'$  là tập mờ thì thủ tục suy luận như trên gọi là suy luận mờ hay suy luận xấp xỉ (thường gọi là modus ponens tổng quát, vì modus ponens cho tập rõ chỉ là trường hợp riêng).

### 5.3.3.2. Suy luận mờ dựa trên luật hợp thành Max - Min

Cho  $A, A'$  và  $B$  là các tập mờ của tập cơ sở  $X, X$  và  $Y$ . Giả thiết luật kéo theo mờ  $A \Rightarrow B$  được thể hiện như một quan hệ mờ  $R$  trên  $X \times Y$ . Vậy thì tập mờ  $B'$  cảm sinh từ " $x$  là  $A'$ " và luật mờ "Nếu  $x$  là  $A$  Thì  $y$  là  $B$ " sẽ được xác định bởi :

$$\mu_{B'}(y) = \text{MaxMin} \{ \mu_{A'}(x), \mu_R(x, y) \} \quad (5.65)$$

$$\text{hoặc} \quad \mu_{B'}(y) = \vee \{ \mu_{A'}(x) \wedge \mu_R(x, y) \}$$

$$\text{hay là:} \quad B' = A' * R = A' * (A \Rightarrow B) \quad (5.66)$$

Lưu ý là công thức (5.66) mới là công thức tổng quát cho suy luận mờ.

#### 1. Trường hợp chỉ một qui tắc và chỉ một điều kiện

Lúc này từ (5.65) ta viết được:

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \text{MaxMin} \{ \mu_{A'}(x), \mu_R(x, y) \} \\ &= \vee \{ \mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x) \} \wedge \mu_B(y) \end{aligned} \quad (5.67)$$

Đặt  $\vee \{ \mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x) \} = H$ , như vậy:

$$\mu_{B'}(y) = \{ H \wedge \mu_B(y) \} \quad (5.68)$$

Phát biểu (5.68) thành lời: Hàm liên thuộc của tập kết quả  $B'$  là  $\mu_{B'}(y)$  có thể tìm được bằng cách lấy phần giao  $\mu_{A'}(x)$  và  $\mu_A(x)$ , rồi lấy giá trị Max của giao này (nghĩa là giá trị  $H$ ), sau đó cho giao với  $\mu_B(y)$  (hình 5.22a).

#### 2. Trường hợp một qui tắc với hai điều kiện

Thường viết dưới dạng "Nếu  $x$  là  $A$  và  $y$  là  $B$  Thì  $z$  là  $C$ ".

Lúc này ta có các mệnh đề:

Mệnh đề 1 (thực tế) :  $x$  là  $A'$  và  $y$  là  $B'$

Mệnh đề 2 (quy tắc): Nếu  $x$  là  $A_1$  và  $y$  là  $B_1$  thì  $z$  là  $C_1$

---

Hệ quả (kết luận):  $z$  là  $C'$ .

Luật mờ với hai mệnh đề trên có thể diễn đạt ở dạng " $A \times B \Rightarrow C$ ", luật này được biến đổi thành quan hệ mờ  $R$  với 3 yếu tố được thể hiện ở hàm liên thuộc :

$$\mu_R(x, y, z) = \mu_{(A \times B) \times C}(x, y, z) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \wedge \mu_C(z)$$

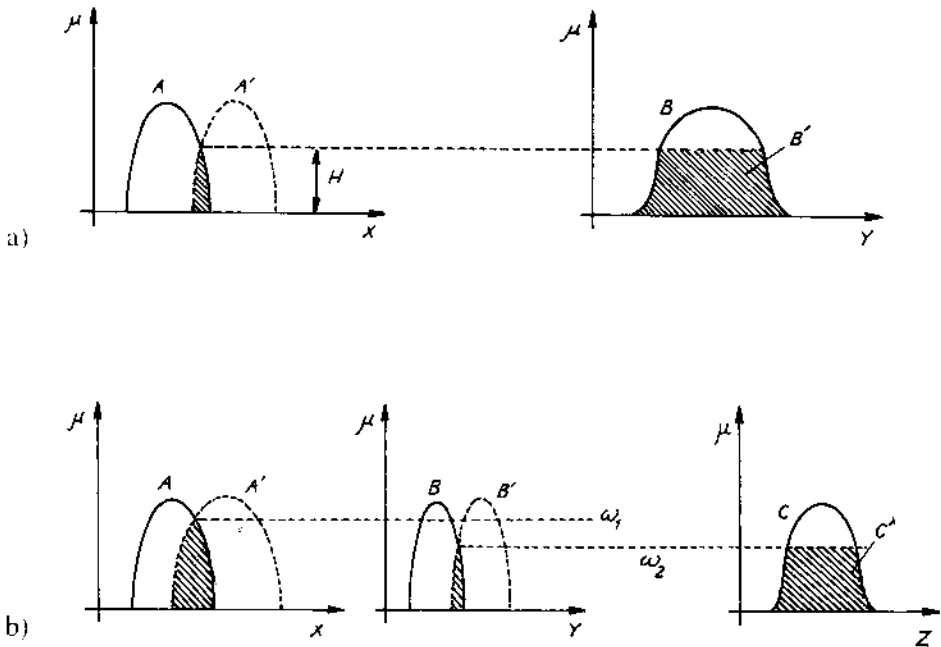
Và tập kết quả  $C'$  được thể hiện là:

$$C' = (A' \times B') * (A \times B \Rightarrow C)$$

Như vậy:

$$\begin{aligned} \mu_{C'}(z) &= \check{x}, \check{y} [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{B'}(y)] \wedge [\mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \wedge \mu_C(z)] \\ &= \check{x}, \check{y} \{ [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{B'}(y) \wedge \mu_A(x) \wedge \mu_B(y)] \} \wedge \mu_C(z) \\ &= \underbrace{\{ \check{x} [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x)] \}}_{H_1} \wedge \underbrace{\{ \check{y} [\mu_{B'}(y) \wedge \mu_B(y)] \}}_{H_2} \wedge \mu_C(z) \\ &= H_1 \wedge H_2 \wedge \mu_C(z) \end{aligned} \quad (5.69)$$

Quan hệ này được diễn đạt ở hình 5.22b.



Hình 5.22

Nếu trường hợp một mệnh đề hợp thành với d mệnh đề điều kiện là:



$$\text{Nếu } X_1 \text{ là } A_1 \text{ Và } X_2 \text{ là } A_2 \text{ Và } \dots \text{ Và } X_n \text{ là } A_n \text{ Thì } Z \text{ là } C \quad (5.70)$$

thì quá trình suy luận cũng tương tự như mệnh đề hợp thành hai điều kiện đầu vào (5.69) và luật hợp thành ở đây có đ điều kiện nên có thêm đ các liên kết Và , nghĩa là có đ phép giao giữa các tập mờ đầu vào.

### 3. Trường hợp nhiều quy tắc với nhiều điều kiện

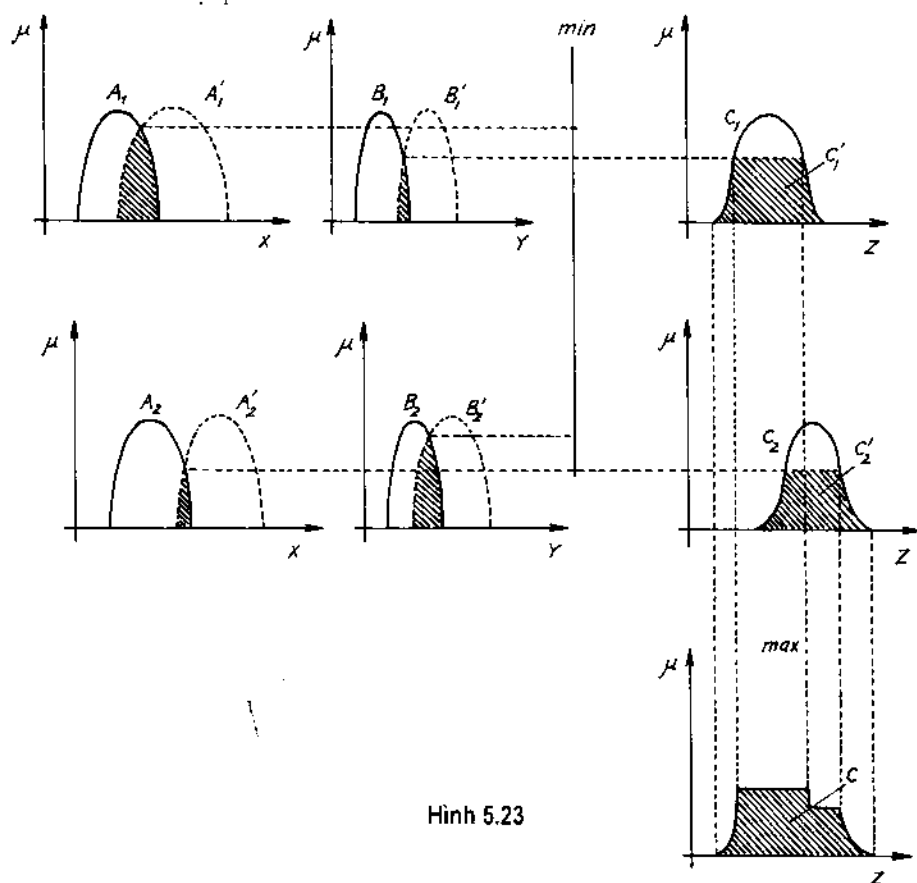
Giả thiết ta có các mệnh đề:

Mệnh đề 1 (thực tế):  $x$  là  $A'$  và  $y$  là  $B'$ ;

Mệnh đề 2 (quy tắc 1): Nếu  $x$  là  $A_1$  và  $y$  là  $B_1$  Thì  $z$  là  $C_1$ ;

Mệnh đề 3 (quy tắc 2): Nếu  $x$  là  $A_2$  và  $y$  là  $B_2$  Thì  $z$  là  $C_2$ ;

Hệ quả:  $z$  là  $C$ .



Hình 5.23

Ta cho qui tắc 1 là  $R_1 = A_1 \times B_1 \Rightarrow C_1$ , quy tắc 2 là  $R_2 = A_2 \times B_2 \Rightarrow C_2$ , như vậy:

$$\begin{aligned} C' &= (A' \times B') * (R_1 \cup R_2) = \{(A' \times B') * R_1\} \cup \{(A' \times B') * R_2\} \\ &= C'_1 \cup C'_2. \end{aligned} \quad (5.71)$$

Việc xác định hàm liên thuộc của tập kết quả  $C'$  được minh hoạ ở hình 5.23.

Khi xuất hiện mệnh đề: " Nếu  $x$  là  $A$  Hoặc  $y$  là  $B$  Thì  $z$  là  $C$  ", với điều kiện chấp nhận luật hợp thành Max-Min thì ta tách mệnh đề này thành hai mệnh đề: " Nếu  $x$  là  $A$  Thì  $z$  là  $C$  " và " Nếu  $y$  là  $B$  Thì  $z$  là  $C$  " và dùng thuật toán Hoặc (lấy Max) theo điều kiện vào.

### Câu hỏi và bài tập

1. Định nghĩa tập mờ. Nêu các khái niệm cơ sở, tập con mờ, hàm chỉ thị và hàm liên thuộc.
2. Xác định mô hình biểu thị khái niệm học lực của sinh viên trong một lớp dưới dạng tập mờ: giỏi, kém, trung bình.
3. Cho các tập mờ  $F, G, H$  xác định trong khoảng  $[0, 10]$  có hàm liên thuộc dưới đây.

$$\mu_F(x) = \frac{x}{x+2}; \quad \mu_G(x) = 2^{-x}; \quad \mu_H(x) = \frac{1}{1+10(x-2)^2}$$

Hãy xác định biểu thức toán học và graph các hàm liên thuộc của các tập:

- a)  $F, G, H$
- b)  $F \cup G, F \cup H, G \cup H$
- c)  $F \cap G, F \cap H, G \cap H$

4. Cho 2 quan hệ mờ  $Q_1, Q_2$  dạng:

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0,7 \\ 0,3 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 \end{pmatrix}; \quad Q_2 = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,1 \\ 0 & 0,1 & 0 \end{pmatrix}$$

Hãy tính sự hợp thành  $Q_1, Q_2$  theo Max-Min và Max-Prod.

5. Cho  $U = \{x_1, x_2, x_3\}$  và  $V = \{y_1, y_2\}$  và thoả mãn quan hệ "Nếu  $x$  là  $A$  Thì  $y$  là  $B$  "; trong đó  $A = \{x_1/0,5; x_2/1; x_3/0,6\}$  và  $B = \{y_1/1; y_2/0,4\}$ .

Thực tế "  $x$  là  $A'$  " với  $A' = \{x_1/0,6; x_2/0,9; x_3/0,7\}$ . Hãy tìm "  $y$  là  $B'$  " theo luật Max-Min và Max-Prod.

## Chương 6. BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ

### 6.1. SƠ ĐỒ CHỨC NĂNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ

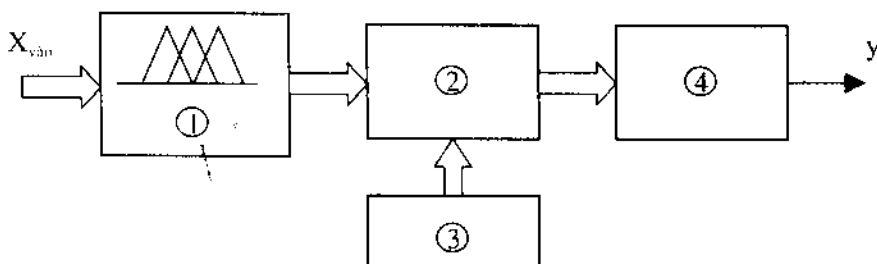
Điều khiển mờ dựa trên cơ sở lý thuyết logic mờ, hiện đang có vai trò quan trọng trong các hệ điều khiển hiện đại, vì nó đảm bảo tính khả thi của hệ thống rất cao, đồng thời lại thực hiện tốt các chỉ tiêu kỹ thuật của hệ như độ tác động nhanh cao, tính bền vững (robust) và ổn định tốt, dễ dàng thiết kế và thay đổi v.v... Hệ điều khiển mờ sử dụng được "các kinh nghiệm vận hành đối tượng và các xử lý điều khiển của chuyên gia" trong thuật toán điều khiển, do vậy hệ điều khiển mờ tiến gần với tư duy điều khiển của con người. Điều khiển mờ có thể mạnh trong các hệ thống sau:

- 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 mô hình hoặc không xác định được mô hình đối tượng.

Về nguyên lý, hệ thống điều khiển mờ cũng gồm các khối chức năng tương tự như các hệ điều khiển truyền thống, điểm sai khác duy nhất ở đây là sử dụng bộ điều khiển mờ.

Sơ đồ khối của bộ điều khiển mờ như ở hình 6.1, gồm 4 khối: khối mờ hóa, khối hợp thành, khối luật mờ và khối giải mờ.

**Khối mờ hóa** có nhiệm vụ biến đổi các giá trị rõ đầu vào thành một miền giá trị mờ với hàm liên thuộc đã chọn ứng với biến ngôn ngữ đầu vào đã được định nghĩa.



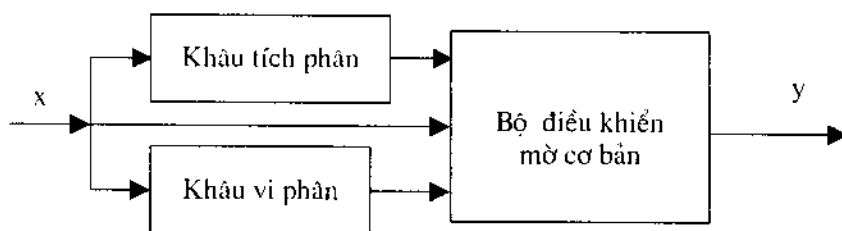
Hình 6.1. Sơ đồ khối chức năng của bộ điều khiển mờ

1. Khối mờ hóa; 2. Khối hợp thành; 3. Khối luật mờ; 4. Giải mờ

**Khối hợp thành** dùng để biến đổi các giá trị mờ hóa của biến ngôn ngữ đầu vào thành các giá trị mờ của biến ngôn ngữ đầu ra theo các luật hợp thành nào đó.

**Khối luật mờ** (suy luận mờ) bao gồm tập các luật "**Nếu ... Thì**" dựa vào các luật mờ cơ sở, được người thiết kế viết ra cho thích hợp với từng biến và giá trị của các biến ngôn ngữ theo quan hệ mờ Vào/Ra.

Khối luật mờ và khối hợp thành là phần cốt lõi của bộ điều khiển mờ, vì nó có khả năng mô phỏng những suy đoán của con người để đạt được mục tiêu điều khiển mong muốn nào đó.



Hình 6.2

**Khối giải mờ** biến đổi các giá trị mờ đầu ra thành các giá trị rõ để điều khiển đối tượng. Một bộ điều khiển mờ chỉ gồm 4 khối thành phần như vậy được gọi là bộ điều khiển mờ cơ bản.

Để mở rộng ứng dụng cho các bài toán điều khiển, người ta thường bổ sung thêm vào bộ điều khiển mờ cơ bản các khâu tích phân, đạo hàm... có dạng như ở hình 6.2. Bộ điều khiển mờ cơ sở đồ khối như hình 6.2.

## 6.2. MỜ HÓA (FUZZIFIERS)

Mờ hoá được định nghĩa như là sự ánh xạ (sự làm tương ứng) từ tập các giá trị thực  $x \in U \subset \mathbb{R}^n$  thành tập các giá trị mờ  $A'$  ở trong  $U$ . Nguyên tắc chung việc thực hiện mờ hoá là:

- Từ tập giá trị thực  $x$  đầu vào sẽ tạo ra tập mờ  $A'$  với hàm liên thuộc có giá trị đủ rộng tại các điểm rõ  $x$ .
- Nếu có nhiều ở đầu vào thì việc mờ hoá sẽ góp phần khử nhiễu.
- Việc mờ hoá phải tạo điều kiện đơn giản cho tính toán sau này.

Thông thường dùng ba phương pháp mờ hoá sau đây:

1. **Mờ hoá đơn trị** (Singleton fuzzifier). Mờ hoá đơn trị là từ các điểm giá trị thực  $x \in U$  lấy các giá trị đơn trị của tập mờ  $A'$ , nghĩa là hàm liên thuộc có dạng:

$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x = x^* \\ 0 & \text{nếu ở các chỗ khác} \end{cases} \quad (6.1)$$

2. *Mờ hoá Gaus (Gaussian fuzzifier)*. Mờ hoá Gaus là từ các điểm giá trị thực  $x^* \in U$  lấy các giá trị trong tập mờ  $\underline{A}'$  với hàm liên thuộc Gaus (5.24).

3. *Mờ hoá hình tam giác (Triangular fuzzifier)*. Mờ hoá hình tam giác là từ các điểm giá trị thực  $x^* \in U$  lấy các giá trị trong tập mờ  $\underline{A}'$  với hàm liên thuộc dạng hình tam giác (hoặc hình thang) (5.19), (5.20).

Ta thấy mờ hoá đơn trị cho phép tính toán về sau rất đơn giản nhưng không khử được nhiều đầu vào, mờ hoá Gaus hoặc mờ hoá hình tam giác không những cho phép tính toán về sau tương đối đơn giản mà còn đồng thời có thể khử nhiều đầu vào.

### 6.3. GIẢI MỜ (DEFUZZIFIERS)

Giải mờ được định nghĩa như là sự ánh xạ (sự làm tương ứng) từ tập mờ  $\underline{B}'$  trong tập cơ sở  $V$  (thuộc tập số thực  $R$ ;  $V \subset R$ ; đó là đầu ra của khối hợp thành và suy luận mờ) thành giá trị rõ đầu ra  $y \in V$ . Như vậy nhiệm vụ của giải mờ là tìm một điểm rõ  $y \in V$  làm đại diện tốt nhất cho tập mờ  $\underline{B}'$ . Có ba điều lưu ý sau đây lúc chọn phương pháp giải mờ:

- Tính hợp lý của kết quả. Điểm rõ  $y^* \in V$  là điểm đại diện (cho "năng lượng") của tập mờ  $\underline{B}'$ , điều này có thể cảm nhận trực giác tính hợp lý của kết quả khi đã có hàm liên thuộc của tập mờ  $\underline{B}'$  (xem các ví dụ sau).
- Việc tính toán đơn giản. Đây là điều rất quan trọng để tính toán nhanh, vì các bộ điều khiển mờ thường làm việc ở thời gian thực.
- Tính liên tục. Một sự thay đổi nhỏ trong tập mờ  $\underline{B}'$  chỉ làm thay đổi nhỏ kết quả giải mờ, nghĩa là không gây ra thay đổi đột biến giá trị giải mờ  $y \in V$ .

Như vậy giải mờ là quá trình xác định một giá trị rõ ở đầu ra theo hàm liên thuộc hợp thành đã tìm được từ các luật hợp thành và điều kiện đầu vào. Có ba phương pháp giải mờ thường dùng là: *phương pháp cực đại*, *phương pháp trọng tâm* và *phương pháp trung bình tâm*.

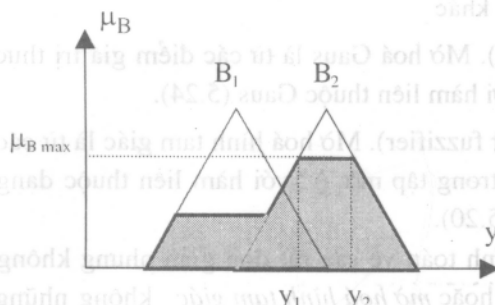
#### 6.3.1. Phương pháp cực đại

Phương pháp cực đại gồm hai bước:

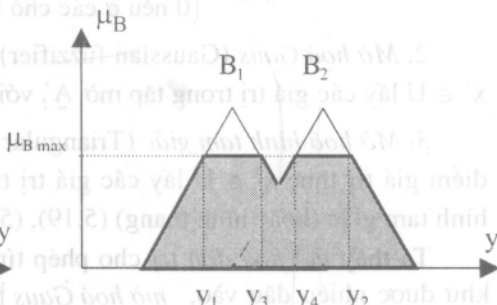
**Bước 1.** Xác định miền chứa giá trị rõ đầu ra. Đó là miền  $G$ , mà giá trị rõ đầu ra  $y$  có hàm liên thuộc đạt giá trị cực đại, nghĩa là:

$$G = \{y \in Y \mid \mu_B(y) = \max\}$$

Trên hình 6.3, miền G ở đây là khoảng  $[y_1, y_2]$ .



Hình 6.3



Hình 6.4

**Bước 2.** Xác định giá trị  $y$  từ miền  $G$ . Lúc này có ba cách tính:

+ Cách tính trung bình, chẳng hạn như trên hình 6.3 thì:

$$y = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (6.2)$$

+ Lấy giá trị cận trái. Trên hình 6.3 lấy  $y = y_1$ .

+ Lấy giá trị cận phải. Trên hình 6.3 lấy  $y = y_2$ .

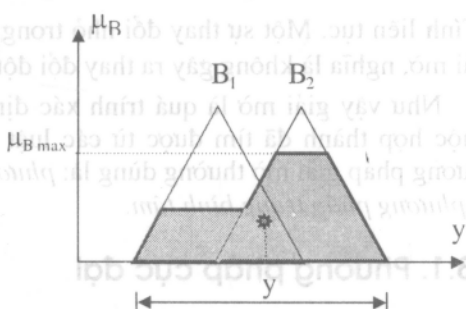
Tất nhiên trong một số trường hợp, phương pháp cực đại này sẽ gặp khó khăn chẳng hạn như khi hàm liên thuộc hợp thành có dạng như ở hình 6.6. Lúc này cần phải dùng thêm một số tiêu chuẩn ưu tiên khác, chẳng hạn như ta ưu tiên lấy vùng  $G_1$  hay  $G_2$  (có thể theo kinh nghiệm thực tế hay ý kiến chuyên gia v.v...) và từ đó mới áp dụng cách tính toán trên.

### 6.3.2. Phương pháp trọng tâm

Lúc này giá trị rõ đầu ra được lấy theo điểm trọng tâm của hình bao bởi hàm liên thuộc hợp thành và trục hoành (hình 6.5).

Công thức tính giá trị  $y$  như sau:

$$y = \frac{\int_S y \cdot \mu_B(y) dy}{\int_S \mu_B(y) dy} \quad (6.3)$$

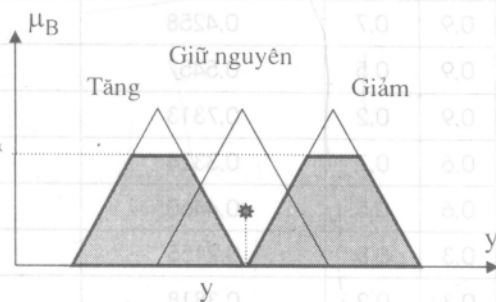


Hình 6.5

trong đó  $S$  là miền xác định của tập mờ.

Phương pháp trọng tâm có ưu điểm là có tính đến ảnh hưởng của tất cả các luật điều khiển đến giá trị đầu ra, tuy vậy cũng có nhược điểm là khi gặp các dạng hàm

liên thuộc hợp thành như trên hình 6.6 (dạng đối xứng) thì kết quả sai nhiều; vì giá trị tính được lại đúng vào chỗ hàm liên thuộc có giá trị thấp nhất, thậm chí bằng 0, điều này hoàn toàn sai về suy nghĩ và thực tế. Để tránh điều này, khi định nghĩa các hàm liên thuộc cho từng giá trị mờ của một biến ngôn ngữ nên chú ý sao cho luật hợp thành đầu ra tránh được dạng này, có thể bằng cách kiểm tra sơ bộ qua mô phỏng. Hơn nữa, việc tính toán công thức (6.3) tương đối phức tạp, đặc biệt khi hàm liên thuộc hợp thành có dạng phức tạp, điều đó làm ảnh hưởng đến tốc độ điều khiển.



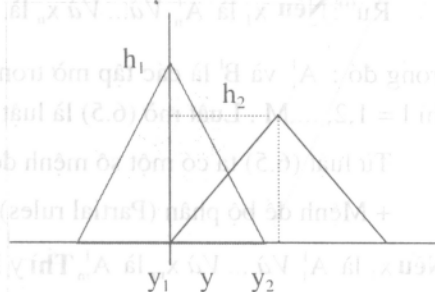
Hình 6.6

### 6.3.3. Phương pháp lấy trung bình tâm

Vì tập mờ hợp thành  $B'$  thường là hợp hoặc giao của  $M$  tập mờ, do vậy ta có thể tính gần đúng giá trị  $y$  là trung bình theo trọng số của tâm của  $M$  tập mờ hợp thành. Gọi  $y^{-1}$  là điểm trung bình (điểm giữa) và  $h_i$  là chiều cao của tập mờ thứ  $i$ , giá trị giải mờ  $y$  theo phương pháp trung bình tâm là:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^M y^{-1} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^M h_i} \quad (6.4)$$

$$y = \frac{y_1 h_1 + y_2 h_2}{h_1 + h_2}$$



Hình 6.7

Hình 6.7 minh họa cho phương pháp giải mờ trung bình tâm với  $M = 2$ . Phương pháp giải mờ trung bình tâm là phương pháp được sử dụng nhiều nhất trong điều khiển mờ.

Ví dụ, cho tập mờ hợp thành  $B'$  là hợp của 2 tập mờ như ở hình 6.7. Kết quả tính toán giải mờ theo hai phương pháp trọng tâm và trung bình tâm như ở bảng 6.1. Ta thấy sai lệch kết quả giữa hai phương pháp tối đa chỉ vào khoảng 16%.

**Bảng 6.1**

| $h_1$ | $h_2$ | $y_{tr}$<br>(theo trọng tâm) | $y_{tb}$<br>(theo trung bình tâm) | Sai lệch tương đối<br>$(y_{tb}-y_{tr})/y_{tr}$ |
|-------|-------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|
| 0,9   | 0,7   | 0,4258                       | 0,4375                            | 0,0275                                         |
| 0,9   | 0,5   | 0,5457                       | 0,5385                            | 0,0133                                         |
| 0,9   | 0,2   | 0,7313                       | 0,7000                            | 0,0428                                         |
| 0,6   | 0,7   | 0,3324                       | 0,3571                            | 0,0743                                         |
| 0,6   | 0,5   | 0,4460                       | 0,4545                            | 0,0192                                         |
| 0,3   | 0,5   | 0,2155                       | 0,2500                            | 0,1600                                         |
| 0,3   | 0,2   | 0,3818                       | 0,4000                            | 0,0476                                         |

## 6.4. KHỐI LUẬT MỜ

Ta xét hệ mờ với nhiều đầu vào và một đầu ra (hệ MISO) có cấu trúc bộ điều khiển như trên hình 6.1, trong đó  $U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n \subset R^n$  và  $V \subset R$ . Nếu hệ có  $m$  đầu ra từ  $y_1, \dots, y_m$  thì ta có thể tách ra thành  $m$  hệ, mỗi hệ có  $n$  đầu vào và một đầu ra như trên hình 6.8.

Luật mờ cơ sở là luật chứa một tập các luật "Nếu ... Thì" có dạng sau đây:

$$Ru^{(i)}: \text{Nếu } x_1 \text{ là } A_1^i \text{ Và } \dots \text{ Và } x_n \text{ là } A_n^i \text{ Thì } y \text{ là } B^i; \quad (6.5)$$

trong đó:  $A_j^i$  và  $B^i$  là các tập mờ trong  $U_j \subset R^n$  và  $V \subset R$ , nếu có  $M$  luật mờ cơ sở thì  $i = 1, 2, \dots, M$ . Luật mờ (6.5) là luật mờ chính tắc.

Từ luật (6.5) ta có một số mệnh đề khác, chẳng hạn:

+ Mệnh đề bộ phận (Partial rules):

$$\text{Nếu } x_1 \text{ là } A_1^i \text{ Và } \dots \text{ Và } x_m \text{ là } A_m^i \text{ Thì } y \text{ là } B^i; \quad \text{với } m < n; \quad (6.6)$$

+ Mệnh đề Hoặc (Or rules):

$$\text{Nếu } x_1 \text{ là } A_1^i \text{ Và } \dots \text{ Và } x_m \text{ là } A_m^i \text{ Hoặc } x_{m+1} \text{ là } A_{m+1}^i \text{ Và } x_{m+1} \text{ là } A_{m+1}^i \text{ Và } \dots \text{ Và } x_n \text{ là } A_n^i \text{ Thì } y \text{ là } B^i; \quad (6.7)$$

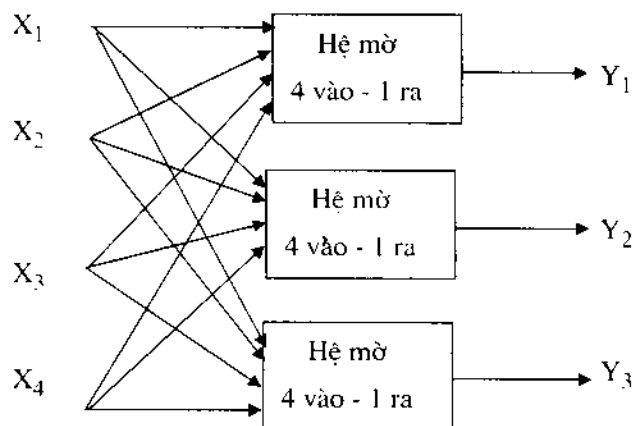
+ Mệnh đề đơn trị (single fuzzy statement):

$$y \text{ là } B^i \quad (6.8)$$

+ Mệnh đề thay đổi từ từ (Gradual rules):

$$\text{Chẳng hạn: Nếu } x \text{ càng nhỏ Thì } y \text{ càng lớn.} \quad (6.9)$$





Hình 6.8

Tổng quát mà xét, trong khuôn khổ của tài liệu này, hệ thống mờ mà ta xét đều sử dụng luật Nếu ... Thì ở (6.5).

## 6.5. KHỐI HỢP THÀNH

Theo cấu trúc bộ điều khiển mờ (hình 6.1), khối hợp thành có nhiệm vụ đưa vào tập mờ đầu vào (trong tập cơ sở U) và tập các luật mờ (do người thiết kế lập ra) để tạo thành tập mờ đầu ra (trong tập cơ sở V). Theo ngôn ngữ toán học thì nhiệm vụ của khối hợp thành là thực hiện ánh xạ tập mờ đầu vào (trong U) thành tập mờ đầu ra (trong V) theo các luật mờ đã có.

### 6.5.1. Ma trận hợp thành

Như đã nói ở trên, khi có một tập mờ đầu vào A thì đầu ra của hệ mờ sẽ xuất hiện tập mờ B theo quan hệ hợp thành (5.60). Việc thủ tục hoá các suy luận hợp thành  $A \Rightarrow B$  được thực hiện thông qua tập các hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$ ,  $\mu_B(y)$  và  $\mu_R(x,y)$  và trong tính toán kỹ thuật tập hàm liên thuộc  $\mu_R(x,y)$  được sắp xếp thành ma trận hợp thành R.

#### 6.5.1.1. Ma trận hợp thành R khi chỉ một mệnh đề và một điều kiện

Cách thành lập ma trận R như sau:

Giả thiết xét n điểm mẫu của tập mờ đầu vào  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  với hàm liên thuộc  $\{\mu_A(x_1), \mu_A(x_2), \dots, \mu_A(x_n)\}$  và m điểm mẫu đầu ra  $\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$  với hàm liên thuộc  $\{\mu_B(y_1), \mu_B(y_2), \dots, \mu_B(y_m)\}$  thì ma trận hợp thành R có n hàng m cột như sau:

$$R = \left\{ \begin{matrix} \mu_R(x_1, y_1) & \dots & \mu_R(x_1, y_m) \\ \vdots & & \vdots \\ \mu_R(x_n, y_1) & \dots & \mu_R(x_n, y_m) \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{matrix} \right\} \quad (6.10)$$

Hàm liên thuộc  $\mu_B(y)$  đầu ra ứng với giá trị đầu vào rõ, đầu vào  $x_k$  được xác định theo:

$$\mu_B(y) = a^T \cdot R$$

với  $a^T$  là ma trận  $\{1 \times n\}$  có dạng:  $a^T = \{0, 0, \dots, 0, \underset{\text{vị trí thứ } k}{1}, 0, \dots, 0\}$  (6.11)

Có thể viết:

$$\mu_B(y) = a^T \cdot R = (l_1, l_2, \dots, l_m)$$

với  $l_k = \text{MaxMin}_{i=1, \dots, n} \{a_i, r_{ik}\}$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$  (6.12)

Với  $n$  điểm rời rạc đầu vào:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  và  $m$  điểm rời rạc đầu ra:  $y_1, y_2, \dots, y_m$  ta có:

$$\begin{aligned} \mu_A^T &= [\mu_A(x_1), \mu_A(x_2), \dots, \mu_A(x_n)] \text{ và} \\ \mu_B^T &= [\mu_B(y_1), \mu_B(y_2), \dots, \mu_B(y_m)] \end{aligned} \quad (6.13)$$

Từ đây suy ra:

$$R = \mu_A * \mu_B^T \quad (6.14)$$

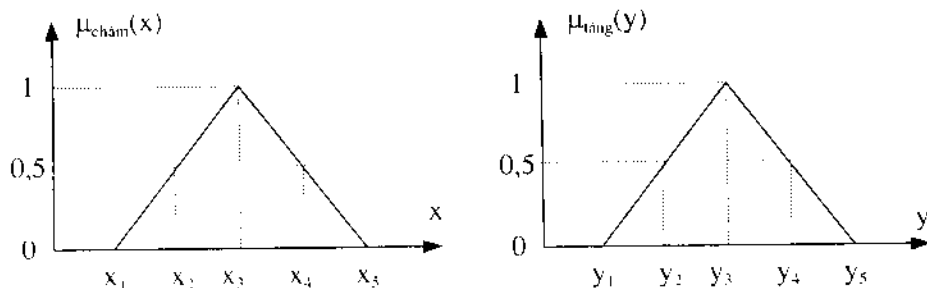
Trong đó với qui tắc Max-Min thì ở biểu thức (6.14) dấu " $*$ " được thay bằng cách lấy cực tiểu, còn với qui tắc Max-Prod thì dấu " $*$ " thực hiện bằng phép nhân bình thường.

Ví dụ, chẳng hạn xét quan hệ điều khiển lúc lái xe ô tô.

Gọi vận tốc ô tô là  $x$  và độ tăng ga của xe là  $y$ , để giữ tốc độ xe không đổi, hiển nhiên ta có luật điều khiển là: Nếu  $x$  (tốc độ) là chậm Thì  $y$  (ga) tăng. Giả thiết ta có hàm liên thuộc  $\mu_{\text{chậm}}(x)$  và  $\mu_{\text{tăng}}(y)$  (hình 6.9).

Để tìm được ma trận hợp thành  $R$ , trước tiên ta rời rạc hóa các hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  và  $\mu_B(y)$  với các khoảng giá trị đủ nhỏ để không bị mất thông tin. Chẳng hạn với biến vận tốc ta lấy 5 giá trị và độ mở cửa ga ta cũng lấy 5 giá trị như trên hình 6.9, nghĩa là ta có:

$$\begin{aligned} A &= \{(x_1/0); (x_2/0,5); (x_3/1); (x_4/0,5); (x_5/0)\} \\ B &= \{(y_1/0); (y_2/0,5); (y_3/1); (y_4/0,5); (y_5/0)\} \end{aligned}$$



Hình 6.9

Với các điểm rời rạc đã chọn như ở hình 6.9, ta có:

$$\begin{aligned}
 \mu_R(x_1, y_1) &= \text{Min}(\mu_{\text{chăm}}(x_1), \mu_{\text{tàng}}(y_1)) = \text{Min}(0, 0) = 0; \\
 \mu_R(x_1, y_2) &= \text{Min}(\mu_{\text{chăm}}(x_1), \mu_{\text{tàng}}(y_2)) = \text{Min}(0, 0,5) = 0; \\
 &\dots = \dots; \\
 \mu_R(x_2, y_3) &= \text{Min}(\mu_{\text{chăm}}(x_2), \mu_{\text{tàng}}(y_3)) = \text{Min}(0,5, 1) = 0,5; \\
 &\dots = \dots; \\
 \mu_R(x_3, y_4) &= \text{Min}(\mu_{\text{chăm}}(x_3), \mu_{\text{tàng}}(y_4)) = \text{Min}(1, 0,5) = 0,5; \\
 &\dots = \dots;
 \end{aligned}$$

Như vậy:  $\mu_R(x,y)$  có tất cả  $5 \times 5 = 25$  giá trị tạo thành ma trận hợp thành 5 hàng 5 cột (bảng 1).

Bảng 1.

| R     | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_1$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_2$ | 0     | 0,5   | 1     | 0,5   | 0     |
| $x_3$ | 0     | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0     |
| $x_4$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_5$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Mỗi giá trị trong bảng ma trận R ứng với  $\text{Min}((\mu_{\text{chăm}}(x_i), \mu_{\text{tàng}}(y_k)))$  và khi với một giá trị đầu vào  $x_0$  ta tìm được tập các hàm liên thuộc của giá trị đầu ra y, chính là giá trị các cột ứng với hàng  $x_0$ . Giả sử với  $X = x_4$  thì tập tín hiệu đầu ra  $B'$  có hàm liên thuộc:

$$\mu_{B'}(y) = \mu_R(x_4, y) = (0; 0,5; 0,5; 0,5; 0);$$

Tương tự như luật hợp thành Max-Min, luật hợp thành Max-Prod cũng có thể được thể hiện bằng một ma trận  $R$  gồm  $n$  hàng của  $n$  giá trị rõ đầu vào và  $m$  cột của  $m$  giá trị rõ đầu ra, nhưng ở đây mỗi giá trị trong bảng ma trận được lấy bằng tích số của hàm liên thuộc của tập nguyên nhân  $A$  và hàm liên thuộc của tập kết quả  $B$ , nghĩa là bằng:  $\mu_A(x_i) * \mu_B(y_k)$  và giá trị hợp thành của hàm liên thuộc đầu ra ứng với mỗi giá trị  $y_k$  sẽ bằng  $\text{Max}(\mu_A(x_i) * \mu_B(y_k))$  khi  $i = 1 \div n$ .

Ma trận  $R$  cho luật hợp thành Max-Prod lúc này như ở bảng sau:

| $R$   | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_1$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $x_2$ | 0     | 0,25  | 0,5   | 0,25  | 0     |
| $x_3$ | 0     | 0,5   | 1     | 0,5   | 0     |
| $x_4$ | 0     | 0,25  | 0,5   | 0,25  | 0     |
| $x_5$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Ma trận hợp thành  $R$  có thể xác định trực tiếp từ (6.12). Lúc đó:

$$\mu_A^I = (0; 0,5; 1; 0,5; 0) \text{ và } \mu_B^I = (0; 0,5; 1; 0,5; 0)$$

Với qui tắc Max-Min thì  $R$  bằng:

$$R = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,5 \\ 1 \\ 0,5 \\ 0 \end{pmatrix} * (0; 0,5; 1; 0,5; 0) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Với qui tắc Max-Prod thì  $R$  bằng:

$$R = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,5 \\ 1 \\ 0,5 \\ 0 \end{pmatrix} * (0; 0,5; 1; 0,5; 0) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 & 0,5 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0,25 & 0,5 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

*Ghi chú:* Phép (\*) ở luật Max-Min thì phép giao lấy Min; phép (\*) ở luật Max-Prod thì phép giao lấy bằng tích.

#### 6.5.1.2. Ma trận hợp thành $R$ khi chỉ một mệnh đề và hai điều kiện

"Nếu  $x$  là  $A$  và  $y$  là  $B$  Thì  $z$  là  $C$  "

Các bước xây dựng luật hợp thành cho mệnh đề này cụ thể như sau:

- Rời rạc hóa các hàm liên thuộc: Giả thiết  $\mu_A(x)$ ,  $\mu_B(y)$  và  $\mu_C(z)$  mỗi loại được rời rạc hóa thành 5 điểm, đó là:

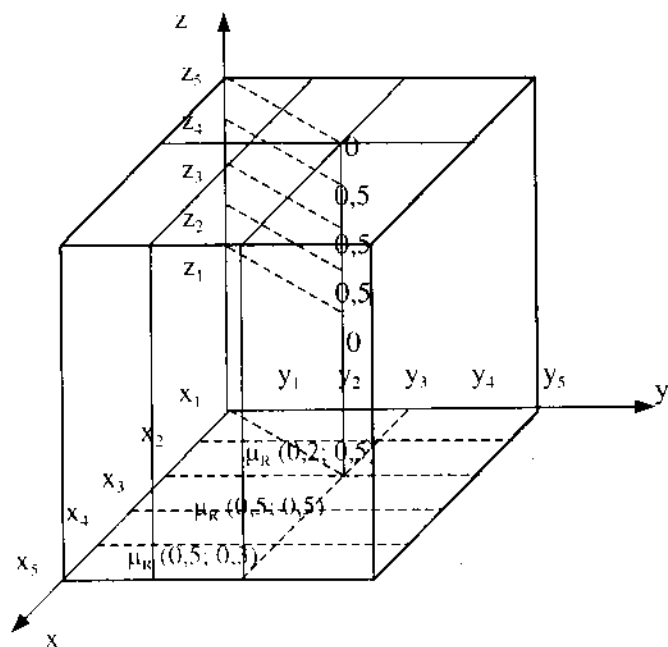
$$x = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$$

$$y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$$

$$z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$$

- Lập R gồm các hàm liên thuộc cho từng vector giá trị đầu vào.

Như vậy là có  $5 \times 5 = 25$  cặp điểm giá trị vào và ứng với từng cặp điểm giá trị vào này ta được các giá trị của hàm liên thuộc  $\mu_C(z)$  của biến ra  $C'$ .



Hình 6.10

Ví dụ, cho cặp  $(x_2, y_3)$  ta có:

$$\mu_C(z) = \mu_R(x_2, y_3) = \{0; 0,5; 0,5; 0,5; 0\}$$

Với cặp điểm  $(x_5, y_3)$  ta có:

$$\mu_C(z) = \mu_R(x_5, y_3) = \{0; 0; 0; 0; 0\}$$

và với cặp điểm  $(x_s, y_t)$  ta có:

$$\mu_c(z) = \mu_R(x_s, y_t) = \{0; 0; 0; 0; 0\}$$

Biểu diễn tất cả 25 hàm trên của R trong không gian ba chiều thì R là một lưới ba chiều, trong đó tại mỗi điểm nút trên lưới là giá trị  $\mu_R(x, y)$  như trên hình 6.10.

### 6.5.1.3. Ma trận hợp thành R khi nhiều mệnh đề và nhiều điều kiện

Khái quát chung thì một bộ điều khiển mờ thường tổ hợp từ P mệnh đề và mỗi mệnh đề một điều kiện, tạo thành dạng:

$$R_1: \text{Nếu } x_1 \text{ là } A_1 \text{ Thì } y \text{ là } B_1 \text{ hoặc} \quad (6.15a)$$

$$R_2: \text{Nếu } x_2 \text{ là } A_2 \text{ Thì } y \text{ là } B_2 \text{ hoặc} \quad (6.15b)$$

...

$$R_p: \text{Nếu } x_p \text{ là } A \text{ Thì } y \text{ là } B_p \quad (6.15p)$$

trong đó các giá trị  $A_1, A_2, \dots, A_p$  có cùng tập cơ sở X, còn các giá trị  $B_1, B_2, \dots, B_p$  có cùng tập cơ sở Y. Gọi hàm liên thuộc của  $A_k, B_k$  là  $\mu_{A_k}(X), \mu_{B_k}(Y)$  với  $k = 1, 2, \dots, p$ .

Thuật toán  $R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_p$  được thực hiện như sau:

- Rời rạc hóa X tại n điểm  $x_1, x_2, \dots, x_n$  và Y tại m điểm  $y_1, y_2, \dots, y_m$ .
- Xác định các vectơ  $\mu_{A_k}$  và  $\mu_{B_k}$  với  $k = 1, 2, \dots, p$ , nghĩa là:

$$\mu_{A_k}^1 = \{\mu_{A_k}(x_1), \mu_{A_k}(x_2), \dots, \mu_{A_k}(x_n)\}$$

$$\mu_{B_k}^1 = \{\mu_{B_k}(y_1), \mu_{B_k}(y_2), \dots, \mu_{B_k}(y_m)\}$$

- Xác định mô hình cho luật điều khiển:

$$R_k = \mu_{A_k} \cdot \mu_{B_k}^1 = (r_{ij}^k) \text{ với } i = 1, \dots, n \text{ và } j = 1, \dots, m$$

- Xác định ma trận hợp thành:

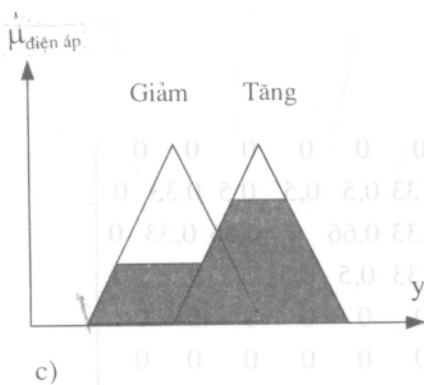
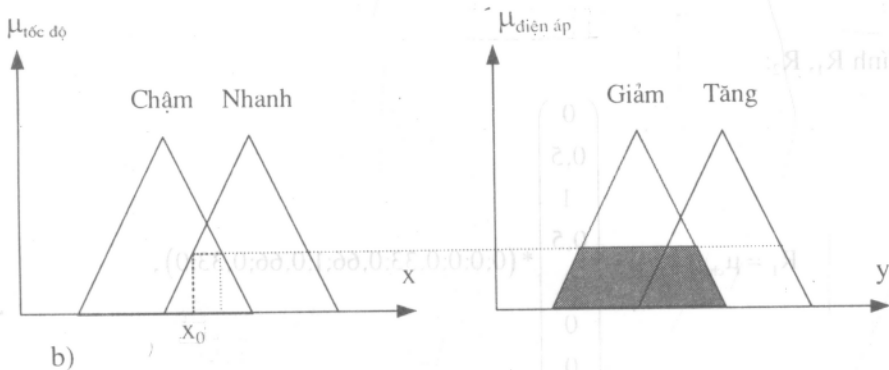
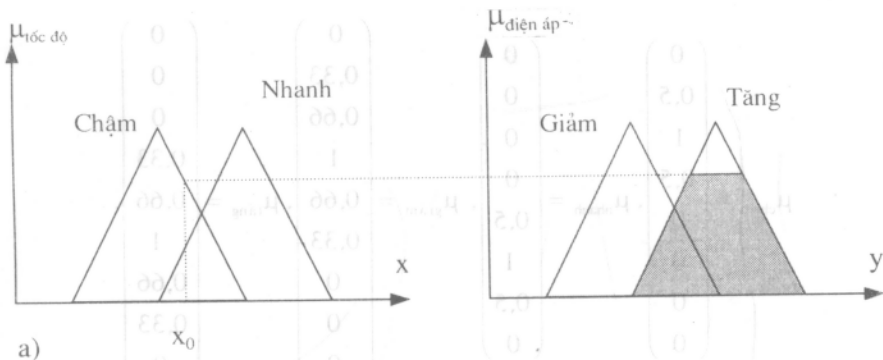
$$R = [\max\{r_{ij}^k \text{ với } k = 1, 2, \dots, p\}] \quad (6.16)$$

Ví dụ, theo nguyên lý vừa trình bày, ta có thể xét ví dụ về việc điều khiển tốc độ động cơ một chiều, chẳng hạn xét kết quả hợp thành của hai mệnh đề điều khiển là:

$$R_1: \text{Nếu } X \text{ Chậm Thì } Y \text{ Tăng hoặc}$$

$$R_2: \text{Nếu } X \text{ Nhanh Thì } Y \text{ Giảm}$$

trong đó biến ngôn ngữ X để chỉ tốc độ, còn Y để chỉ điện áp. Chọn hàm liên thuộc dạng hình tam giác, từ các hàm liên thuộc  $\mu_{\text{tốc độ}}$  và  $\mu_{\text{điện áp}}$  ta vẽ được hàm liên thuộc hợp thành đầu ra ở một giá trị tốc độ đầu vào  $X_j$  như hình 6.11.



Hình 6.11

Nếu ta cho:  $X = \{0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$

$Y = \{0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,2\}$

Mờ hoá các giá trị trên, ta được các vector hàm liên thuộc (hình 6.11):

$$\mu_{\text{hàm}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,5 \\ 1 \\ 0,5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \mu_{\text{chức}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,5 \\ 1 \\ 0,5 \\ 0 \end{pmatrix}, \mu_{\text{phần}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,33 \\ 0,66 \\ 1 \\ 0,66 \\ 0,33 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \mu_{\text{tổng}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,33 \\ 0,66 \\ 1 \\ 0,66 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

- Tính  $R_1, R_2$ :

$$R_1 = \mu_{\text{hàm}} \cdot \mu_{\text{tổng}}^T = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,5 \\ 1 \\ 0,5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} * (0;0;0;0,33;0,66;1;0,66;0,33;0),$$

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,33 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,66 & 1 & 0,66 & 0,33 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,33 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$



$$R_2 = \mu_{nhánh} \cdot \mu_{giảm}^T = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,5 \\ 0 \\ 0 \\ 0,5 \\ 1 \\ 0,5 \\ 0 \end{pmatrix} * (0; 0,33; 0,66; 1; 0,66; 0,33; 0; 0; 0),$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0,66 & 1 & 0,66 & 0,33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

- Xác định  $R = R_1 \cup R_2$  là:

$$R = \text{Max}(R_1, R_2)$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,33 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,66 & 1 & 0,66 & 0,33 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,33 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0,66 & 1 & 0,66 & 0,33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Với giá trị rõ  $X = 0,6$  thì giá trị của tập mờ đầu ra  $B'$  có hàm liên thuộc :

$$\mu_{B'}(0,6/y) = (0; 0; 0; 0,33; 0,5; 0,5; 0,5; 0,33; 0).$$

Để kết thúc phần này, ta cần nhắc lại rằng: Khi xét với hệ mờ thì luật kéo theo  $p \Rightarrow q$  ở hệ rõ chỉ là trường hợp đặc biệt (ở hệ rõ theo  $A \Rightarrow B$  tương ứng với mệnh đề hợp thành  $\text{Max} \{1 - \mu_A(x), \mu_B(y)\}$ ), nghĩa là không thể áp dụng trực tiếp các công thức hệ rõ sang hệ mờ. Vì vậy trong điều khiển mờ, với mệnh đề kéo theo mờ  $A \Rightarrow B$  thì hàm liên thuộc hợp thành thường sử dụng theo luật Max-Min và Max-

Prod như đã nói ở trên. Ngoài ra cũng còn có một số nguyên tắc khác mà điển hình là ba nguyên tắc sau đây để xây dựng hàm liên thuộc hợp thành  $\mu_{A \Rightarrow B}(x,y)$ :

Công thức Zadeh:

$$\mu_{A \Rightarrow B}(x,y) = \text{Max} \{ [\text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(y))], [1 - \mu_A(x)] \} \quad (6.17)$$

Công thức Lukasiewicz:

$$\mu_{A \Rightarrow B}(x,y) = \text{Min} \{ 1, (1 - \mu_A(x)) + \mu_B(y) \} \quad (6.18)$$

Công thức Kleene-Dienes:

$$\mu_{A \Rightarrow B}(x,y) = \text{Max} \{ [1 - \mu_A(x)] + \mu_B(y) \} \quad (6.19)$$

Việc sử dụng các công thức trên xin xem các tài liệu tham khảo.

## 6.6. HỆ THỐNG MỜ NHƯ LÀ MỘT ÁNH XẠ PHI TUYẾN

Như đã trình bày ở trên, ta thấy có nhiều phương án phân tích và tính toán giá trị hệ mờ, chẳng hạn có 5 loại luật hợp thành mờ (Max-Min, Max-Prod, Zadeh, Lukasiewicz, Dienes-Rescher), 3 cách mờ hoá (đơn trị, tam giác và Gaus) và 3 cách giải mờ (trọng tâm, trung bình tâm và cực đại). Như vậy cùng một đối tượng ít ra cũng có  $5 \times 3 \times 3 = 45$  cách diễn đạt ra kết quả mờ. Người ta đã chứng minh được rằng, không phải mỗi một tổ hợp của các phương án trên đều hữu ích, mà trong thực tế chỉ dùng một số phương án có hiệu quả.

Giả thiết rằng tập mờ  $B^1$  ở (6.5) là chuẩn với tâm ở  $y^{-1}$  thì hệ thống mờ (với luật cơ sở (6.5), suy luận mờ theo Max-Prod, mờ hoá kiểu đơn trị và giải mờ kiểu trung bình tâm) có dạng sau:

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y_i^{-1} \left( \prod_{j=1}^n \mu_{A_j^i}(x_j) \right)}{\sum_{i=1}^M \left( \prod_{j=1}^n \mu_{A_j^i}(x_j) \right)} \quad (6.20)$$

trong đó  $x \in U \subset R^n$  và  $f(x) \in V \subset R$  là đầu vào và đầu ra đối với hệ mờ.

Từ (6.20) ta thấy hệ thống mờ là một ánh xạ phi tuyến từ  $x \in U \subset R^n$  sang  $f(x) \in V \subset R$  và biểu thức (6.20) là biểu thức chi tiết của ánh xạ đó. Hệ thống mờ ở (6.20) là dạng chung nhất của hệ mờ được mô tả trong các tài liệu hiện nay. Từ (6.20) ta thấy rằng, đầu ra của hệ mờ là trung bình trọng số của tâm của các tập mờ trong phần "Thì" của luật, ở đó trọng số bằng giá trị hàm liên thuộc các tập mờ ở phần "Nếu" của luật ở một điểm đầu vào. Như vậy càng nhiều điểm đầu vào chấp thuận với phần Nếu của luật thì trọng số của luật đưa ra càng lớn.

Ta thấy hệ thống mờ, một mặt là một hệ thống được cấu trúc từ việc tập hợp các luật ngôn ngữ, mặt khác hệ thống mờ là một ánh xạ phi tuyến và trong nhiều trường hợp có thể biểu diễn bằng các công thức chính xác và gọn gàng như (6.20). Như vậy một đóng góp quan trọng của lý thuyết mờ là đã cung cấp một thủ tục có tính hệ thống để biến đổi tập các qui tắc ngôn từ thành một ánh xạ phi tuyến (hay đơn giản là một hàm phi tuyến).

Vì rằng ánh xạ phi tuyến dễ dàng cài đặt thành thiết bị, do vậy hệ thống mờ mới có các ứng dụng khác nhau vào kỹ thuật.

## 6.7. HỆ THỐNG MỜ NHƯ MỘT BỘ XẤP XỈ VẠN NĂNG

Người ta chứng minh được rằng, hệ mờ chính là các bộ xấp xỉ vạn năng với độ chính xác tùy ý của các hệ thực tế phức tạp, nghĩa là với một hàm thực liên tục bất kỳ  $g(x)$  trên tập  $U$  và với một  $\varepsilon > 0$  bất kỳ thì sẽ tồn tại một hệ mờ  $f(x)$  (quan hệ của vào-ra) để cho :

$$\sup_{x \in U} |f(x) - g(x)| < \varepsilon \quad (6.21)$$

Trong thực tế ta thường gặp ba dạng  $g(x)$  sau đây:

1. Dạng  $g(x)$  là một biểu thức giải tích đã biết.
2. Không biết biểu thức giải tích của  $g(x)$ , nhưng với một  $x$  bất kỳ ( $x \in U$ ) ta xác định được  $g(x)$  tương ứng. Như vậy  $g(x)$  là loại hộp đen, ta biết được các hành vi vào-ra, nhưng không biết các chi tiết bên trong của nó.
3. Không biết biểu thức giải tích của  $g(x)$  và chỉ biết được một số cặp vào-ra ( $x, g(x)$ ) hạn chế, trong đó  $x \in U$  không thể chọn tùy ý.

Khi đã biết rõ biểu thức giải tích của  $g(x)$  thì không nhất thiết phải điều khiển mờ, nên ta xem đây là trường hợp đặc biệt của trường hợp  $g(x)$  là hộp đen, do vậy ta xét trường hợp chưa biết biểu thức giải tích  $g(x)$ . Nhiệm vụ đặt ra là hãy thiết kế một hệ thống mờ mà nó xấp xỉ  $g(x)$  theo một cách tối ưu nào đó.

### 6.7.1. Chú ý một số định nghĩa

**1. Hàm liên thuộc hình thang.** Như đã định nghĩa ở mục 5.2.1.2, ta cho  $[a, d] \subset \mathbb{R}$ . Hàm liên thuộc hình thang của tập mờ  $A$  là một hàm liên tục trong  $\mathbb{R}$  và định nghĩa bằng:

$$\mu(x, a, b, c, d, H) = \begin{cases} I(x), & x \in [a, b) \\ H, & x \in (b, c) \\ D(x), & x \in (c, d] \\ 0, & x \in \mathbb{R} - (a, d) \end{cases} \quad (6.22)$$

trong đó  $a \leq b \leq c < d$ ;  $a \leq d$ ;  $0 < H \leq 1$ ;  $0 \leq I(x) \leq 1$  là hàm không giảm trong khoảng  $[a, b]$  và  $0 \leq D(x) \leq 1$  là hàm không tăng trong khoảng  $(c, d]$ . Khi tập mờ  $A$  là chuẩn ( $H=1$ ) thì hàm liên thuộc là  $\mu(x, a, b, c, d)$ .

Nếu từ (6.22) cho  $b = c$ , ta có hàm liên thuộc tam giác.

Nếu từ (6.22) cho  $a = -\infty$ ,  $b = c = x$ ,  $d = \infty$  và  $I(x) = D(x) = \exp\left(-\frac{x - \bar{x}}{\sigma}\right)$  thì hàm liên thuộc (6.22) trở thành hàm liên thuộc Gaus.

**2. Tính đầy đủ.** Các tập mờ  $A^1, A^2, \dots, A^n$  ở trong  $W \in R$  là đầy đủ nếu với bất kỳ  $x \in W$  tồn tại  $A$  để  $\mu_{A^i}(x) > 0$ .

**3. Tính chắc chắn (tín cậy).** Các tập mờ  $A^1, A^2, \dots, A^n$  ở trong  $W \in R$  là chắc chắn nếu tồn tại  $\mu_{A^i}(x) = 1$  cho một  $x$  nào đó thuộc  $W$ .

**4. Tập chiều cao.** Tập chiều cao là một tập thuộc tập  $A$  trong  $W \subset R$  mà :

$$\text{hgh}(A) = \left\{ x \in W \mid \mu_{A^i}(x) = \sup_{x' \in W} \mu_{A^i}(x') \right\}$$

**5. Cấp giữa các tập mờ.** Cho hai tập mờ  $A, B$  trong  $W \in R$ , nói rằng  $A > B$  nếu  $\text{hgh}(A) > \text{hgh}(B)$  (nghĩa là nếu có  $x_1 \in \text{hgh}(A)$  và  $x_2 \in \text{hgh}(B)$  thì  $x_1 > x_2$ ).

## 6.7.2. Xác định hệ mờ $f(x)$ xấp xỉ $g(x)$

Để đơn giản trình bày và dễ dàng biểu thị bằng hình vẽ, ta chỉ cần xét hệ thống mờ có hai đầu vào, vì các kết quả thu được ở đây cũng đúng cho hệ mờ có  $n$  đầu vào. Cho  $g(x)$  là hàm dạng hộp đen trên tập  $U = [\alpha_1, \beta_1] \times [\alpha_2, \beta_2] \subset R^2$ . Ta xác định hệ mờ  $f(x)$  có hai tín hiệu vào để tạo thành hàm xấp xỉ với  $g(x)$ .

Các bước thực hiện như sau:

**Bước 1.** Xác định số lượng các tập mờ  $N_i$  ( $i = 1, 2$ ), nghĩa là có:  $A_1^1, A_1^2, \dots, A_1^{N_1}$  trong khoảng  $[\alpha_1, \beta_1]$  là các tập chuẩn, đầy đủ, chắc chắn và hàm liên thuộc dạng hình thang  $\mu_1^1(x, a_1, b_1, c_1, d_1), \dots, \mu_1^{N_1}(x, a_1, b_1, c_1, d_1)$ , và  $A_1^1 < A_1^2 < \dots < A_1^{N_1}$  với  $a_1^1 = b_1^1 = \alpha_1$ . Định nghĩa  $e_1^1 = \alpha_1$ ,  $e_1^{N_1} = \beta_1$  và  $e_j^1 = 1/2(b_1^j + c_1^j)$  với  $j = 2, 3, \dots, N_{1-1}$ .

Tương tự xác định  $e_2^1 = \alpha_2$ ,  $e_2^{N_2} = \beta_2$ , và  $e_j^2 = 1/2(b_2^j + c_2^j)$  với  $j = 2, 3, \dots, N_{2-1}$ .

Hình 6.12 là ví dụ với  $N_1 = 3$ ,  $N_2 = 4$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$  và  $\beta_1 = \beta_2 = 1$ .

**Bước 2.** Xây dựng  $M = N_1 \times N_2$  luật **Nếu...Thì** dạng:

$$\text{Rule } i: \text{ Nếu } x_1 \text{ là } A_1^{i_1} \text{ và } x_2 \text{ là } A_2^{i_2}, \text{ Thì } y \text{ là } B^{i_{12}} \quad (6.23)$$

trong đó  $i_1 = 1, 2, \dots, N_1$ ;  $i_2 = 1, 2, \dots, N_2$  và tâm của tập mờ  $B$  là  $y$  sẽ được chọn bằng:

$$y^{i_{12}} = g(c_1^{i_1}, c_2^{i_2}); \quad (6.24)$$

Với ví dụ ở hình 6.12 ta có  $3 \times 4 = 12$  luật, các tâm của  $B^{i_{12}}$  là giá trị ước lượng của  $g(x)$  ở 12 điểm nút trong hình.

**Bước 3.** Xây dựng  $f(x)$  từ  $N_1 \times N_2$  luật (6.23), hợp thành dùng Max-Prod. mờ hoá đơn trị, giải mờ kiểu trung bình tâm, ta được:

$$f(x) = \frac{\sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} y^{i_{12}} (\mu_{A_1^{i_1}}(x_1) \mu_{A_2^{i_2}}(x_2))}{\sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} (\mu_{A_1^{i_1}}(x_1) \mu_{A_2^{i_2}}(x_2))} \quad (6.25)$$

Vì các tập mờ  $A_1^1, \dots, A_1^{N_1}$  là đầy đủ, ở mỗi  $x \in U$  tồn tại  $i_1$  và  $i_2$  như thế nào để  $\mu_{A_1^{i_1}}(x_1) * \mu_{A_2^{i_2}}(x_2) \neq 0$ , do vậy  $f(x)$  ở (6.25) là hoàn toàn xác định và mẫu số của nó luôn khác 0.

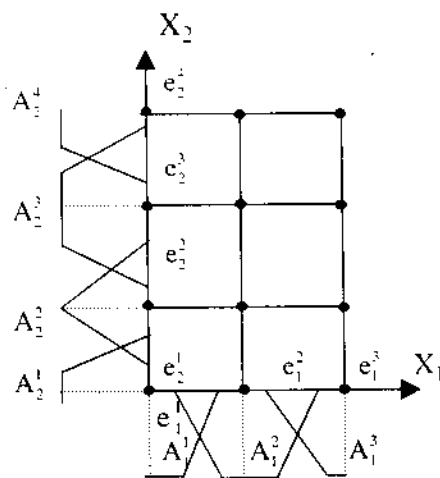
Tổng quát, nếu hệ thống có  $n$  đầu vào và mỗi đầu vào có  $N$  tập giá trị mờ thì toàn bộ sẽ có  $N^n$  luật. Chẳng hạn nếu  $n = 3$  và  $N = 4$  thì toàn bộ ta có 64 luật. Số lượng luật quá nhiều và tăng quá nhanh, đây là vấn đề mà có nhiều công trình nghiên cứu để tìm số luật vừa đủ tối ưu, và cơ sở của vấn đề là dựa vào độ chính xác của phép xấp xỉ. Nguyên lý chung là độ chính xác càng cao thì càng cần nhiều tập mờ cho việc tìm hàm xấp xỉ.

Với  $f(x)$  dạng (6.25) và  $g(x)$  chưa biết. Nếu  $g(x)$  là một hàm khả vi liên tục trên  $U = [\alpha_1, \beta_1] \times [\alpha_2, \beta_2] \subset \mathbb{R}$  thì:

$$\|g - f\| \leq \left\| \frac{\partial g}{\partial x_1} \right\| \cdot h_1 + \left\| \frac{\partial g}{\partial x_2} \right\| \cdot h_2 \quad (6.26)$$

trong đó:

$\|*\|$ , gọi là chuẩn vô cùng và được xác định theo kiểu:



Hình 6.12

$$\|dx\|_x = \sup_{x \in U} |d(x)|, \quad h_i = \max_{1 \leq j \leq N-1} |e_i^{j+1} - e_i^j| \text{ với } i = 1, 2$$

Ví dụ, thiết kế hệ mờ tạo hàm  $f(x)$  để xấp xỉ hàm  $g(x) = \sin(x)$  được xác định trong khoảng  $U = [-3; 3]$  và sai lệch  $\varepsilon = 0,2$ , nghĩa là  $\sup_{x \in U} |g(x) - f(x)| < \varepsilon$ .

Cách làm. Vì  $\left\| \frac{\hat{c}g}{\hat{c}x} \right\|_x = \|\cos(x)\|_x = 1$ , nên từ (6.26) ta thấy chọn  $h = 0,2$  là thỏa mãn. Ta chọn trong khoảng  $[-3; 3]$  31 tập mờ  $A_j$  với hàm liên thuộc hình tam giác, trong đó:

$$\mu_{A^1}(x) = \mu_{A^1}(x; -3; -3; -2,8); \mu_{A^{31}}(x) = \mu_{A^{31}}(x; 2,8; 3; 3);$$

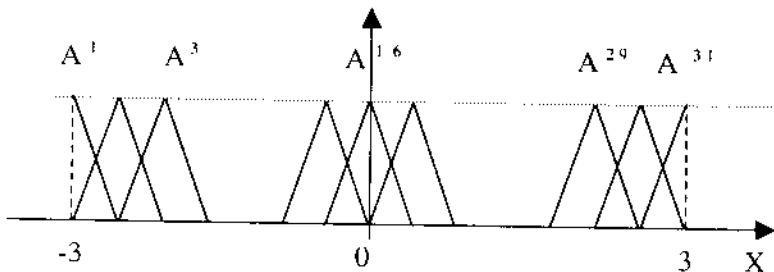
và  $\mu_{A^j}(x) = \mu_{A^j}(x, e^{j-1}, e^j, e^{j+1})$  với  $j = 2, 3, \dots, 30$  và  $e^j = -3 + 0,2(j-1)$ .

Các hàm liên thuộc này được vẽ ở hình 6.13

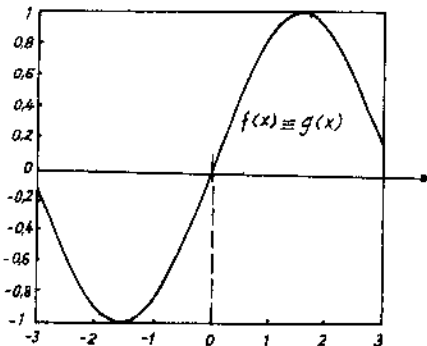
Theo (6.25) ta thiết kế được bộ xấp xỉ mờ có hàm liên thuộc:

$$f(x) = \frac{\sum_{j=1}^{31} \sin(e^j) \mu_{A^j}(x)}{\sum_{j=1}^{31} \mu_{A^j}(x)}$$

Hàm  $f(x)$  trong khoảng  $[-3; 3]$  được trình bày trên hình 6.14, và ta thấy  $f(x)$  hầu như trùng với  $g(x)$ .



Hình 6.13



Hình 6.14

## Câu hỏi và bài tập

1. Cấu trúc một bộ điều khiển mờ cơ bản và bộ điều khiển mờ. Giải thích ý nghĩa các khối chức năng.
2. Nêu luật mờ " Nếu ... Thì " dạng tổng quát. Giải thích các thành phần trong luật.
3. Trình bày cách thành lập ma trận hợp thành theo luật Max-Min và Max-Prod.
4. Giả thiết chỉ có một luật cơ sở : " Nếu  $x_1$  là  $A_1$  và...và  $x_n$  là  $A_n$  Thì  $y$  là  $B$  " với:

$$\mu_B(x) = \exp(-y^2)$$

Cho trước tập vào  $A'$  theo kiểu mờ hoá đơn trị (6.1). Xác định hàm liên thuộc hợp thành đầu ra  $B'$  theo qui tắc : Max-Min và Max-Prod.

5. Thiết kế hệ mờ xấp xỉ hàm

$$g(x) = \sin(x\pi) + \cos(x\pi) + \sin(x\pi)\cos(x\pi);$$

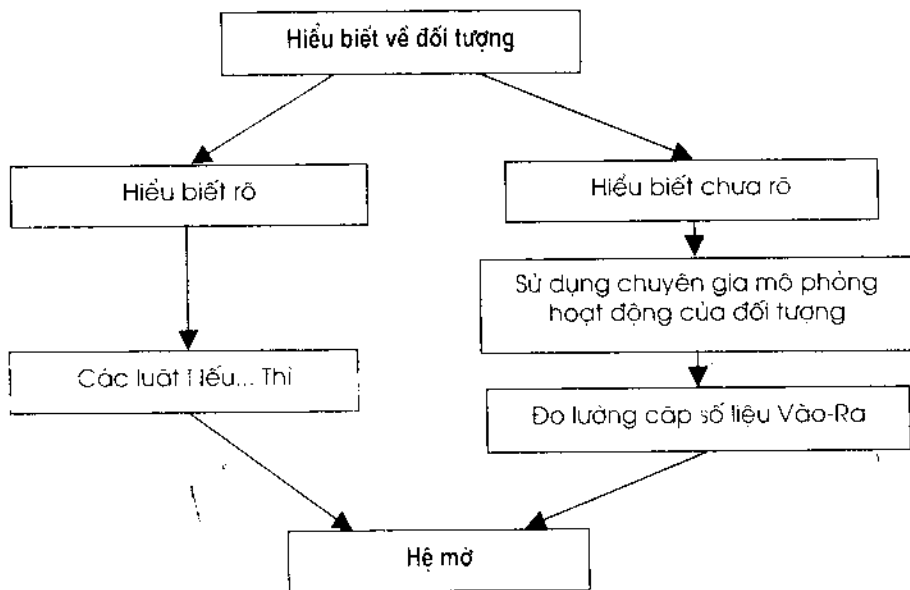
trên khoảng  $U = [-1; 1] \times [-1; 1]$  với độ chính xác  $\varepsilon = 0,1$ .

# Chương 7. THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN MỜ

## TỪ TẬP DỮ LIỆU VÀO - RA

### 7.1. VẤN ĐỀ CHUNG

Như ta biết hệ thống điều khiển mờ có mục đích mô phỏng suy nghĩ điều khiển của con người để điều khiển một đối tượng nào đó. Nhìn chung, hiểu biết của con người để điều khiển một đối tượng kỹ thuật nào đó có thể phân thành hai loại: loại hiểu biết rõ (conscious knowledge) và loại hiểu biết chưa rõ (subconscious knowledge). Hiểu biết rõ là hiểu biết có thể diễn đạt rạch ròi chính xác sự việc bằng ngôn từ (hiểu biết này là trí giác), còn hiểu biết chưa rõ (cảm giác) là loại hiểu biết mà ở tình huống sự việc đó, con người biết được hành động (hoạt động) điều khiển như thế nào nhưng không thể diễn đạt thành lời hành động đó. Ví dụ, một người lái xe có kinh nghiệm sẽ xử lý rất tốt khi lái xe trên đường gặp phải tình huống phức tạp, tuy vậy anh ta rất khó khăn diễn đạt chính xác cách xử lý trường hợp phức tạp cụ thể đó như thế nào.



Hình 7.1. Mô hình chuyển đổi hiểu biết của con người và hệ mờ

Khi xây dựng bộ điều khiển mờ, với các hiểu biết rõ thì ta dùng luật "Nếu... Thì" và diễn đạt điều đó vào hệ thống mờ. Với các hiểu biết chưa rõ lúc điều



khuyến, ta phải đo lường trực tiếp trên đối tượng các số liệu Vào-Ra lúc đó, sau đó tập hợp lại thành tập các dữ liệu Vào-Ra và ta sử dụng để xây dựng bộ điều khiển. Như vậy cấu trúc bộ điều khiển mờ có thể xây dựng bằng cách chuyển đổi hiểu biết con người (hiểu biết chuyên gia) thành bộ điều khiển mờ với bộ số liệu Vào-Ra như ở hình 7.1.

Có nhiều phương pháp xây dựng hệ điều khiển mờ theo bộ dữ liệu Vào- Ra, chẳng hạn: phương pháp lập bảng dữ liệu Vào, phương pháp chọn cấu trúc trước và chỉnh định tham số sau theo thuật toán giảm dần độ dốc, theo thuật toán sai lệch bình phương nhỏ nhất và phương pháp phân thành nhóm (clustering ideas). Trong phạm vi giáo trình này, chúng ta không đi sâu vào việc phân tích chi tiết phần lý thuyết toán học mà chỉ nhằm trình bày các bước làm cụ thể và trích dẫn một số công thức toán học cần thiết trong các ứng dụng kỹ thuật và sau đây sẽ trình bày tóm tắt một số phương pháp.

## 7.2. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ BẰNG BẢNG DỮ LIỆU VÀO

Giả thiết ta biết được các cặp dữ liệu Vào-Ra:

$$(x_p^n, y_p^n) : p = 1, 2, \dots, N.$$

trong đó  $x_p^n \in U = [\alpha_1, \beta_1] \times \dots \times [\alpha_n, \beta_n] \subset R^n$  và  $y_p^n \in V = [\alpha_y, \beta_y] \subset R$ .

Nhiệm vụ chúng ta là thiết kế hệ mờ có quan hệ  $f(x)$  dựa vào  $N$  cặp dữ liệu Vào-Ra này bằng cách dùng bảng dữ liệu Vào. Các bước tiến hành như ở dưới đây.

**Bước 1.** Xác định tất cả các biến Vào và Ra

Tùy theo yêu cầu điều khiển và kinh nghiệm chuyên gia mà việc chọn các biến Vào-Ra vừa có tính khách quan vừa có tính chủ quan của người thiết kế. Giả sử nếu bộ điều khiển mờ làm chức năng một bộ điều chỉnh (nghĩa là bộ điều khiển nằm trong mạch kín với điều khiển thời gian thực và mục đích chính là đảm bảo sai lệch cho phép giữa tín hiệu đặt và tín hiệu cần điều khiển), thì biến đầu vào có thể chọn là sai lệch và đạo hàm của sai lệch, biến ra là đại lượng phản ánh tín hiệu cần điều khiển. Nếu bộ điều khiển làm chức năng tạo ra tín hiệu đặt cho hệ thống (có thể là hệ kín hoặc hệ hở, có thể bộ điều khiển làm việc ở thời gian thực hoặc không ở thời gian thực) thì số biến Vào và Ra hoàn toàn phụ thuộc việc phân tích tình hình cụ thể với yêu cầu chung là tập biến ngôn ngữ Vào và Ra này phải phủ hết không gian biến Vào và Ra.

**Bước 2.** Xác định giá trị biến Vào và Ra

Các việc cần làm trong các bước này bao gồm:

- Xác định miền giá trị vật lý cho các biến Vào và Ra.

Đây là miền giá trị rõ tới hạn cho các biến Vào và Ra, do vậy việc xác định hoàn toàn căn cứ vào đối tượng cụ thể.

- Xác định dạng hàm liên thuộc.

Đây là vấn đề cực kỳ quan trọng và khó nói chính xác được, do vậy trong kỹ thuật thường ưu tiên chọn hàm liên thuộc kiểu hình tam giác hoặc hình thang, khi cần thiết và có lý do rõ ràng mới chọn các hàm liên thuộc loại khác.

- Số lượng tập mờ (các giá trị ngôn ngữ) cho các biến.

Nguyên lý chung là số lượng các giá trị ngôn ngữ cho mỗi biến nên nằm trong khoảng từ 3 đến 9 giá trị. Nếu số lượng các giá trị này nhỏ hơn 3 thì việc chọn là quá thô, nếu số lượng này lớn hơn 9 thì quá mịn (con người khó có khả năng cảm nhận quá chi ly), ảnh hưởng đến bộ nhớ và tốc độ tính toán. Lưu ý là cần chọn các giá trị của biến có phân chồng lên nhau và phủ kín hết miền giá trị vật lý để trong quá trình điều khiển không xuất hiện "lỗ hổng".

Ví dụ một hệ điều khiển có 2 biến vào ( $n=2$ ) với số lượng tập mờ cho biến 1 là  $N_1=5$ , số lượng tập mờ cho biến 2 là  $N_2=7$  và 1 biến ra  $y$  với  $N=5$ , chọn hàm liên thuộc dạng hình tam giác, ta có các tập Vào và Ra như ở hình 7.2.

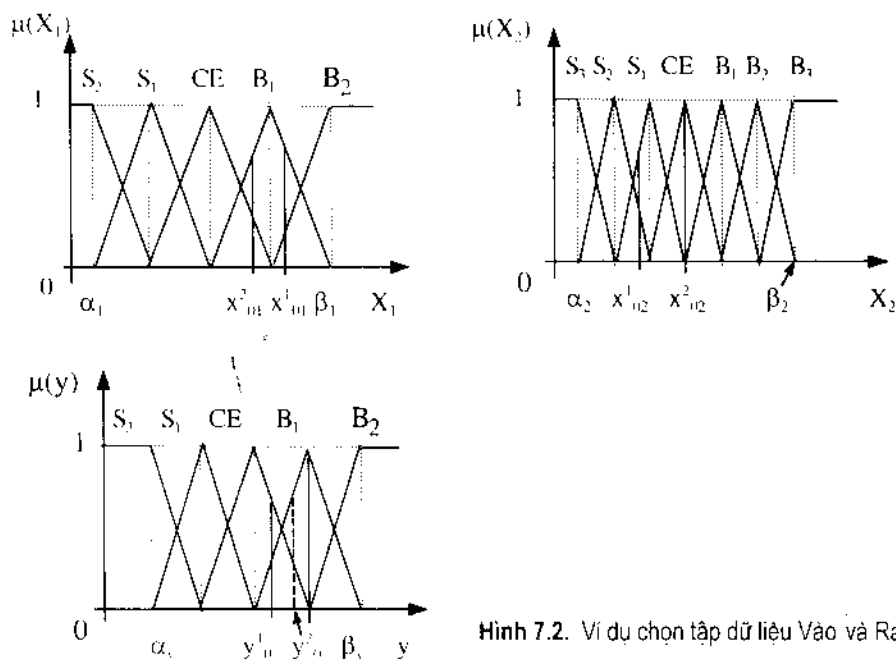
trong đó ký hiệu:

$S_3, S_2, S_1$ : Rất nhỏ, nhỏ vừa, nhỏ.

$B_3, B_2, B_1$ : Rất lớn, lớn vừa, lớn.

CE: trung bình.

$\alpha_1-\beta_1, \alpha_2-\beta_2, \alpha_3-\beta_3$ : là các khoảng giá trị tới hạn của các tập  $X_1, X_2$  và  $Y$ .



Hình 7.2. Ví dụ chọn tập dữ liệu Vào và Ra

### Bước 3. Xây dựng các luật điều khiển "Nếu... Thì".

Đây là tập các luật "Nếu... Thì" với một hoặc nhiều điều kiện. Khi xây dựng các luật phải dựa vào bản chất vật lý, dựa vào các số liệu đo đạc và kinh nghiệm chuyên gia, đồng thời lưu ý rằng, hầu hết các bộ điều khiển sẽ có tín hiệu ra bằng 0 khi tất cả tín hiệu vào đều bằng 0. Trong bước này cần thực hiện các công việc sau:

- Đầu tiên dựa vào từng cặp dữ liệu Vào-Ra đã biết để tạo ra từng luật riêng biệt. Cần lưu ý là với mỗi giá trị Vào và Ra ta sẽ chọn tập mờ nào có giá trị hàm liên thuộc lớn nhất.

Ví dụ theo hình 7.2 với 2 cặp giá trị  $(x_{o1}^1, x_{o2}^1, y_o^1)$  và  $(x_{o1}^2, x_{o2}^2, y_o^2)$  ta có 2 luật :

$R_4$ : Nếu  $x_1$  là  $B_1$  và  $x_2$  là  $S_1$  Thì  $y$  là  $CE$  ;

$R_5$ : Nếu  $x_1$  là  $B_1$  và  $x_2$  là  $CE$  Thì  $y$  là  $B_1$  ;

- Xác định cấp độ của mỗi luật.

Nếu có các luật gây xung đột thì cần xác định trọng số của các luật này. Ví dụ xác định trọng số các luật ở hình 7.2. Giá trị rõ đo được cho  $R_4$  là  $x_{o1}^1, x_{o2}^1$  và  $y_o^1$  tương ứng với  $\mu_{B_1}(x_{o1}^1) = 0,8$ ,  $\mu_{S_1}(x_{o2}^1) = 0,6$ ,  $\mu_{CE}(y_o^1) = 0,8$ ; như vậy trọng số cho  $R_4$  là :  $0,8 \times 0,6 \times 0,8 = 0,384$  ;

Giá trị rõ đo được cho  $R_5$  là  $x_{o1}^2, x_{o2}^2$  và  $y_o^2$  thì  $\mu_{B_1}(x_{o1}^2) = 0,6$  ,  $\mu_{CE}(x_{o2}^2) = 1$ ,  $\mu_{B_1}(y_o^2) = 0,7$  ; như vậy trọng số của  $R_5$  là:  $0,6 \times 1 \times 0,7 = 0,42$ .

- Xác định tập đầy đủ các luật "Nếu...Thì" và lập bảng luật theo tập Vào.

Dựa vào từng luật riêng biệt, trọng số của luật (nếu có xung đột) và kinh nghiệm chuyên gia ta thành lập bảng luật, đó là bảng luật theo tập dữ liệu Vào (hình 7.3).

| $X_2 \backslash X_1$ | $S_3$ | $S_2$ | $S_1$ | CE    | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $S_2$                |       |       |       | $B_2$ |       |       |       |
| $S_1$                |       |       |       | CE    |       |       |       |
| CE                   | $S_2$ | $S_1$ | $B_1$ | CE    | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ |
| $B_1$                |       |       | CE    |       |       |       |       |
| $B_2$                |       |       |       | $B_1$ |       |       |       |

Hình 7.3

Ví dụ ta có tập các luật điều khiển sau (các ký hiệu theo hình 7.2).

- $R_1$  : Nếu  $X_1 = s_2$  Và  $X_2 = CE$  Thì  $Y = B_2$  Hoặc
- $R_2$  : Nếu  $X_1 = s_1$  Và  $X_2 = CE$  Thì  $Y = CE$  Hoặc
- $R_3$  : Nếu  $X_1 = CE$  Và  $X_2 = S_2$  Thì  $Y = S_1$  Hoặc
- $R_4$  : Nếu  $X_1 = B_1$  Và  $X_2 = S_1$  Thì  $Y = CE$  Hoặc
- $R_5$  : Nếu  $X_1 = B_1$  Và  $X_2 = CE$  Thì  $Y = B_1$  Hoặc
- $R_6$  : Nếu  $X_1 = CE$  Và  $X_2 = S_3$  Thì  $Y = S_2$  Hoặc
- $R_7$  : Nếu  $X_1 = B_2$  Và  $X_2 = CE$  Thì  $Y = B_1$  Hoặc
- $R_8$  : Nếu  $X_1 = CE$  Và  $X_2 = S_1$  Thì  $Y = B_1$  Hoặc
- $R_9$  : Nếu  $X_1 = CE$  Và  $X_2 = B_1$  Thì  $Y = B_1$  Hoặc
- $R_{10}$  : Nếu  $X_1 = CE$  Và  $X_2 = B_2$  Thì  $Y = B_2$  Hoặc
- $R_{11}$  : Nếu  $X_1 = CE$  Và  $X_2 = B_3$  Thì  $Y = B_3$  Hoặc.

Để dễ dàng minh họa cách thành lập bảng dữ liệu Vào, ta mô tả trường hợp có 2 tín hiệu vào  $x_1, x_2$  ở hình 7.2. Vì  $x_1$  có 5 tập và  $x_2$  có 7 tập giá trị mờ nên ta có bảng với  $5 \times 7 = 35$  ô (hình 7.3). Mỗi ô của bảng sẽ biểu thị một giá trị của tập kết quả, chẳng hạn với các luật từ  $R_1$  -  $R_{11}$  như trên sẽ được ghi ở bảng dữ liệu Vào (hình 7.3). Ta có thể tổ hợp đầy đủ quan hệ giữa  $x_1, x_2$  để tạo thành 35 luật và điền kín bảng, tuy vậy thực tế có thể không cần sử dụng hết cả 35 luật nói trên. Khi biểu diễn thành bảng dữ liệu Vào, ta dễ dàng quan sát và hiệu chỉnh để được kết quả ra mong muốn. Đó cũng là ưu điểm của phương pháp thiết kế này.

Khi gặp các luật xung đột, nghĩa là có phần "Nếu" như nhau nhưng phần "Thì" lại khác nhau (thực tế có xảy ra như vậy), thì ta tính trọng số để chọn luật có trọng số lớn nhất.

#### **Bước 4.** Chọn luật hợp thành

Từ tập các luật điều khiển  $R_1, R_2, \dots, R_n$  thì hợp của các luật trên là  $R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n$ , lúc này ta có thể dùng các luật hợp thành Max-Min, Max-Prod hoặc các luật hợp thành khác để tìm hàm liên thuộc hợp thành của tập mờ đầu ra.

#### **Bước 5.** Giải mờ

Từ hàm liên thuộc hợp thành của tập mờ đầu ra, ta có thể chọn phương pháp giải mờ thích hợp để xác định giá trị rõ đầu ra của bộ giải mờ. Thường thì chọn phương pháp giải mờ trọng tâm hay trung bình tâm, vì lúc đó kết quả đầu ra có sự tham gia đầy đủ của tất cả các luật từ  $R_1$  đến  $R_n$ .

#### **Bước 6.** Tối ưu hoá

Sau khi bộ điều khiển mờ được tổng hợp, ta ghép nó với đối tượng mô phỏng để thử nghiệm. Quá trình thử nghiệm trên mô hình sẽ cho ta trước tiên kiểm tra các "lỗ hổng", nếu có "lỗ hổng" xuất hiện thì có thể phải điều chỉnh lại độ phủ lên nhau của các giá trị ngôn ngữ, điều chỉnh lại luật điều khiển. Ngoài ra nếu bộ điều khiển làm việc không ổn định thì phải kiểm tra lại luật "Nếu... Thì" cơ sở.

Sau khi biết chắc bộ điều khiển đã ổn định và không có "lô hỏng", ta có thể tối ưu hoá các trạng thái làm việc của nó theo các chỉ tiêu khác nhau. Chính định bộ điều khiển theo các chỉ tiêu này thường là phải hiệu chỉnh hàm liên thuộc, thiết lập các nguyên tắc điều khiển phụ hoặc thay đổi một số nguyên tắc điều khiển.

### 7.3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ THEO MỘT SỐ NGUYÊN TẮC KHÁC

Việc thiết kế bộ điều khiển mờ dựa vào việc lập bảng dữ liệu Vào là phương pháp thiết kế tương đối đơn giản và dễ hiểu cho cán bộ kỹ thuật. Tuy vậy trong thực tế do bản thân đối tượng điều khiển phức tạp, do các yêu cầu điều khiển hiện đại như điều khiển tối ưu, điều khiển thích nghi v.v... mà tồn tại nhiều phương pháp thiết kế khác để thiết kế các bộ điều khiển mờ. Nhìn chung các phương pháp này đều sử dụng nhiều kiến thức toán học và các lý thuyết điều khiển tối ưu, điều khiển thích nghi hiện đại, do vậy ở đây chỉ giới thiệu tóm tắt nội dung một vài phương pháp mà không đi sâu vào chi tiết các bước của từng phương pháp.

#### 7.3.1. Thiết kế bộ điều khiển mờ khi dùng phương pháp giảm dần độ dốc (Gradient Descent Training)

##### 7.3.1.1. Chọn cấu trúc của bộ điều khiển mờ

Khi thiết kế bộ điều khiển mờ theo bộ số liệu Vào-Ra, ngay từ đầu ta đã chọn cố định hàm liên thuộc và việc làm đó không phụ thuộc vào các cặp số liệu Vào-Ra, không tối ưu hóa bộ điều khiển theo các cặp số liệu Vào-Ra. Ở đây bộ điều khiển mờ được thiết kế theo một kiểu khác, đó là việc chọn hàm liên thuộc sẽ dựa theo một tiêu chuẩn tối ưu nào đó.

Như vậy việc thiết kế bộ điều khiển mờ ở đây là chọn trước cấu trúc bộ điều khiển, còn một số tham số của bộ điều khiển sẽ cho thay đổi tùy ý, sau đó xác định tối ưu các tham số này theo luật tối ưu với thuật toán giảm dần độ dốc.

Ta chọn hệ thống mờ với hàm liên thuộc Gaus, suy luận hợp thành theo phương pháp Max-Prod, mờ hoá kiểu đơn trị và giải mờ bằng phương pháp trung bình tâm (mục 6.3), như vậy mô hình toán học tổng quát của quan hệ ở hệ thống mờ có dạng:

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y^i \left[ \prod_{j=1}^n \exp \left( - \left( \frac{x_j - x_j^i}{\sigma^i} \right)^2 \right) \right]}{\sum_{i=1}^M \left[ \prod_{j=1}^n \exp \left( - \left( \frac{x_j - x_j^i}{\sigma^i} \right)^2 \right) \right]} \quad (7.1)$$

trong đó  $M$  đã cố định;  $y^i$ ,  $x^i$  và  $\sigma^i$  là tham số cần xác định.

Để xác định  $y^i$ ,  $x^i$  và  $\sigma^i$ , ta hình dung hàm  $f(x)$  ở (7.1) có thể biểu diễn thành ba lớp như mô tả trên hình 7.4. Ánh xạ tín hiệu vào  $x \in U \in \mathbb{R}^n$  thành tín hiệu ra  $f(x) \in V \in \mathbb{R}$  phù hợp với các thao tác toán học sau :

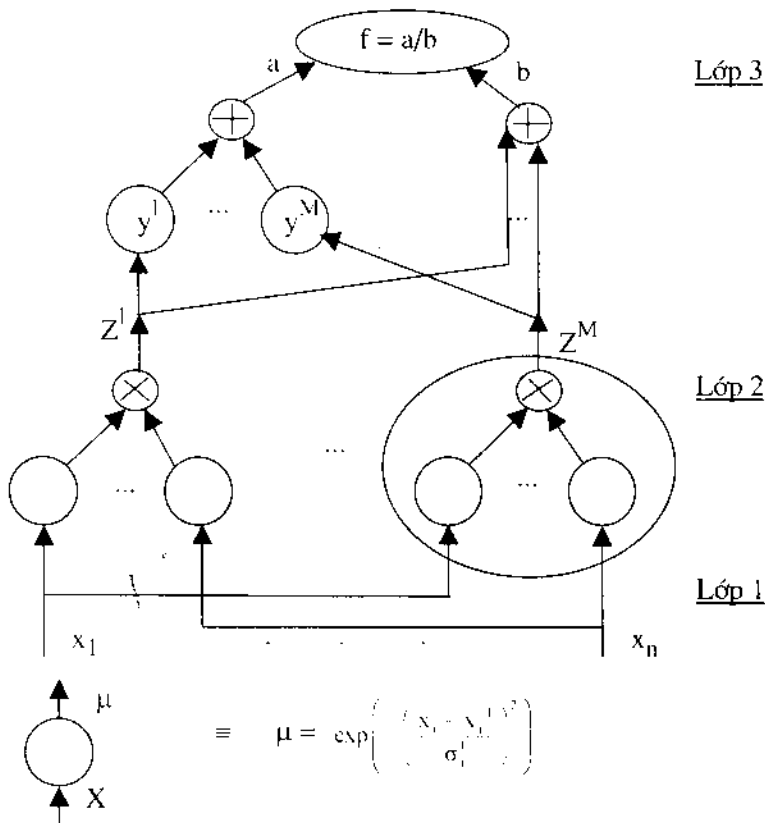
Đầu tiên, đầu vào  $x$  được chuyển sang phép toán lấy tích của hàm liên thuộc Gaus để tạo thành  $Z^i$  với:

$$Z^i = \prod_{j=1}^n \exp \left( - \left( \frac{x_j - x_j^i}{\sigma_j^i} \right)^2 \right)$$

Tiếp theo tính số  $b$  sẽ là tổng của  $Z^i$ :  $b = \sum_{i=1}^M Z^i$

và tính số  $a$  sẽ là tổng có trọng số:  $a = \sum_{i=1}^M y^i Z^i$

Cuối cùng tín hiệu ra của hệ mờ là  $f(x)$  bằng :  $f(x) = a / b$ .



Hình 7.4. Biểu diễn  $f(x)$  thành ba lớp của mạng mờ

### 7.3.1.2. Tính chọn tham số

Nhiệm vụ chung là thiết kế hệ mờ có quan hệ  $f(x)$  với chỉ tiêu sai số đầu ra cực tiểu:

$$e^p = \frac{1}{2} [f(x_o^p) - y_o^p]^2 \quad (7.2)$$

trong đó:  $e^p$  là sai lệch bình phương ở từng cặp giá trị Vào-Ra.

$x_o^p$  và  $y_o^p$  là các cặp giá trị Vào-Ra.

Theo trình tự ta sử dụng  $e$ ,  $f$  và  $y$  để xác định  $e^p$ ,  $f(x_o^p)$ ,  $y_o^p$ .

Ở đây sử dụng thuật toán "giảm độ dốc" để tính các tham số, đặc biệt là  $y^{-l}$ :

$$y^{-l}(q+1) = y^{-l}(q) - \alpha \partial e / \partial y^{-l} \Big|_q \quad (7.3)$$

$$\frac{\partial e}{\partial y^{-l}} = (f - y) \frac{\partial f}{\partial a} \cdot \frac{\partial a}{\partial y} = (f - y) \cdot \frac{1}{b} \cdot Z^l \quad (7.4)$$

trong đó  $l = 1, 2, \dots, M$ ;  $q = 0, 1, 2, \dots$ ;  $\alpha$  là hằng số.

Thay (7.4) vào (7.3) ta được :

$$y^{-l}(q+1) = y^{-l}(q) - \alpha \cdot \frac{f - y}{b} \cdot Z^l \quad (7.5)$$

với  $l = 1, 2, \dots, M$  và  $q = 0, 1, 2, \dots$

Để xác định  $x_i^{-l}$  ta dùng biểu thức :

$$x_i^{-l}(q+1) = x_i^{-l}(q) - \alpha \cdot \frac{\partial e}{\partial x_i^{-l}} \Big|_q \quad (7.6)$$

Với  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $l = 1, 2, \dots, M$  và  $q = 0, 1, 2, \dots$

Từ hình 7.4 ta thấy  $f$  (do đó  $e$ ) phụ thuộc  $x_i^{-l}$  chỉ qua  $Z^l$  do vậy :

$$\frac{\partial e}{\partial x_i^{-l}} = (f - y) \frac{\partial f}{\partial Z^l} \cdot \frac{\partial Z^l}{\partial x_i^{-l}} = (f - y) \cdot \frac{y^{-l} - f}{b} \cdot Z^l \cdot \frac{2(x_{0i}^p - x_i^{-l}(q))}{(\sigma_i^l(q))^2} \quad (7.7)$$

Thay (7.7) vào (7.6) ta tìm được:

$$x_i^{-l}(q+1) = x_i^{-l}(q) - \alpha(f - y) \cdot \frac{y^{-l}(q) - f}{b} \cdot Z^l \cdot \frac{2(x_{0i}^p - x_i^{-l}(q))}{(\sigma_i^l(q))^2} \quad (7.8)$$

Với  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $l = 1, 2, \dots, M$ ;  $q = 0, 1, 2, \dots$

Tương tự ta tính  $\sigma_i^l$  theo thuật toán sau:

$$\begin{aligned}\sigma_i^l(q+1) &= \sigma_i^l(q) - \alpha \left. \frac{\partial e}{\partial \sigma_i^l} \right|_q \\ &= \sigma_i^l(q) - \alpha(f - y_i) \cdot \frac{y_i - y_i(q)}{b} \cdot Z^l \cdot \frac{2(x_{oi}^p - x_{i-1}^l(q))^2}{(\sigma_i^l(q))^3}\end{aligned}\quad (7.9)$$

Dựa vào các công thức trên, ta tóm tắt các bước thiết kế bộ điều khiển mờ theo thuật toán giảm độ dốc như sau:

**Bước 1.** Xác định cấu trúc và đặt tham số khởi đầu

Chọn cấu trúc theo (7.1) và chọn  $M$ . Chọn  $M$  lớn thì tính toán nhiều, nhưng độ chính xác cao hơn. Xác định  $y^{-1}(0)$ ,  $x_i^l(0)$ ,  $\sigma_i^l(0)$  theo kinh nghiệm vận hành hệ thống.

**Bước 2.** Theo giá trị đầu Vào tính toán giá trị đầu ra

Đối với cặp  $(x_o^p, y_o^p)$ ,  $p = 1, 2, \dots$  và ở bước thứ  $q$ ,  $q = 0, 1, 2, \dots$  thì đặt  $x_o^p$  ở đầu vào lớp 1 (hình 7.4) và tính toán đầu ra của các lớp 1, 2, 3 với công thức tính như sau:

$$\left. \begin{aligned}Z^l &= \prod_{i=1}^n \exp \left[ - \left( \frac{x_{oi}^p - x_{i-1}^l(q)}{\sigma_i^l(q)} \right)^2 \right]; & b &= \sum_{l=1}^M Z^l \\ a &= \sum_{l=1}^M y_i^{-1}(q) \cdot Z^l; & f &= a/b\end{aligned} \right\} \quad (7.10)$$

**Bước 3.** Cập nhật tham số

Dùng (7.5) đến (7.9) tính toán các tham số cập nhật  $y^{-1}(q+1)$ ,  $x_i^l(q+1)$ ,  $\sigma_i^l(q+1)$  khi  $y = y_o^p$ ,  $Z^l$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $f$  ở bước 2.

**Bước 4.** Lập lại bước 2 với  $q = q+1$  cho đến khi sai số  $|f - y_o^p|$  nhỏ hơn trị số cho phép hoặc cho đến khi  $q$  bằng số đã cho.

**Bước 5.** Lập lại bước 2 với  $p = p+1$ , cập nhật tham số với việc dùng cặp số liệu Vào-Ra  $(x_{oi}^p, y_o^p)$

**Bước 6.** Nếu muốn thì đặt  $p = 1$  và làm lại từ bước 2 đến bước 5 cho đến khi hệ thống thoả mãn chỉ tiêu mong muốn. Với bộ điều khiển mờ, để nhận dạng và điều



khuyến hệ động học làm việc ở thời gian thực thì việc làm này không thực hiện được, vì chỉ có một cặp số liệu Vào-Ra ở một thời điểm, do vậy cách làm này chỉ có thể thực hiện ở hệ điều khiển "ngoài dòng" (off-line).

### 7.3.1.3. Ứng dụng phương pháp "giảm độ dốc" để nhận dạng và điều khiển hệ phi tuyến

Nhận dạng hệ thống là quá trình xác định mô hình xấp xỉ của hệ thống trên cơ sở các số liệu đo đạc thực tế. Vì hệ thống mờ là các bộ xấp xỉ vạn năng cực mạnh, cho nên hiển nhiên hệ thống mờ thường được dùng để nhận dạng hệ phi tuyến.

Xét một hệ động học phi tuyến với thời gian rời rạc:

$$y(k+1) = f(y(k)), \dots, y(k-n+1); u(k), \dots, u(k-m+1)) \quad (7.11)$$

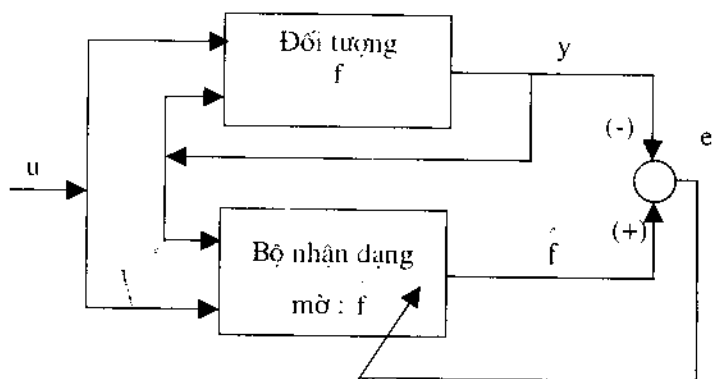
trong đó  $f$  là một hàm chưa biết mà ta muốn nhận dạng,  $u$  và  $y$  là đầu vào và đầu ra của hệ thống,  $n$  và  $m$  là các số nguyên dương.

Nhiệm vụ của chúng ta là nhận dạng hàm chưa biết  $f$  của hệ thống đã cho.

Cho  $\hat{f}(x)$  là hệ thống mờ dạng (7.1), khi thay  $f(x)$  ở (7.11) bằng  $\hat{f}(x)$  ta được mô hình nhận dạng sau:

$$\hat{y}(k+1) = \hat{f}(y(k)), \dots, y(k-n+1); u(k), \dots, u(k-m+1)) \quad (7.12)$$

Nhiệm vụ bây giờ là hãy chính định tham số của  $\hat{f}(x)$  như thế nào để tín hiệu ra của mô hình nhận dạng  $\hat{y}(k+1)$  hội tụ về đầu ra của hệ thống thực  $y(k+1)$  với  $k$  là một số hữu hạn. Hình 7.5 chỉ ra sơ đồ của mô hình nhận dạng này.



Hình 7.5. Sơ đồ cơ sở của mô hình nhận dạng hệ phi tuyến dùng hệ thống mờ

Các cặp số liệu Vào-Ra ở đây là  $(x_n^{k+1}; y_n^{k+1})$ , trong đó  $x_n^{k+1} = (y(k), \dots, y(k - n + 1); u(k), \dots, u(k - m + 1))$ ,  $y_n^{k+1} = y(k+1)$  với  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Vì hệ thống là động, nên ở mỗi thời điểm chỉ có 1 cặp số liệu này. Thao tác của quá trình nhận dạng có trình tự như từ bước 1 đến bước 5 của mục 7.3.1.2. Lưu ý rằng  $p$  chính là  $k$  ở (7.11) và (7.12), còn  $n$  ở (7.1) bằng  $n + M$ .

### Ví dụ 7.1

Cho đối tượng cần nhận dạng được mô tả bởi phương trình:

$$y(k+1) = 0.3y(k) + 0.6y(k-1) + g[u(k)] \quad (7.13)$$

Hàm chưa biết  $g(u)$  có dạng:  $g(u) = 0.6\sin(\pi u) + 0.3\sin(3\pi u) + 0.1\sin(5\pi u)$ .

Từ (7.12) ta chọn phương trình của mô hình nhận dạng là:

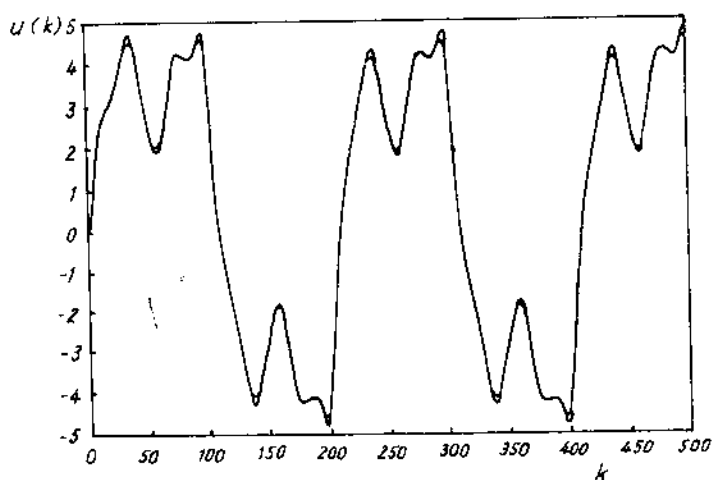
$$\hat{y}(k+1) = 0.3\hat{y}(k) + 0.6\hat{y}(k-1) + \hat{f}[u(k)] \quad (7.14)$$

trong đó:  $\hat{f}[*]$  có dạng (7.1) với  $M = 10$ .

Dùng thuật toán từ (7.5) đến (7.9) và chọn  $\alpha = 0.5$ , hệ thống làm việc ở thời gian thực.

Ta bắt đầu tính toán từ điểm  $k = 10$  và chính định  $y^1, x_1^1, \sigma_1^1$  ở mỗi thời điểm tính một lần (7.5) đến (7.9).

Hình 7.6 ghi lại tín hiệu ra của đối tượng, tín hiệu ra của mô hình và kết thúc ở  $k = 200$ . Tín hiệu vào  $u(k) = \sin(2\pi k/200)$ . Từ hình 7.6 ta thấy đầu ra của mô hình hầu như theo kịp đầu ra của đối tượng không chậm trễ.



Hình 7.6. Đầu ra của đối tượng và đầu ra của mô hình nhận dạng và kết thúc ở  $k = 200$

## 7.3.2. Phương pháp sai số bình phương cực tiểu hồi qui

### 7.3.2.1 Phương pháp thiết kế

Trong phần 7.3.1 ta đã thiết kế bộ điều khiển mờ dựa vào tiêu chuẩn tối thiểu hóa sai số  $e^p$  theo (7.2) bằng cách tính sai số  $e^p$  ở mỗi cặp  $x_0^n, y_0^n$  được cập nhật ở mỗi thời điểm tính toán (thời điểm gián đoạn  $k$ ). Mở rộng khái niệm đó, ở đây ta dùng tiêu chuẩn tối thiểu hoá tổng của các sai số cho tất cả các cặp số liệu Vào–Ra, nghĩa là:

$$J_p = \sum_{j=1}^p \left[ f(x_j^I) - y_j^I \right]^2 \quad (7.15)$$

Vì hệ thống được thiết kế là hồi qui, nghĩa là nếu  $f_p$  là quan hệ mờ tìm được theo thuật toán cực tiểu  $J_p$  thì  $f_p$  có thể biểu diễn như là một hàm của  $f_{p-1}$ . Các bước tiến hành cụ thể như sau:

**Bước 1.** Giả thiết  $U = [\alpha_1, \beta_1] \times \dots \times [\alpha_n, \beta_n] \subset R^n$ . Với mỗi khoảng  $[\alpha_i, \beta_i]$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) sẽ xác định  $N_i$  tập mờ  $A_i^{l_i}$  ( $l_i = 1, 2, \dots, N_i$ ). Ví dụ chọn  $A_i^{l_i}$  là tập mờ hình thang với  $\mu_{A_i^{l_i}}(x_i) = \mu_{A_i^{l_i}}(x_i, a_i^{l_i}, b_i^{l_i}, d_i^{l_i})$  trong đó  $a_i^{l_i} = b_i^{l_i} = \alpha_i$ ,  $c_i^{l_i} \leq \alpha_i^{l+1} < d_i^{l_i} \leq b_i^{l+1}$  với  $j = 1, 2, \dots, N_{i+1}$  và  $c_i^{N_i} = d_i^{N_i} = \beta_i$ .

**Bước 2.** Chọn cấu trúc tập mờ từ  $\prod_{i=1}^n N_i$  luật mờ. Nếu...Thì:

$$\text{Nếu } x_i \text{ là } A_i^{l_i} \text{ và... và } x_n \text{ là } A_n^{l_n} \text{ Thì } y \text{ là } B^{l_1 \dots l_n} \quad (7.16)$$

trong đó  $l_i = 1, 2, \dots, N_i$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$  và  $B^{l_1 \dots l_n}$  là tập mờ có tâm ở  $y^{l_1 \dots l_n}$  hoàn toàn thay đổi tùy ý.

Giả thiết chọn phương pháp mờ hóa đơn trị, giải mờ trung bình tâm, luật hợp thành Max-Prod thì quan hệ mờ là :

$$f(x) = \frac{\sum_{l_1=1}^{N_1} \dots \sum_{l_n=1}^{N_n} y^{l_1 \dots l_n} \left[ \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^{l_i}}(x_i) \right]}{\sum_{l_1=1}^{N_1} \dots \sum_{l_n=1}^{N_n} \left[ \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^{l_i}}(x_i) \right]} \quad (7.17)$$

trong đó:  $y^{l_1 \dots l_n}$  là các tham số tự do sẽ được thiết kế và  $A_i^{l_i}$  được tính ở bước 1.

Nhóm các tham số tùy ý  $y^{l_1 \dots l_n}$  thành một vectơ kích thước  $\prod_{i=1}^n N_i$ .

$$\theta = (y^{1,1}, \dots, y^{N_1+1,1}, y^{1,2}, \dots, y^{N_2+1,2}, \dots, y^{1,N}, \dots, y^{N_N+1,N})^T \quad (7.18)$$

Và ta viết lại (7.17) như :

$$f(x) = b^T(x). \theta \quad (7.19)$$

$$\text{trong đó : } b(x) = (b^{1,1}(x), \dots, b^{N_1+1,1}(x))^T \quad (7.20)$$

$$b^{i,1}(x) = \frac{\prod_{j=1}^n \mu_{A_j}^1(x_j)}{\sum_{i_1=1}^{N_1} \dots \sum_{i_n=1}^{N_n} \left[ \prod_{j=1}^n \mu_{A_j}^{i_j}(x_j) \right]} \quad (7.21)$$

**Bước 3.** Chọn tham số ban đầu  $\theta(0)$  như sau:

Nếu có luật từ chuyên gia (luật trị giác) thì phần Nếu... của nó như phần Nếu ở (7.16) thì chọn  $y^{1,1}(0)$  là các tâm của phần Thì của các tập mờ; Nếu chưa có thì chọn  $\theta(0)$  tùy ý trong không gian số liệu ra  $V \subset \mathbb{R}$  (chẳng hạn chọn  $\theta(0) = 0$  hoặc là các phần tử của  $\theta(0)$  giống nhau phân bố trên  $V$ ). Như vậy ta nói rằng, chọn tham số ban đầu theo kinh nghiệm chuyên gia (trị giác).

**Bước 4.** Với  $p = 1, 2, \dots$ , tính tham số  $\theta$  theo thuật toán bình phương nhỏ nhất hồi qui :

$$\theta(p) = \theta(p-1) + K(p) [y_0^p - b^T(x_0^p). \theta(p-1)] \quad (7.22)$$

$$K(p) = P(p-1) b(x_0^p) [b^T(x_0^p). P(p-1). b(x_0^p) + I]^{-1} \quad (7.23)$$

$$P(p) = P(p-1) - P(p-1) b(x_0^p) [b^T(x_0^p). P(p-1). b(x_0^p) + I]^{-1} b^T(x_0^p) P(p-1) \quad (7.24)$$

trong đó  $\theta(0)$  chọn như bước 3,  $P(0) = \sigma I$  với  $\sigma$  là hằng số lớn.

Quan hệ mờ được thiết kế như (7.17) với các tham số  $y^{1,1}$  tương ứng bằng các phần tử trong  $\theta(p)$ .

Thuật toán bình phương cực tiểu hồi qui (7.22) ÷ (7.24) sẽ nhận được bằng cách cực tiểu hoá  $J_p$  ở (7.15) với  $f(x_0^j)$  ở (7.17).

### 7.3.2.2. Thuật toán đạo hàm $J_p$

Ta xét thuật toán đạo hàm  $J_p$  ở (7.15).

Ta đặt  $Y_0^{p-1} = (y_0^1, \dots, y_0^{p-1})$  và  $B_{p-1} = (b(x_0^1), \dots, b(x_0^{p-1}))^T$ . Từ (7.19) ta viết lại  $J_{p-1}$  dạng :

$$J_p \approx \sum_{i=1}^{p-1} [f(x_i^1) - y_i^1]^2 \approx (B_{p-1}\theta - Y_0^{p-1})^T (B_{p-1}\theta - Y_0^{p-1}) \quad (7.25)$$

Vì  $J_p$  là hàm bậc 2 của  $\theta$ , mà  $\hat{\theta}$  tối ưu để cực tiểu  $J_p$  được thể hiện ở  $\theta(p-1)$  thành:

$$\theta(p-1) = (B_{p-1}^T B_{p-1})^{-1} B_{p-1}^T Y_0^{p-1} \quad (7.26)$$

Khi có cặp Vào-Ra  $(x_0^p, y_0^p)$  thì tiêu chuẩn thay đổi  $J_p$  ở (7.15) được viết lại thành:

$$J_p = \left[ \begin{pmatrix} B_{p-1} \\ b^T(x_0^p) \end{pmatrix} \theta - \begin{pmatrix} Y_0^{p-1} \\ y_0^p \end{pmatrix} \right]^T \left[ \begin{pmatrix} B_{p-1} \\ b^T(x_0^p) \end{pmatrix} \theta - \begin{pmatrix} Y_0^{p-1} \\ y_0^p \end{pmatrix} \right] \quad (7.27)$$

Tương tự (7.26), tối ưu  $\theta$  để cực tiểu  $J_p$  được thể hiện qua  $\theta(p)$  là :

$$\begin{aligned} \theta(p) = & \left[ \begin{pmatrix} B_{p-1}^T & b^T(x_0^p) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_{p-1} \\ b^T(x_0^p) \end{pmatrix} \right]^{-1} \begin{pmatrix} B_{p-1}^T & b^T(x_0^p) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_0^{p-1} \\ y_0^p \end{pmatrix} \\ & + \left[ B_{p-1}^T B_{p-1} + b(x_0^p) b^T(x_0^p) \right]^{-1} \left[ B_{p-1}^T Y_0^{p-1} + b(x_0^p) y_0^p \right] \end{aligned} \quad (7.28)$$

Để ngắn gọn hơn (7.28) ta viết chỉ số ma trận dạng :

$$(p^{-1} + b b^T)^{-1} = p^{-1} - p b (b^T p b + 1)^{-1} b^T p \quad (7.29)$$

Đặt  $P(p-1) = (B_{p-1}^T B_{p-1})^{-1}$  và dùng (7.29) ta viết lại (7.28) dạng:

$$\begin{aligned} \theta(p) = & \left\{ P(p-1) - P(p-1) b(x_0^p) \left[ b^T(x_0^p) P(p-1) b(x_0^p) + 1 \right]^{-1} \right. \\ & \left. b^T(x_0^p) P(p-1) \right\} \begin{bmatrix} B_{p-1}^T Y_0^{p-1} + b(x_0^p) y_0^p \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7.30)$$

Vì  $P(p-1) B_{p-1}^T Y_0^{p-1} = (B_{p-1}^T B_{p-1})^{-1} B_{p-1}^T Y_0^{p-1} = \theta(p-1)$  (xem (7.26) nên ta có thể đơn giản (7.30) thành :

$$\begin{aligned} \theta(p) = & \theta(p-1) - P(p-1) b(x_0^p) \left[ b^T(x_0^p) P(p-1) b(x_0^p) + 1 \right]^{-1} b^T(x_0^p) \theta(p-1) + \\ & + P(p-1) b(x_0^p) \left[ 1 - \left( b^T(x_0^p) P(p-1) b(x_0^p) + 1 \right)^{-1} b^T(x_0^p) P(p-1) b(x_0^p) \right] y_0^p \\ = & \theta(p-1) + P(p-1) b^T(x_0^p) \left[ b^T(x_0^p) P(p-1) b(x_0^p) + 1 \right]^{-1} \left( y_0^p - b^T(x_0^p) \theta(p-1) \right) \end{aligned} \quad (7.31)$$

Đặt  $K(p) = P(p-1) b(x_0^p) \left[ b^T(x_0^p) P(p-1) b(x_0^p) + 1 \right]^{-1}$ , dùng (7.22), (7.23), (7.24) ta được :

$$P(p) = \left[ \begin{pmatrix} B_{p-1}^T & b(x_{p-1}^p) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_{p-1} \\ b^T(x_{p-1}^p) \end{pmatrix} \right]^{-1} \left[ B_{p-1}^T B_{p-1} + b(x_{p-1}^p) b^T(x_{p-1}^p) \right]^{-1} \quad (7.32)$$

Viết ở dạng ma trận (7.29) và thực tế  $B_{p-1}^T B_{p-1} = P_{p-1}^{-1}(p-1)$  ta sẽ được (7.24) từ (7.32).

## 7.4. VẤN ĐỀ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ

Ta thấy rằng mô hình toán học của đối tượng không phải là điều kiện cần cho việc thiết kế bộ điều khiển mờ, tuy nhiên khi phân tích hệ thống mờ đã được thiết kế thì ít nhất ta cũng phải biết mô hình thô của đối tượng. Hơn nữa chúng ta cần phải thiết kế bộ điều khiển mờ để hệ thống đảm bảo được những tiêu chuẩn nào đó, chẳng hạn ít ra cũng là tiêu chuẩn ổn định, do vậy ta cần phải giả thiết một mô hình toán học cho đối tượng để phân tích toán học các chỉ tiêu của hệ đã thiết kế.

Ở đây ta chỉ xét hệ tuyến tính và nhiệm vụ đặt ra là hãy thiết lập các điều kiện cho bộ điều khiển mờ để cho hệ thống điều khiển mờ là ổn định.

### 7.4.1. Vấn đề ổn định hệ mờ khi hệ chỉ có một Vào một Ra (SISO)

Ta biết bất kỳ một hệ điều khiển nào thì ổn định cũng là yêu cầu quan trọng nhất, vì hệ không ổn định sẽ không thể làm việc và rất nguy hiểm. Theo quan niệm chung ta có 2 cấp ổn định: ổn định Liapunov và ổn định Vào-Ra, trong mỗi cấp ổn định lại có một số quan niệm ổn định riêng.

1. Với ổn định Liapunov. Ta xét một hệ ôtonôm:

$$\dot{x}(t) = g[x(t)] \quad (7.33)$$

trong đó  $x \in \mathbb{R}^n$  và  $g(x)$  là hàm vectơ kích thước  $n \times 1$ .

Giả thiết  $g(0) = 0$ , như vậy điểm  $x = 0$  là điểm cân bằng của hệ thống. Ta có các định nghĩa sau:

**Định nghĩa:** Điểm cân bằng  $x = 0$  được gọi là ổn định nếu với một số  $\epsilon > 0$  bất kỳ mà tồn tại một  $\delta > 0$  để cho  $\|x(0)\| < \delta$ , cũng **có nghĩa**  $\|x(t)\| < \epsilon$  cho tất cả  $t \geq 0$ .

Ổn định tiệm cận là ổn định và tồn tại  $\delta' > 0$  như thế nào để  $\|x(0)\| < \delta'$ , cũng có nghĩa là  $x(t) \rightarrow 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ .

Điểm cân bằng  $x = 0$  được gọi là ổn định hàm mũ nếu tồn tại các số dương  $\alpha$ ,  $\lambda$  và  $r$  mà:

$$\|x(t)\| \leq \alpha \|x(0)\| e^{-\lambda t} \quad (7.34)$$

đối với tất cả  $t \geq 0$  và  $\|x(0)\| \leq r$ .

Nếu ổn định tiệm cận và ổn định hàm mũ với trạng thái ban đầu bất kỳ  $x(0)$  thì điểm cân bằng  $x = 0$  là điểm ổn định tiệm cận toàn cục và ổn định hàm mũ toàn cục.

## 2. Với ổn định Vào - Ra

Ta xét một hệ bất kỳ như là một ánh xạ của đầu vào  $u(t) \in \mathbb{R}^1$  thành đầu ra  $y(t) \in \mathbb{R}^m$

**Định nghĩa:** Cho  $L_p^n$  là tập tất cả các hàm vectơ  $g(t) = (g_1(t), \dots, g_n(t))^T: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}^n$  như thế nào để:

$$\|g\|_p = \left( \sum_{i=1}^n \|g_i\|_p^p \right)^{1/p} \leq \infty$$

$$\text{trong đó: } \|g_i\|_p = \left( \int_0^\infty |g_i(t)|^p dt \right)^{1/p} \quad p \in [1, \infty] \quad \text{và} \quad \|g_i\|_\infty = \sup_{t \in [0, \infty)} |g_i(t)|$$

Một hệ thống với đầu vào  $u(t) \in \mathbb{R}^1$  và đầu ra  $y(t) \in \mathbb{R}^m$  là ổn định  $L_p$ , nếu:

$$u(t) \in L_p \quad \text{thì} \quad y(t) \in L_p^m \quad (7.35)$$

trong đó  $p \in [0, \infty]$ .

Trường hợp riêng, hệ thống là ổn định  $L_\infty$  kiểu BIBO (bounded input-bounded output) nếu  $u(t) \in L^1$ , thì  $y(t) \in L^m$ , nghĩa là tín hiệu vào bị chặn thì tín hiệu ra cũng bị chặn.

Bây giờ ta xét hệ tuyến tính SISO (một vào - một ra) với bất biến thời gian được thể hiện bằng mô hình biến trạng thái sau:

$$\dot{x}(t) = A \cdot x(t) + b \cdot u(t) \quad (7.36)$$

$$y(t) = c \cdot x(t) \quad (7.37)$$

trong đó  $u \in \mathbb{R}$  là tín hiệu điều khiển,  $y \in \mathbb{R}$  là tín hiệu ra,  $x \in \mathbb{R}^n$  là vectơ trạng thái.

Ta có một số khái niệm quan trọng cho hệ tuyến tính này như sau:

Hệ điều khiển được, quan sát được và phần thực dương. Hệ thống (7.36), (7.37) là :

- hệ điều khiển được nếu:

$$\text{Hạng} [b \ AB \dots \ A^{n-1}b] = n \quad (7.38)$$

- hệ quan sát được nếu:

$$\text{Hạng} \begin{pmatrix} C \\ CA \\ \dots \\ CA^{n-1} \end{pmatrix} = n \quad (7.39)$$

Hàm truyền đạt của hệ  $h(s) = c(sI - A)^{-1}b$  là có phần thực thực sự dương nếu:

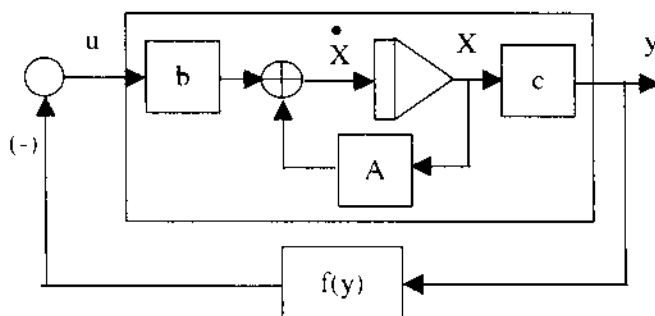
$$\inf_{\omega \in \mathbb{R}} \operatorname{Re} [h(j\omega)] > 0. \quad (7.40)$$

## 7.4.2. Ổn định hàm mũ của hệ mờ và việc thiết kế bộ điều khiển mờ ổn định

Giả thiết hệ điều khiển có sơ đồ khối như ở hình 7.7, theo đó ta có:

$$u(t) = -f[y(t)] \quad (7.41)$$

trong đó  $f$  là quan hệ mờ.



Hình 7.7. Hệ điều khiển mờ kín

Người ta đã chứng minh được rằng, nếu xét hệ thống kín theo (7.36), (7.37) và (7.41) và giả thiết:

- Tất cả các giá trị riêng của  $A$  đều nằm ở nửa trái của mặt phẳng phức.
- Hệ thống (7.36), (7.37) là điều khiển được và quan sát được.
- Hàm truyền đạt của (7.36), (7.37) có phần thực thực sự dương.

Nếu hàm phi tuyến  $f(y)$  thoả mãn:

$$f(0) = 0 \text{ và } y^T f(y) \geq 0 \text{ với mọi } y \in \mathbb{R}^m \quad (7.42)$$

thì điểm cân bằng  $x=0$  của hệ kín (7.36), (7.37), (7.41) là ổn định hàm mũ toàn cục.



Các điều kiện a), b), c) là điều kiện đặt ra cho đối tượng, không phải các điều kiện cho bộ điều khiển. Về thực chất các điều kiện trên là yêu cầu của bản thân hệ được điều khiển (phần sơ đồ có tín hiệu vào  $u$  và tín hiệu ra  $y$  ở hình 7.7) phải ổn định và có đặc tính quá độ tốt.

Những giả thiết a), b), c) sẽ đảm bảo cho bộ điều khiển mờ được thiết kế theo quan hệ  $f(y)$  thoả mãn  $f(0) = 0$  và (7.42) thì hệ kín sẽ ổn định hàm mũ toàn cục.

### Các bước thiết kế bộ điều khiển mờ ổn định SISO

**Bước 1.** Giả thiết tín hiệu ra  $y(t)$  có giá trị nằm trong khoảng  $[\alpha, \beta] \subset \mathbb{R}$ . Chọn  $2N + 1$  tập mờ  $A$  dạng tam giác hoặc hình thang trong khoảng đó (hình 7.8), trong đó  $N$  tập mờ  $A^1, \dots, A^N$  sẽ phủ khoảng âm  $[\alpha, 0]$ , còn  $N$  tập mờ từ  $A^{N+1}, \dots, A^{2N+1}$  phủ đoạn dương  $[0, \beta]$ , tâm  $x^{N+1}$  của tập mờ  $A^{N+1}$  nằm ở 0.

**Bước 2.** Xét  $2N+1$  tập qui tắc "Nếu... Thì":

$$\text{Nếu } y \text{ là } A^l \text{ Thì } u \text{ là } B^l \quad (7.43)$$

trong đó  $l = 1, 2, \dots, 2N+1$  và tâm  $y^l$  của tập  $B^l$  chọn như sau:

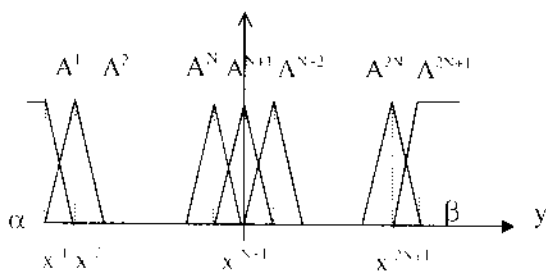
$$y^l = \begin{cases} \leq 0 & \text{với } l = 1, \dots, N \\ = 0 & \text{với } l = N+1 \\ \geq 0 & \text{với } l = N+2, \dots, 2N+1 \end{cases} \quad (7.44)$$

**Bước 3.** Thiết kế bộ điều khiển mờ từ  $2N+1$  luật Nếu... Thì (7.43) và dùng luật hợp thành Max-Prod, mờ hóa đơn trị và giải mờ theo trung bình tam, ta được:

$$u = f(y) = \frac{\sum_{l=1}^{2N+1} y^l \mu_{A^l}(y)}{\sum_{l=1}^{2N+1} \mu_{A^l}(y)} \quad (7.45)$$

trong đó  $\mu_{A^l}(y)$  phủ ở hình 7.8.

Bộ điều khiển mờ (7.45) đảm bảo cho hệ kín ổn định.



Hình 7.8

### 7.4.3. Ổn định vào-ra của hệ mờ

Hệ thống mờ như ở hình 7.7 không có tín hiệu vào tường minh, để nghiên cứu ổn định vào-ra ta xét hệ có tín hiệu vào  $u$  rõ rệt như sơ đồ khối ở hình 7.9.

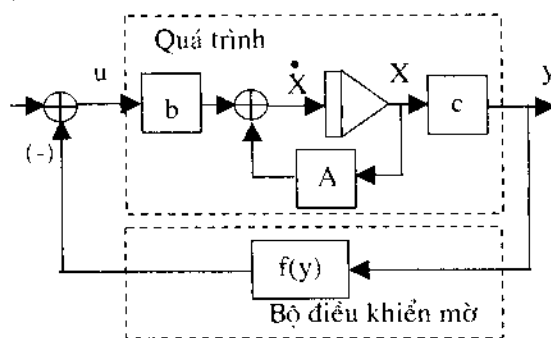
Giả thiết ta xét hệ ở hình 7.9 và giả sử quan hệ phi tuyến  $f(y)$  là hàm liên tục toàn cục, nghĩa là:

$$|f(y_1) - f(y_2)| \leq \alpha |y_1 - y_2|, \quad \forall y_1, y_2 \in \mathbb{R} \quad (7.46)$$

$\alpha$  là một hằng số nào đó.

Nếu hệ thống hở  $\dot{x} = Ax$  là ổn định hàm mũ (nghĩa là giá trị riêng của ma trận  $A$  nằm ở nửa trái mặt phẳng phức) thì hệ thống kín ở hình 7.9 là ổn định  $L_p$  cho tất cả  $p \in [1, \infty]$ .

Như vậy bộ điều khiển mờ được thiết kế với quan hệ  $f(y)$  thoả mãn (7.46) thì hệ thống kín ở hình 7.9 là ổn định  $L_p$ .



Hình 7.9

Ta cần kiểm tra là bộ điều khiển mờ (7.45) được thiết kế theo 3 bước ở trên có thoả mãn điều kiện (7.46) hay không và ta thấy rõ bộ điều khiển mờ  $f(y)$  theo (7.45) là liên tục, bị chặn ở hai đầu, tuyến tính từng đoạn nên thoả mãn điều kiện (7.46).

## 7.5. BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ TỐI ƯU VÀ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ BỀN VỮNG (OPTIMAL AND ROBUST CONTROLLERS)

### 7.5.1. Điều khiển mờ tối ưu

#### 7.5.1.1. Tóm tắt nguyên lý cực tiểu của Pontryagin

Xét một hệ thống:

$$\dot{x}(t) = g[x(t), u(t)] \quad (7.47)$$

với điều kiện đầu là  $x(0) = x_0$ , trong đó  $x \in \mathbb{R}^n$  là biến trạng thái,  $u \in \mathbb{R}^m$  là biến điều khiển,  $g$  là một hàm tuyến tính hoặc phi tuyến.

Vấn đề điều khiển tối ưu cho hệ thống (7.47) được mô tả như sau:

Hãy xác định tín hiệu điều khiển  $u(t)$  như thế nào để thực hiện được tiêu chuẩn sau đây là cực tiểu:

$$J = S[x(T)] + \int_0^T L[x(t), u(t)] dt \quad (7.48)$$

trong đó  $S$  và  $L$  là một hàm nào đó;  $T$  là một khoảng thời gian xác định.

Vấn đề điều khiển tối ưu có thể được giải quyết bằng cách dùng nguyên lý cực tiểu của Pontryagin với cách làm như dưới đây.

Đầu tiên xác định hàm Hamilton:

$$H(x,u,p) = L[x(t), u(t)] + p^T(t)g[x(t), u(t)]; \quad (7.49)$$

và tìm  $u = h(x,p)$  như thế nào để  $H(x,u,p)$  là cực tiểu với  $u$  này. Thay thế  $u = h(x,p)$  vào (7.49) và xác định:

$$H^*(x,p) = H[x, h(x,p), p]; \quad (7.50)$$

Tiếp theo giải 2<sup>n</sup> phương trình vi phân với 2 điều kiện biên:

$$\dot{\hat{x}}(t) = \frac{\partial H^*}{\partial p}; \quad \hat{x}(0) = x_0; \quad (7.51)$$

$$\dot{\hat{p}}(t) = -\frac{\partial H^*}{\partial x}; \quad \hat{p}(T) = \frac{\partial S}{\partial x}|_{x(T)}; \quad (7.52)$$

Khi đã tìm được  $\hat{x}^*(t)$  và  $\hat{p}^*(t)$  từ (7.51) và (7.52) (thường gọi là quỹ đạo tối ưu), ta sẽ tìm được tín hiệu điều khiển tối ưu:

$$u^*(t) = h[\hat{x}^*(t), \hat{p}^*(t)]. \quad (7.53)$$

### 7.5.1.2. Thiết kế bộ điều khiển mờ tối ưu

Giả thiết đối tượng là hệ tuyến tính bất biến thời gian được mô tả bởi:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + B u(t); \quad \hat{x}(0) = x_0 \quad (7.54)$$

trong đó  $\hat{x} \in \mathbb{R}^n$  và  $u \in \mathbb{R}^m$  và tiêu chuẩn tối ưu là hàm toàn phương:

$$J = \hat{x}^T(T).M.\hat{x}(T) + \int_0^T [\hat{x}^T(T).Q.\hat{x}(t) + u^T(t).r.u(t)] dt \quad (7.55)$$

trong đó các ma trận  $M \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$  và  $R \in \mathbb{R}^{m \times m}$  là các định thức đối xứng và dương.

Giả thiết hàm liên thuộc có dạng như ở hình 7.8, luật hợp thành là Max-Prod, mờ hoá đơn trị và giải mờ theo phương pháp trung bình tâm. Bộ điều khiển mờ sẽ tạo ra tín hiệu điều khiển  $u(t) = (u_1, \dots, u_m)^T$  có dạng:

$$u_i = -f_i(x) = -\frac{\sum_{j=1}^{2N-1} \dots \sum_{j_{i-1}=1}^{2N-1} y_{j_1 \dots j_{i-1}} \left( \prod_{l=1}^i \mu_{A_l}^{j_l}(x_l) \right)}{\sum_{j_1=1}^{2N-1} \dots \sum_{j_{i-1}=1}^{2N-1} \left( \prod_{l=1}^i \mu_{A_l}^{j_l}(x_l) \right)} \quad (7.56)$$

trong đó  $j = 0, 1, \dots, m$ .

Nhiệm vụ của ta là xác định các tham số  $y_i^{1, \dots, l_i}$  như thế nào để  $J$  ở (7.55) là cực tiểu.

Định nghĩa các hàm mờ cơ sở  $b(x) = (b_1(x), \dots, b_N(x))^T$  là:

$$b_l = - \frac{\prod_{i=1}^n \mu_{A_i}^1(x_i)}{\sum_{l=1}^{2N_1+1} \dots \sum_{l_n=1}^{2N_n+1} \left( \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}^1(x_i) \right)} \quad (7.57)$$

trong đó  $l_i = 1, 2, \dots, 2N_i + 1$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$  và  $N = \prod_{i=1}^n (2N_i + 1)$

Định nghĩa ma trận tham số  $\theta \in \mathbb{R}^{m \times N}$  dạng :

$$\theta = \begin{bmatrix} -\theta_1^T \\ \dots \\ -\theta_m^T \end{bmatrix}; \quad (7.58)$$

trong đó  $\theta_l^T \in \mathbb{R}^{1 \times N}$  chứa  $N$  tham số  $y_i^{1, \dots, l_i}$  với  $l_i = 1, 2, \dots, 2N_i + 1$  có cùng cấp như  $b_l(x)$  với  $l = 1, 2, \dots, N$ .

Sử dụng các lưu ý này ta có thể viết lại tín hiệu điều khiển:

$$u = (u_1, \dots, u_m)^T = (-f_1(x), \dots, -f_m(x))^T \text{ dạng } u = \theta \cdot b(x) \quad (7.59)$$

Để được tối ưu cực trị ta giả thiết tham số của ma trận  $\theta$  là hàm của thời gian,  $\theta = \theta(t)$ .

Thay (7.59) vào (7.54) và (7.55) ta được phương trình hệ kín :

$$\dot{x}(t) = A x(t) + B\theta(t)b[x(t)]; \quad (7.60)$$

và tiêu chuẩn  $J$  là:

$$J = x^T(T) \cdot M \cdot x(T) + \int_0^T \left[ x^T(t) \cdot Q \cdot x(t) + b^T(x(t)) \left( \theta^T(t) \cdot R \cdot \theta(t) \cdot b(x(t)) \right) \right] dt \quad (7.61)$$

Do vậy vấn đề thiết kế bộ điều khiển mờ tối ưu trở thành vấn đề xác định  $\theta(t)$  tối ưu để cho  $J$  ở (7.61) là cực tiểu.

Ta có thể dùng nguyên lý cực tiểu của Pontryagin để xác định  $\theta(t)$  tối ưu theo (7.49)-(7.53). Như vậy:

$$H(x, \theta, p) = x^T Q x + b^T(x) \theta^T R \theta b(x) + p^T [Ax + B \theta b(x)]; \quad (7.61a)$$

Đạo hàm  $\partial H / \partial \theta$  và cho bằng 0 ta được:

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = 2R \theta b(x) b^T(x) + B^T p b^T(x) = 0 \quad (7.62)$$

Từ đó ta được:

$$\theta = -\frac{1}{2} R^{-1} B^T p b^T(x) [b(x) b^T(x)]^{-1} \quad (7.63)$$

Thay (7.64) vào (7.62) ta được:

$$\begin{aligned} H(x, p) &= x^T Q x + p^T A x + \frac{1}{4} b^T(x) [b(x) b^T(x)]^{-1} b(x) p^T B R^{-1} B^T p b^T(x) \\ &\quad \left[ b(x) b^T(x) \right]^{-1} b(x) - \frac{1}{2} p^T B R^{-1} B^T p b^T(x) [b(x) b^T(x)]^{-1} b(x) = \quad (7.65) \\ &= x^T Q x + p^T A x + [\alpha^2(x) - \alpha(x)] p^T B R^{-1} B^T p \end{aligned}$$

$$\text{trong đó: } \alpha(x) = (1/2) b^T(x) [b(x) b^T(x)]^{-1} b(x); \quad (7.66)$$

Dùng  $H$  tính được thay vào (7.51) và (7.52) ta có:

$$\dot{x} = \frac{\partial H}{\partial p} = A x + 2 [\alpha^2(x) - \alpha(x)] B R^{-1} B^T p; \quad (7.67)$$

$$\dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial x} = -2 Q x - A^T p - [2\alpha(x) - 1] \frac{\partial \alpha(x)}{\partial x} p^T B R^{-1} B^T p \quad (7.68)$$

Với điều kiện đầu  $x(0) = x_0$  và  $p(T) = 2Mx(T)$ . Lấy giá trị  $\dot{x}^*(t)$  và  $\dot{p}^*(t)$  với  $(t \in [0, T])$  ở (7.67) và (7.68) ta sẽ được tham số của bộ điều khiển mờ là:

$$\theta^*(t) = -\frac{1}{2} R^{-1} B^T p^*(t) b^T(x^*(t)) [b(x^*(t)) b^T(x^*(t))]^{-1} \quad (7.69)$$

Tín hiệu điều khiển mờ tối ưu là:

$$u^* = \theta^*(t) b(x). \quad (7.70)$$

Lưu ý rằng bộ điều khiển mờ thiết kế theo (7.70) là bộ điều khiển mờ theo biến trạng thái cho hệ kín, với các hệ số thay đổi theo thời gian.

Tóm tắt các bước thiết kế bộ điều khiển này như sau:

**Bước 1.** Chọn các hàm liên thuộc  $\mu_{A_i}^1(x_i)$  phủ hết không gian trạng thái, trong đó:  $i = 1, 2, \dots, 2N_t + 1$  và  $i = 1, 2, \dots, n$ . Ta có thể không chọn hàm liên thuộc như ở hình

7.8 vì hàm  $\alpha(x)$  với hàm liên thuộc loại đó sẽ không đạo hàm được (ta cần  $\partial\alpha(x)/\partial x$  kiểu (7.68)), có thể chọn hàm liên thuộc  $\mu_{\lambda}^1(x_i)$  dạng hàm Gaus chẳng hạn.

**Bước 2.** Tính toán các hàm mờ cơ sở  $b_i(x)$  từ (7.57) và  $\alpha(x)$  từ (7.66). Tính đạo hàm  $\partial\alpha(x)/\partial x$ .

**Bước 3.** Giải phương trình vi phân với hai điểm biên (7.67) và (7.68), ta được  $x^*(t)$  và  $p^*(t)$ ,  $t \in [0, T]$ . Tính  $\theta^*(t)$  với  $t \in [0, T]$  từ (7.69).

**Bước 4.** Thay kết quả vào (7.70) để được bộ điều khiển mờ tối ưu.

Lưu ý rằng các bước 1 đến bước 3 có thể tính toán trước (off-line). Đầu tiên tính  $\theta^*(t)$  theo bước 1 đến bước 3 và lưu giữ  $\theta^*(t)$  với  $t \in [0, T]$  vào máy tính, sau đó mới phải thực hiện tính toán bộ điều khiển mờ tối ưu với thời gian thực (on-line) bằng cách thay  $\theta^*(t)$  vào (7.70).

Phân khó khăn của quá trình tính toán là việc giải phương trình vi phân (7.67) và (7.68), đây là các phương trình phi tuyến nên thường dùng phương pháp số để giải các phương trình này.

### 7.5.2. Điều khiển mờ bền vững (Robust Fuzzy Control)

Hầu như với tất cả các bài toán thực tế và đặc biệt là các hệ thống công nghiệp thì các mô hình của đối tượng mà ta có được bao giờ cũng chỉ là gần đúng, trong khi các bộ điều khiển lại thiết kế theo mô hình, nghĩa là rất đúng về lý thuyết và đẹp dễ khi mô hình hoá, tuy vậy khi áp dụng các bộ điều khiển cho thiết bị thực lại gặp rất nhiều sai lệch và khó khăn. Hệ điều khiển bền vững nhằm khắc phục khó khăn đó. Mục tiêu của nghiên cứu điều khiển bền vững là thiết kế được bộ điều khiển đảm bảo sự ổn định của hệ kín cho một dãy rộng của đối tượng. Sau đây ta chỉ xét bộ điều khiển mờ bền vững cho hệ tuyến tính.

Ta xét hệ thống như trên hình 7.7 với đối tượng điều khiển được biểu diễn bởi hàm truyền đạt  $G(s)$  và chỉ xét hệ SISO.

Định nghĩa

$$\gamma(G) = \sup_{\omega \in \mathbb{R}} |G(j\omega)|; \quad (7.71)$$

$$\text{và } \Omega_{\alpha} = \{G(s) : \gamma(G) \leq \alpha\} \quad (7.72)$$

Rõ ràng  $\alpha$  càng lớn thì tập các đối tượng trong  $\Omega_{\alpha}$  càng lớn. Như vậy mục tiêu của điều khiển mờ bền vững là thiết kế bộ điều khiển mờ ổn định được cho tất cả các đối tượng trong  $\Omega_{\alpha}$ , với  $\Omega_{\alpha}$  càng lớn càng tốt.

Công cụ toán học chính được sử dụng để nghiên cứu điều khiển bền vững là “Lý thuyết về hệ số khuếch đại nhỏ” (Small Gain Theorem - Vidyasagar, 1993).

Khái niệm về hệ số khuếch đại của hệ phi tuyến được định nghĩa như sau: Giả thiết cho một quan hệ  $f$  là một ánh xạ  $R \rightarrow R$  thỏa mãn  $|f(x)| \leq \gamma |x|$  với  $\gamma$  là một hằng số nào đó và cho tất cả  $x \in R$ . Như vậy hệ số khuếch đại của  $f$  được định nghĩa là :

$$\gamma(f) = \inf \{ \gamma : |f(x)| \leq \gamma |x|, \forall x \in R \}; \quad (7.73).$$

Nội dung của lý thuyết về hệ số khuếch đại nhỏ là:

Giả thiết đối tượng tuyến tính  $G(s)$  là ổn định và ánh xạ phi tuyến  $f(y)$  có bị chặn (có biên) với tín hiệu vào có bị chặn (có biên). Vậy thì hệ điều khiển kín như trên hình 7.7 với đối tượng được biểu diễn bằng  $G(s)$  là ổn định nếu:

$$\gamma(G) \gamma(f) < 1 \quad (7.74)$$

Từ (7.74) ta thấy rằng,  $\gamma(f)$  càng nhỏ thì cho phép  $\gamma(G)$  càng lớn, tương ứng với (7.71)-(7.72) thì  $\gamma(G)$  càng lớn, nghĩa là  $\Omega_a$  càng lớn của các đối tượng mà bộ điều khiển  $f(y)$  vẫn có thể ổn định. Do vậy yêu cầu của điều khiển bền vững là chọn được  $\gamma(f)$  nhỏ đến mức có thể. Trường hợp tới hạn nếu  $f = 0$ , nghĩa là không điều khiển được ở tất cả các đối tượng, điều này sai với thực tế, vì việc dùng điều khiển mạch kín như trên hình 7.7 là để nâng cao chất lượng điều chỉnh.

Điều khiển mờ bền vững hiện vẫn còn là một lĩnh vực mới, còn nhiều vấn đề cần được nghiên cứu.

## 7.6. HỆ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT

Điều khiển trượt là phương pháp điều khiển tiếp cận rất mạnh mẽ để điều khiển các hệ phi tuyến và bất định. Đó là phương pháp điều khiển bền vững và có thể áp cho hệ bất định và tham số bị nhiễu lớn. Khi so sánh giữa điều khiển trượt và điều khiển mờ, ta thấy rất nhiều trường hợp hoạt động của chúng tương tự như nhau, các nhà khoa học đã khai thác quan hệ giữa điều khiển trượt và điều khiển mờ để thiết kế ra bộ điều khiển mờ trượt.

### 7.6.1. Nguyên lý của điều khiển trượt

Xét một hệ phi tuyến kiểu SISO (một vào- một ra) dạng:

$$\dot{X}^{(n)} = f(x) + u \quad (7.75)$$

trong đó  $u \in R$  là tín hiệu điều khiển đầu vào;  $x \in R$  là tín hiệu ra và  $x = (x, \dot{x}, \dots, x^{(n)})^T \in R^n$  là vectơ trạng thái.

Trong (7.75), hàm  $f(x)$  ta chưa biết chính xác, nhưng sự bất định của  $f(x)$  nằm trong một vùng biên nào đó và được thể hiện bằng một hàm đã biết của  $x$ , nghĩa là :

$$f(x) = \hat{f}(x) + \Delta f(x) \quad (7.76)$$

$$\text{và } |\Delta f(x)| \leq F(x) \quad (7.77)$$

trong đó  $\Delta f(x)$  là chưa biết, nhưng  $\hat{f}(x)$  và  $F(x)$  thì đã biết.

Mục đích của công việc là xác định tín hiệu điều khiển  $u = u(x)$  để cho trạng thái  $x$  của hệ kín đạt được là trạng thái mong muốn  $x_d = (x_d, \dot{x}_d, \dots, x_d^{(n)})^T$  nghĩa là sai số :

$$e = x - x_d = (e, \dot{e}, \dots, e^{(n)})^T \quad (7.78)$$

sẽ hội tụ về 0.

Ý tưởng chính của điều khiển trượt như sau:

Định nghĩa một hàm dạng:

$$S(x,t) = \left( \frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} e = e^{(n-1)} + C_{n-1}^1 \lambda e^{(n-2)} + C_{n-1}^2 \lambda^2 e^{(n-3)} + \dots + \lambda^{n-1} e \quad (7.79)$$

trong đó  $\lambda$  là một hằng số dương;  $C$  là tổ hợp chập  $i$  của  $n-1$  yếu tố.

Tiếp đó, cho một mặt  $S(x,t) = 0$  trong không gian trạng thái  $R^n$ . Ví dụ, nếu  $n=2$  thì mặt  $S(x,t)$  là :

$$S(x,t) = \dot{e} + \lambda e = \dot{x} + \lambda x - \dot{x}_d - \lambda x_d = 0 \quad (7.80)$$

là một đường thẳng trong mặt phẳng pha  $(\dot{x}, x)$  như ở hình 7.10. Vì  $\dot{x}_d$  và  $x_d$  là các hàm thời gian nên  $S(t)$  cũng là hàm thời gian. Nếu ta cho trạng thái đầu  $x(0)$  bằng  $x_d(0)$ , nghĩa là  $e(0) = 0$  thì từ (7.79), (7.80) ta thấy rằng: Nếu vectơ trạng thái  $x$  lưu lại ở trên mặt  $S(t)$  với tất cả  $t > 0$  ta sẽ có  $e(t)=0$  với tất cả  $t \geq 0$ . Như vậy điều khiển của chúng ta dựa theo vết kết thúc của vectơ trạng thái tương đương với việc giữ cho hàm  $S(x,t)$  ở giá trị 0. Để đạt mục đích này ta chọn tín hiệu điều khiển  $U$  như thế nào để:

$$\frac{1}{2} \frac{d^2 S}{dt^2} \leq -\eta |s| \quad (7.81)$$

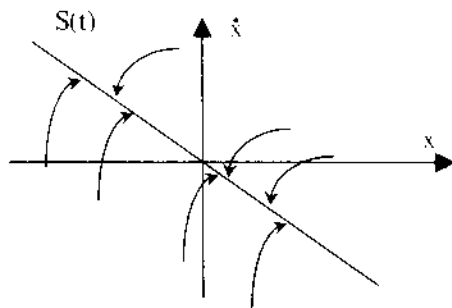
trong đó  $\eta$  là một hằng số dương.

Nếu trạng thái nằm ngoài  $S(t)$  thì phương trình (7.81) được gọi là điều kiện trượt; chính điều kiện trượt này đã đảm bảo cho  $|S(x,t)|$  sẽ chỉ giảm nếu  $x$  không ở trên mặt  $S(t)$ , nghĩa là quỹ đạo trạng thái sẽ hướng về mặt  $S(t)$  như ở hình 7.10. Mặt  $S(t)$  được coi như mặt trượt và điều khiển để đảm bảo thực hiện phương trình (7.81) được gọi là điều khiển trượt.



Tóm lại nếu ta có một hệ phi tuyến như (7.75) và cho  $S(x,t)$  như (7.79), ta có thể thiết kế bộ điều khiển  $u$  để điều kiện trượt (7.81) được thỏa mãn, lúc đó ta có:

- 1) Trạng thái sẽ tiến về mặt trượt  $S(t)$  với một thời gian hữu hạn.
- 2) Nếu có một lần trạng thái đã nằm trên mặt trượt thì nó sẽ lưu lại ở đó.
- 3) Nếu trạng thái lưu lại trên mặt trượt thì sai số  $e(t)$  sẽ hội tụ về 0.



Hình 7.10. Mặt trượt trong mặt phẳng pha  $(x, \dot{x})$

Như vậy mục đích của ta là thiết kế được bộ điều khiển  $u$  để hệ thống kín thỏa mãn điều kiện trượt (7.81).

Ta xét điều kiện trượt cho hệ phi tuyến cấp 2, nghĩa là  $n=2$  trong (7.75), lúc này (7.81) trở thành:

$$S[f(x) + u - \ddot{x}_d + \lambda \dot{e}] \leq -\eta |s| \quad (7.82)$$

Nếu chọn :

$$u = -\hat{f}(x) + \ddot{x}_d - \lambda \dot{e} - K(x, \dot{x}) \operatorname{sgn}(s) \quad (7.83)$$

lúc đó (7.82) trở thành:

$$\operatorname{sgn}(s)[f(x) - \hat{f}(x) - K(x, \dot{x}) \operatorname{sgn}(s)] \leq -\eta \quad (7.84)$$

trong đó  $\operatorname{sgn}(s) = 1$  nếu  $s > 0$  và  $\operatorname{sgn}(s) = -1$  nếu  $s < 0$ ,  $\hat{f}(x)$  là ước lượng của  $f(x)$  như (7.76).

Biến đổi tiếp ta thấy (7.84) sẽ tương đương với:

$$K(x, \dot{x}) \geq \eta + \operatorname{sgn}(s)[\Delta f(x)] \quad (7.85)$$

Do vậy nếu chọn:

$$K(x, \dot{x}) = \eta + F(x) \quad (7.86)$$

thì từ (7.77) ta thấy (7.85) sẽ được đảm bảo và điều kiện trượt (7.81) được thỏa mãn.

Tóm lại bộ điều khiển trượt được thiết kế theo (7.83) với  $K(x, \dot{x})$  như (7.86).

Với hệ phi tuyến (7.75), giả thiết ta chọn phương án điều khiển mờ, nghĩa là để thực hiện điều kiện trượt (7.81) thì tín hiệu điều khiển  $u$  thực hiện bằng bộ điều khiển mờ, ta có:

$$u = u_{mô}(x) \quad (7.87)$$

Yêu cầu đặt ra là phải thiết kế được bộ điều khiển mờ để tạo ra  $u_{mô}(x)$ , với  $u_{mô}(x)$  này sẽ đưa được sai lệch  $e$  về giá trị 0.

Người ta đã chứng minh được rằng, với hệ phi tuyến (7.75) khi xét  $n=2$ , nếu  $u_{mô}(x)$  thỏa mãn điều kiện:

$$u_{mô}(x) \leq -\eta - [\hat{f}(x) + \lambda \dot{e} - \ddot{x}_d], \text{ nếu } \text{sgn}(s) > 0 \quad (7.88)$$

$$u_{mô}(x) \geq \eta - [\hat{f}(x) + \lambda \dot{e} - \ddot{x}_d], \text{ nếu } \text{sgn}(s) < 0 \quad (7.89)$$

thì lúc làm việc sai số  $e = (x - x_d, \dot{x} - \dot{x}_d)^T$  sẽ hội tụ về 0,

trong đó  $\eta, \lambda$  là các hằng số dương và  $s = \dot{e} + \lambda e$ .

Như vậy khi thiết kế bộ điều khiển mờ thỏa mãn (7.88) và (7.89) thì sai lệch  $e$  sẽ hội tụ về 0. Tuy nhiên bộ điều khiển mờ tạo ra  $u_{mô}(x)$  phải thay đổi một cách gián đoạn ở chỗ giao với mặt trượt  $s=0$  và đó là việc rất khó khăn khi thiết kế bộ điều khiển mờ. Hơn nữa việc điều khiển gián đoạn theo (7.83) hoặc (7.88), (7.89) sẽ gây ra hiện tượng đóng cắt liên tục (chattering) ở chỗ giao với mặt trượt (xem hình 7.11), là kết quả không mong muốn. Để vượt qua khó khăn này người ta đã "mềm hoá" quá trình chuyển đổi dấu của tín hiệu điều khiển  $u$  bằng phương pháp "lớp đệm" sẽ được trình bày sau đây.

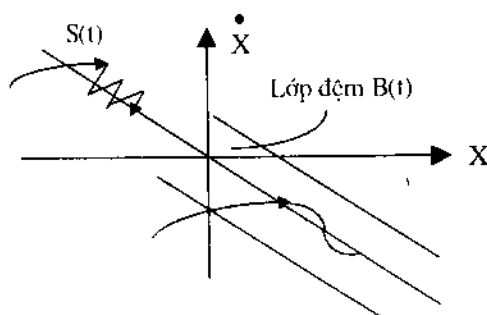
### 7.6.2. Thiết kế bộ điều khiển mờ trên cơ sở luật trượt mềm

Hiện tượng chuyển đổi liên tục dấu của tín hiệu điều khiển  $u$  đã làm cho bộ điều khiển phải làm việc đóng cắt ở tốc độ cao, đồng thời có thể kích thích các dao động tần số cao trong hệ. Để tránh khỏi hiện tượng này, ta có thể dùng phương pháp "lớp đệm" như sau.

Bao phủ lấy mặt trượt  $S(t)$  ta dùng một lớp đệm  $B(t)$  dạng:

$$B(t) = \{x, |S(x, t)| \leq \phi\} \quad (7.90)$$

Trạng thái  $x(t)$  trong quá trình tiến về mặt trượt  $S(t)$  dưới tác động của tín hiệu điều khiển  $u$  sẽ chỉ biến đổi bên trong lớp đệm  $B(t)$  (xem hình 7.11).



Hình 7.11.

Gọi  $\phi$  là độ dày của lớp đệm và  $\varepsilon = \phi/\lambda^{n-1}$  là độ rộng của lớp đệm. Ta thấy rằng, nếu luật điều khiển đảm bảo cho điều kiện trượt (7.91) được thoả mãn ở bên ngoài lớp  $B(t)$  thì sau một thời gian hữu hạn sai số điều khiển sẽ bé hơn độ rộng  $\varepsilon$ , nghĩa là:

$$|e(t)| \leq \varepsilon \quad (7.91)$$

Biểu thức (7.91) chứng tỏ rằng, khi độ chính xác giảm từ  $e(t) = 0$  xuống  $|e(t)| \leq \varepsilon$  thì điều kiện trượt (7.81) không cần phải thoả mãn ở mọi thời điểm mà chỉ cần thoả mãn lúc  $x(t)$  còn nằm ngoài lớp đệm  $B(t)$ . Và như vậy bộ điều khiển  $u(t)$  không cần phải đóng cắt liên tục trên mặt trượt  $S(t)$  nữa.

Khi xét hệ cấp 2, từ (7.83), (7.90), (7.91) ta có:

$$u(t) = -\hat{f}(x) + \ddot{x}_d - \lambda \dot{e} - K(x, \dot{x}) \cdot V(s/\phi), \quad (7.92)$$

trong đó hàm bão hoà  $V(s/\phi)$  có dạng:

$$V(s/\phi) = \begin{cases} -1 & \text{nếu } s/\phi \leq -1 \\ s/\phi & \text{nếu } -1 < s/\phi \leq 1 \\ 1 & \text{nếu } s/\phi > 1 \end{cases} \quad (7.93)$$

Rõ ràng là nếu trạng thái hệ thống nằm ngoài lớp đệm  $B(t)$  thì  $V(s/\phi) = \text{sgn}(s)$ , và như vậy luật điều khiển (7.92) và (7.83) là tương đương nhau, do vậy hệ số  $K(x, \dot{x})$  ở (7.86) cũng đúng cho (7.92). Luật điều khiển (7.92) gọi là luật điều khiển mềm và nó không yêu cầu đóng cắt liên tục tín hiệu điều khiển trên mặt trượt.

Vì tín hiệu điều khiển  $u$  theo (7.92) là một hàm biến đổi mềm mại của  $(x, \dot{x})$ , cho nên ta có thể thiết kế bộ điều khiển mờ xấp xỉ với nó, nghĩa là:

$$u(x) = -\hat{f}(x) + \ddot{x}_d - \lambda \dot{e} - [\eta + F(x)]V(s/\phi) \quad (7.94)$$

Các bước thiết kế bộ điều khiển mờ theo thuật toán (7.94) như sau:

**Bước 1.** Xác định miền biến đổi của  $e$  và  $\dot{e}$ , giả thiết đó là  $[\alpha_1, \beta_1], [\alpha_2, \beta_2]$ .

**Bước 2.** Cho  $g(e, \dot{e}) = -\hat{f}(x) + \ddot{x}_d - \lambda \dot{e} - [\eta + F(x)]V(s/\phi)$  và xem  $g(e, \dot{e})$  này như  $g$  trong (6.25), và ta thiết kế bộ điều khiển mờ theo 3 bước như đã trình bày ở mục 6.7.2.

Ví dụ, cho hệ phi tuyến cấp 1:

$$\dot{x}(t) = \frac{1 - e^{-x(t)}}{1 + e^{-x(t)}} + u(t) \quad (7.95)$$

Hàm phi tuyến  $f(x) = \frac{1-e^{-x(t)}}{1+e^{-x(t)}}$  xem như chưa biết. Ta thiết kế bộ điều khiển mờ dựa theo phương pháp trượt mềm để  $e(t)$  hội tụ về 0.

Dựa vào ý tưởng:

$$f(x) = \frac{1-e^{-x(t)}}{1+e^{-x(t)}} = 1 - \frac{2e^{-x(t)}}{1+e^{-x(t)}} \quad (7.96)$$

nên chọn  $\hat{f}(x) = 1$ , và  $F(x) = 2$ ;  $\Delta f(x) = \frac{-2e^{-x(t)}}{1+e^{-x(t)}}$  để cho  $|\Delta f(x)| \leq F(x)$ .

Với ví dụ này cho  $x_d = 0$ ,  $e = x - 0 = x$ ,  $s = e = x$ , lúc đó điều kiện trượt (7.81) sẽ là:

$$x(f+u) \leq -\eta |x|$$

Khi dùng luật trượt là :

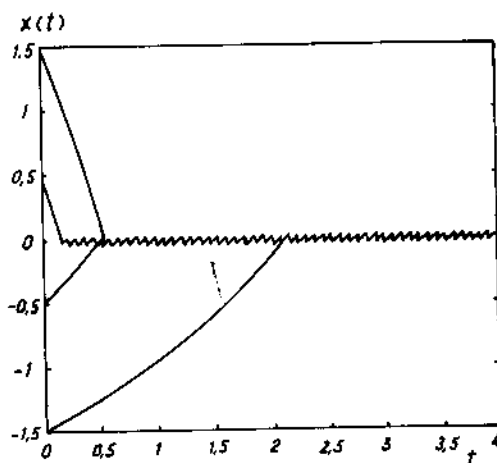
$$u(x) = -\hat{f}(x) - K(x)\text{sgn}(x) \quad (7.97)$$

trong đó  $K(x) = \eta + F(x) = \eta + 2$ .

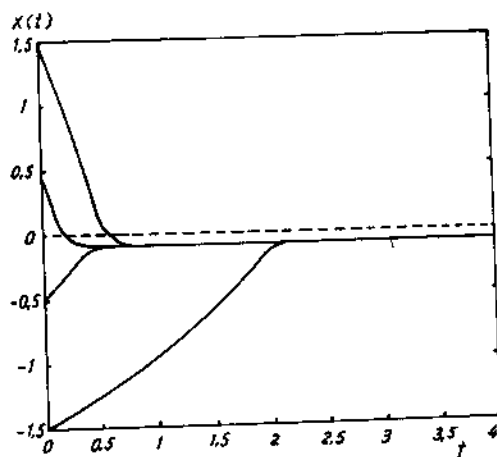
Hình 7.12 thể hiện đường  $x(t)$  khi dùng điều khiển trượt với 4 điều kiện ban đầu, trong đó  $\eta = 0,1$  và tốc độ (bước) lượng tử là 0,02 s. Ta thấy lúc này có hiện tượng đóng cắt liên tục trên mặt trượt (hiện tượng chattering).

Khi dùng bộ điều khiển trượt mềm với luật trượt là:

$$u_m(x) = -\hat{f}(x) - K(x) V(x/\phi) \quad (7.98)$$



Hình 7.12



Hình 7.13

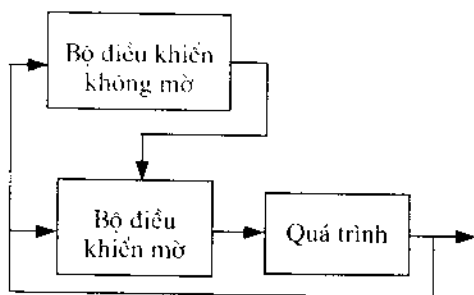
Xem  $u_m(x)$  như là  $g(x)$  ở (6.25), ta thiết kế bộ điều khiển mờ theo 3 bước như trên và chọn  $\phi = 0,2$ ;  $U = [-2; 2]$ ,  $N = 9$  và  $e$  phân bố đều trên khoảng  $[-2; 2]$ .

Hình 7.13 là đường  $x(t)$  với bộ điều khiển mờ có cùng các điều kiện như ở hình 7.12. Ta thấy các đường cong ở hình 7.13 đã không còn hiện tượng nhấp nhô liên tục (ứng với việc đóng cắt liên tục tín hiệu điều khiển  $u_m$ ), tuy vậy lại xuất hiện sai lệch tĩnh.

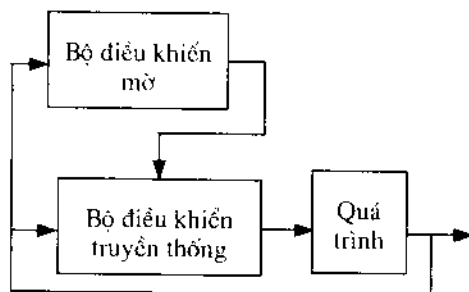
## 7.7. HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ LẠI

### 7.7.1. Đặt vấn đề

Trong thực tế để phát huy hết ưu điểm của mỗi loại bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển rõ, người ta thường dùng các hệ kết hợp giữa hai loại bộ điều khiển truyền thống và điều khiển mờ với nhau, do vậy ta có các hệ điều khiển mờ lai. Ta xét hệ điều khiển có cấu trúc 2 vòng, một trong 2 vòng đó dùng bộ điều khiển mờ. Ta thấy có hai khả năng nối: bộ điều khiển mờ dùng ở vòng thứ nhất, còn vòng thứ hai là bộ điều khiển không mờ như hình 7.14 hoặc là vòng thứ nhất là bộ điều khiển truyền thống (chẳng hạn bộ điều khiển PID) và vòng thứ 2 là bộ điều khiển mờ (hình 7.15).



Hình 7.14



Hình 7.15

Ưu điểm chính của hệ điều khiển nối nhiều vòng là có thể thiết kế bộ điều khiển cho mỗi vòng theo yêu cầu chất lượng riêng của vòng đó, vì vậy bộ điều khiển sẽ đơn giản hơn và chất lượng cao hơn. Đặc biệt với hệ điều khiển có cấu trúc như ở hình 7.14, ta có thể thiết kế bộ điều khiển mờ mà chưa quan tâm đến điều kiện ổn định, sau đó khi thiết kế bộ điều khiển cho mạch vòng ngoài mới xét đến vấn đề ổn định của hệ. Với hệ có cấu trúc như ở hình 7.15, ta xét trường hợp mạch vòng trong dùng bộ điều khiển **PID** truyền thống và mạch vòng ngoài dùng bộ điều khiển mờ.

## 7.7.2. Thiết kế hệ thống khi bộ điều khiển cấp thứ nhất là bộ điều khiển mờ, bộ điều khiển cấp thứ hai là không mờ

### 7.7.2.1. Phương pháp thiết kế

Sơ đồ khối của hệ như ở hình 7.14. Giả thiết rằng, khi thiết kế bộ điều khiển mờ ta chưa quan tâm đến chỉ tiêu ổn định, mà điều đó sẽ do bộ điều khiển rõ ở vòng ngoài đảm nhiệm. Như vậy bộ điều khiển rõ ở vòng ngoài sẽ làm chức năng giám sát ổn định, còn bộ điều khiển mờ ở bên trong sẽ đảm bảo chất lượng điều chỉnh của hệ thống.

Việc thiết kế bộ điều khiển mờ cho mạch vòng thứ nhất được tiến hành bình thường như đã trình bày trên đây.

Nhiệm vụ chính ở đây là thiết kế bộ điều khiển rõ ở mạch vòng ngoài nhằm đảm bảo ổn định cho toàn hệ. Bộ điều khiển rõ ở mạch vòng thứ hai làm chức năng một bộ giám sát: nếu bộ điều khiển mờ ở mạch vòng trong hoạt động tốt thì bộ điều khiển rõ ở mạch vòng ngoài được "nghỉ ngơi" – không tham gia vào công việc điều chỉnh. Khi bộ điều khiển mờ ở mạch vòng trong hoạt động không tốt, có khuynh hướng gây mất ổn định hệ thống thì bộ điều khiển rõ ở mạch vòng ngoài sẽ can thiệp, nhằm đưa hệ thống về trạng thái ổn định.

Giả thiết đối tượng điều khiển là một khâu phi tuyến được mô tả bởi phương trình vi phân cấp  $n$ :

$$X^{(n)} = f(x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)}) + g(x, \dot{x}, \dots, x^{(n)}) u \quad (7.99)$$

trong đó  $f, g$  là các hàm phi tuyến chưa biết,  $u$  là tín hiệu điều khiển,  $X = (x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)})^T$  là vectơ trạng thái và có thể đo được; giả thiết  $g > 0$ .

Xem rằng đã thiết kế được bộ điều khiển mờ, nghĩa là ta có:

$$u = u_m(X) \quad (7.100)$$

Nhiệm vụ còn lại bây giờ là thiết kế bộ điều khiển rõ ở vòng ngoài để đảm bảo cho hệ kín ổn định toàn cục theo nghĩa trạng thái  $X$  bị chặn, nghĩa là:  $|X(t)| \leq M$ ,  $\forall t > 0$  ( $M$  là một hằng số).

Bộ điều khiển rõ ở mạch vòng ngoài chỉ tham gia tác động điều khiển khi  $|x| \geq M$ . Vậy tín hiệu điều khiển lúc này là:

$$u = u_m(X) + I \cdot u_s(X) \quad (7.101)$$

trong đó  $I$  là hàm chỉ thị:  $I = 1$  nếu  $|x| \geq M$  và  $I = 0$  nếu  $|x| < M$ .

Như vậy ta phải thiết kế được bộ điều khiển rõ để hệ thống luôn luôn ổn định, nghĩa là luôn luôn đảm bảo điều kiện:  $|X(t)| \leq M$  với tất cả  $t > 0$ .

Khi thay (7.101) vào (7.99) ta được:

$$X^{(n)} = f(X) + g(X) u_m(X) + g(X) I \cdot u_s(X) \quad (7.102)$$

Giả thiết  $|X| = M$  và vì  $f(X)$  và  $g(X)$  là các hàm phi tuyến tùy ý, do vậy với một  $u_s(X)$  bất kỳ luôn luôn xác định được  $f(X)$  và  $g(X)$  để cho vế phải của (7.102) là dương, nghĩa là  $|X| > M$ , dẫn đến hệ mất ổn định. Để tránh điều này ta cần điều kiện hạn chế phụ, đó là:  $|f(X)| \leq f_1(X)$  và  $0 < g_1(X) \leq g(X)$ , nghĩa là ta biết được chặn trên của  $|f(X)|$  và chặn dưới của  $g(X)$ .

Từ (7.99) ta có:

$$u^* = \frac{1}{g(x)} [-f(x) - k^T X] \quad (7.103)$$

trong đó  $k = (k_n, \dots, k_1)^T \in \mathbb{R}^n$  phải như thế nào để cho tất cả các nghiệm của đa thức  $s^n + k_1 s^{n-1} + \dots + k_n$  đều nằm ở phía trái mặt phẳng phức. Thay giá trị  $u^*$  vào (7.102) ta được:

$$\dot{x}^{(n)} = -k^T \cdot X + g[u_m - u^* + 1 \cdot u_s] \quad (7.104)$$

Thành lập ma trận :

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -k_n & -k_{n-1} & \dots & \dots & -k_1 \end{pmatrix} \quad (7.105)$$

và:

$$b = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \\ g \end{pmatrix}$$

Lúc đó (7.104) có thể viết ở dạng vector:

$$\dot{X} = AX + b [u_m - u^* + 1 \cdot u_s] \quad (7.106)$$

Bây giờ ta thiết kế bộ điều khiển rõ ở mạch vòng ngoài để tạo ra  $u$  nhằm đảm bảo  $|X| \leq M$ .

Xác định hàm Liapunov :

$$V = (1/2) X^T P X \quad (7.107).$$

trong đó  $P$  là ma trận đối xứng, dương, xác định và thoả mãn phương trình Liapunov :

$$\Lambda^T P + P \Lambda = -Q \quad (7.108).$$

trong đó  $Q > 0$  và do người thiết kế xác định.

Vì  $\Lambda$  là ổn định nên  $P$  luôn tồn tại.

Dùng (7.106) và (7.108) và xét trường hợp  $|x| \geq M$ , ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -(1/2) \cdot X^T Q X + X^T P b [u_m - u^* + u_s] \\ &\leq |X^T P b| \cdot (|u_m| + |u^*|) + X^T P b \cdot u_s \end{aligned} \quad (7.109)$$

Nhiệm vụ của ta bây giờ là tính toán  $u_s$  như thế nào để  $\dot{V} \leq 0$ , nghĩa là phía phải của (7.109) là không dương.

Sử dụng (7.109) và (7.103) ta chọn được  $u_s$  như sau:

$$u_s = -\text{sign}(X^T P b) \cdot [(1/g_1) \cdot (f_1'' + |k^T X| + |u_m|)] \quad (7.110)$$

Khi thay (7.110) vào (7.109) ta thấy  $\dot{V} \leq 0$ . Do vậy bộ điều khiển thiết kế để được  $u_s$  theo (7.110) sẽ đảm bảo  $|X|$  giảm nếu  $|X| \geq M$ . Như vậy nếu ta chọn điều kiện đầu  $|X(0)| \leq M$ , ta sẽ có  $|X(t)| \leq M$  với mọi  $t \geq 0$ . Vì  $g > 0$  và  $X, P$  xác định được nên ta tính được  $\text{sign}(X^T P b)$  và các thành phần khác trong (7.110), nghĩa là có thể tính được  $u_s$  ở (7.110) trong điều khiển thời gian thực.

Vì  $I$  ở (7.101) lấy 2 giá trị 0, 1 nên bộ điều khiển được thiết kế theo (7.101) sẽ tác động ngay khi  $X$  vừa bằng  $M$  và cũng ngừng làm việc ngay khi  $X$  vừa mới bắt đầu nhỏ hơn  $M$ , hiển nhiên hệ thống như vậy sẽ phải đóng cắt rất nhiều lần (chattering). Để khắc phục hiện tượng này, ta có thể chọn  $I$  như sau:

$$I = \begin{cases} 0 & |x| < a \\ \frac{|X| - a}{M - a} & a \leq |x| < M \\ 1 & |x| \geq M \end{cases} \quad (7.111)$$

trong đó  $a \in (0, M)$  là tham số được chọn lúc thiết kế.

### 7.7.2.2 Ví dụ ứng dụng cho hệ điều khiển xe con lắc

Xe con lắc là xe trên đó có gắn con lắc. Vấn đề ở đây là cần thiết kế bộ điều khiển để giữ cho con lắc chuyển động cân bằng (giữ được góc dao động  $\varphi$  không đổi) và đảm bảo dao động không vượt quá trị số cho phép khi xe chuyển động từ điểm A đến điểm B. Cấu trúc bộ điều khiển như ở hình 7.14.

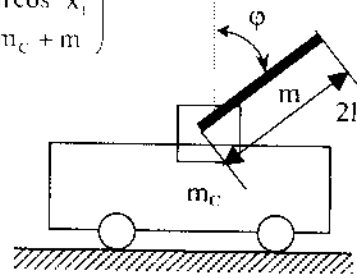
Phương trình động học của xe con lắc như sau:



$$\ddot{x}_2 = \lambda_2 \quad (7.112)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{g \sin x_1 - \frac{m l x_2^2 \cos x_1 \sin x_1}{m_c + m}}{l \left( \frac{4}{3} - \frac{m \cos^2 x_1}{m_c + m} \right)} + \frac{\cos x_1}{l \left( \frac{4}{3} - \frac{m \cos^2 x_1}{m_c + m} \right)} \cdot u \quad (7.113)$$

trong đó  $x = \phi$  (góc dao động),  $g = 9.8 \text{ m/s}$ ,  $m$  là khối lượng con lắc;  $2l$  = chiều dài con lắc;  $m_c$  là khối lượng của xe. Cho trước  $m_c = 1 \text{ kg}$ ;  $m = 0.1 \text{ kg}$ ;  $l = 0.5 \text{ m}$ .



Hình 7.16. Xe con lắc

Giả thiết bộ điều khiển mờ tạo ra  $u_m$  gồm 4 luật sau:

Nếu  $x_1$  là dương và  $x_2$  là dương **Thì**  $u$  là âm lớn; (7.115)

Nếu  $x_1$  là dương và  $x_2$  là âm **Thì**  $u$  là zero; (7.116)

Nếu  $x_1$  là âm và  $x_2$  là dương **Thì**  $u$  là zero; (7.117)

Nếu  $x_1$  là âm và  $x_2$  là âm **Thì**  $u$  là dương lớn; (7.118)

Trong đó các tập "dương", "âm", "âm lớn", "dương lớn", "zero" được đặc trưng bởi hàm liên thuộc :

$$\mu_{\text{dương}}(x) = \frac{1}{1 + e^{-20x}}; \quad (7.118)$$

$$\mu_{\text{âm}}(x) = \frac{1}{1 + e^{20x}}; \quad (7.119)$$

$$\mu_{\text{âm lớn}}(x) = e^{-(0.5x)^2}; \quad (7.120)$$

$$\mu_{\text{dương}}(x) = e^{-x^2}; \quad (7.121)$$

$$\mu_{\text{dương lớn}}(x) = e^{-(0.5x)^2}; \quad (7.122)$$

Dùng giải mờ bằng phương pháp trung bình tâm và luật hợp thành Max-Prod, ta được:

$$u_m(x) = \left( 5 \frac{1}{1 + e^{-60x_1}} \cdot \frac{1}{1 + e^{20x_2}} + 5 \frac{1}{1 + e^{-20x_1}} \cdot \frac{1}{1 + e^{-60x_2}} \right) / \left( \frac{1}{1 + e^{-60x_1}} \cdot \frac{1}{1 + e^{20x_2}} + \frac{1}{1 + e^{-20x_1}} \cdot \frac{1}{1 + e^{-60x_2}} + \frac{1}{1 + e^{-20x_1}} \cdot \frac{1}{1 + e^{20x_2}} + \frac{1}{1 + e^{-60x_1}} \cdot \frac{1}{1 + e^{-20x_2}} \right) \quad (7.123)$$

Để thiết kế bộ điều khiển rõ ở mạch vòng ngoài, trước tiên ta cần xác định các hàm chặn trên  $f_1(x)$  và hàm chặn dưới  $g_1(x)$  của hệ. Theo (7.113) ta có :

$$\left| f(x_1, x_2) \right| = \left| \frac{g \sin x_1 - m x_2^2 \cos x_1 \sin x_1}{m_c + m} \right| \leq \frac{9,8 + 0,025 x_2^2}{\frac{2}{3} - \frac{0,05}{1,1}} ;$$

$$\text{Vậy } f_1(x_1, x_2) = 15,78 + 0,0366 x_2^2 \quad (7.124)$$

Nếu yêu cầu  $|x_1| \leq \pi/9$  thì :

$$|g(x_1, x_2)| \geq \frac{\cos \frac{\pi}{9}}{1,1 \left( \frac{2}{3} + \frac{0,05}{1,1} \cos^2 \frac{\pi}{9} \right)} \approx 1,1$$

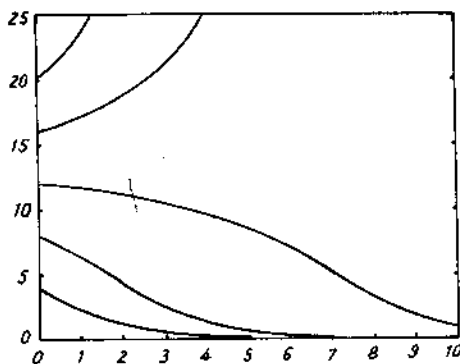
$$\text{Vậy } g_1(x_1, x_2) = 1,1 \quad (7.125)$$

Xe con lắc phải chuyển động cân bằng ở góc ban đầu trong khoảng  $[-\pi/9, \pi/9]$  và đảm bảo  $\|x_1, x_2\| \leq \pi/9 = M$ .

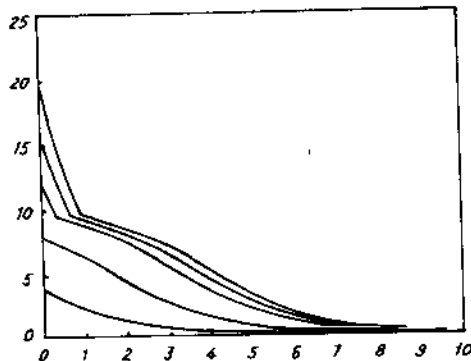
Các tham số thiết kế là :  $a = \pi/18$ ,  $k_1 = 2$ ,  $k_2 = 1$  (như vậy thì  $s^2 + k_1 s + k_2$  là ổn định) và  $Q$  là ma trận đường chéo (10,10). Giải phương trình Liapunov (7.108) ta được :

$$P = \begin{pmatrix} 15 & 5 \\ 5 & 5 \end{pmatrix} \quad (7.126)$$

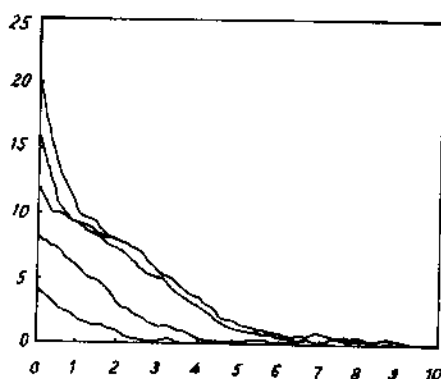
Hình 7.17; 7.18; 7.19 là kết quả mô phỏng  $x_1(t)$  cho 3 trường hợp với điều kiện đầu:  $(x_1(0), x_2(0)) = (4^\circ, 0); (8^\circ, 0); (12^\circ, 0); (16^\circ, 0); (20^\circ, 0)$  :



Hình 7.17



Hình 7.18



Hình 7.19

- Hình 7.17 là hệ thống chỉ dùng một bộ điều khiển mờ như (7.123). Lúc này hệ thống sẽ mất ổn định khi góc ban đầu là  $16^\circ$ ,  $20^\circ$ .
- Hình 7.18 là hệ thống dùng hai cấp điều khiển: bộ điều khiển mờ (7.123) và bộ điều khiển rõ để giám sát ổn định (theo 7.120). Hệ thống làm việc cân bằng ở cả 5 điều kiện ban đầu và đảm bảo góc lệch nằm trong  $[-20^\circ, 20^\circ]$ .
- Hình 7.19 giống như trường hợp ở hình 7.18, nhưng lúc này có tính đến "nhiều có hàm phân bố chuẩn" trong tín hiệu điều khiển  $u$ . Ta thấy hệ làm việc bền vững khi có nhiễu ngẫu nhiên.

### 7.7.3. Thiết kế hệ thống khi cấp thứ nhất dùng bộ điều khiển PID truyền thống, cấp thứ hai dùng bộ điều khiển mờ

#### 7.7.3.1. Bộ điều khiển PID truyền thống

Do cấu trúc đơn giản và bền vững nên các bộ điều khiển PID (tỷ lệ, tích phân, đạo hàm) được dùng phổ biến trong các hệ điều khiển công nghiệp. Hàm truyền đạt của bộ điều khiển PID là :

$$G(s) = K_p + K_i/s + K_d s \quad (7.127)$$

trong đó  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  là các hệ số tỷ lệ, tích phân và đạo hàm.

Nếu viết theo hàm thời gian thì tín hiệu ra của bộ điều khiển PID là :

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d e(t) \right] \quad (7.128)$$

trong đó  $T_i = K_p/K_i$ ,  $T_d = K_d/K_p$  là hằng số thời gian tích phân và đạo hàm.

Vì các hệ số của bộ điều khiển PID chỉ được tính toán cho một chế độ làm việc cụ thể của hệ thống, do vậy trong quá trình vận hành luôn phải chỉnh định các hệ số

này cho phù hợp thực tế để phát huy tốt hiệu quả của bộ điều chỉnh và công việc này thường được các nhân viên vận hành tiến hành theo kiểu "thăm dò". Dựa theo nguyên lý chỉnh định đó, ta thiết kế bộ điều khiển mờ ở vòng ngoài để chỉnh định tham số bộ PID ở vòng trong.

### 7.7.3.2. Thiết kế bộ điều khiển mờ để chỉnh định tham số bộ điều khiển PID

Xét hệ điều khiển có cấu trúc như ở hình 7.15 với bộ điều khiển bên trong dùng **PID** truyền thống, còn bên ngoài dùng bộ điều khiển mờ để tự động chỉnh định tham số của bộ **PID**.

Giả thiết hệ số tỷ lệ cho phép thay đổi trong khoảng  $[K_{pmin}, K_{pmax}]$ , hệ số đạo hàm thay đổi trong khoảng  $[K_{dmin}, K_{dmax}]$ . Để tiện lợi trong tính toán ta biến đổi chúng về đơn vị tương đối :

$$K_p' = \frac{K_p - K_{pmin}}{K_{pmax} - K_{pmin}} ; \quad (7.129)$$

$$K_d' = \frac{K_d - K_{dmin}}{K_{dmax} - K_{dmin}} \quad (7.130)$$

Hàng số thời gian tích phân :

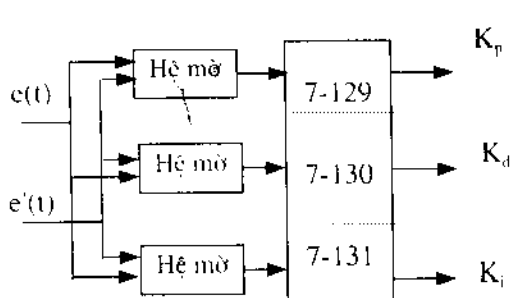
$$T_i = \alpha T_d \quad (7.131)$$

Tương tự ta có :

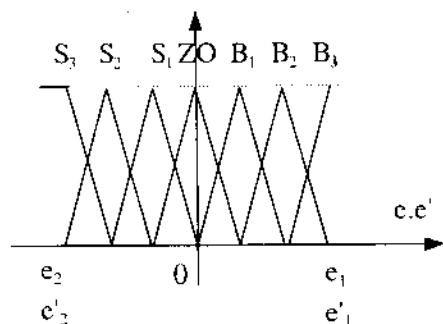
$$K_i = K_p/(\alpha T_d) = K_p^2/(\alpha K_d) \quad (7.132)$$

Như vậy nhiệm vụ cụ thể của ta là thiết kế bộ điều khiển mờ để chỉnh định tự động 3 tham số :  $K_p'$ ,  $K_d'$  và  $\alpha$ .

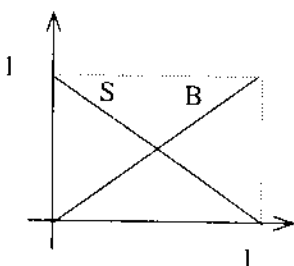
Giả thiết tín hiệu vào của bộ điều khiển mờ là  $e(t)$  và  $e'(t) = \Delta e/\Delta t$ , cấu trúc bộ điều khiển mờ có dạng như ở hình 7.20.



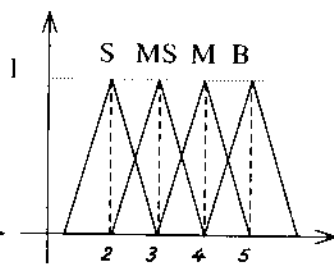
Hình 7.20



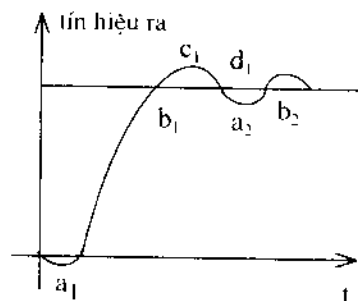
Hình 7.21



Hình 7.22



Hình 7.23



Hình 7.24

Suy luận mờ dựa theo các luật sau:

Nếu  $e(t)$  là  $A^l$  và  $e'(t)$  là  $B_l$  Thì  $K'_p$  là  $C^l$ ,  $K'_d$  là  $D^l$ ,  $\alpha$  là  $E^l$ ; (7.133)  
trong đó  $A^l$ ,  $B^l$ ,  $C^l$ ,  $D^l$ ,  $E^l$  là các tập mờ và  $l = 1, 2, \dots, M$ .

Giá thiết miền xác định của  $e(t)$  là  $[e_1, e_2]$  và  $e'(t)$  là  $[e'_1, e'_2]$  và mỗi loại dùng 7 tập mờ như trên hình 7.21 (ở đây  $M = 7$ , các tập là  $S_3, S_2, S_1, Z_0, B_1, B_2, B_3$ );  $K'_p$ ,  $K'_d$  dùng 2 tập mờ: Nhỏ và Lớn ( $S, B$  ở hình 7.22) và  $\alpha$  dùng 4 tập: Nhỏ, Nhỏ vừa, Vừa, Lớn ( $S, MS, M, B$  như ở hình 7.23).

Dựa vào đặc tính quá độ thường gặp của hệ thống điều khiển dùng **PID** như ở hình 7.24, ta xác định các luật điều khiển tương ứng. Chẳng hạn:

Khi bắt đầu khởi động, ở khoảng thời gian  $a_1$ , lúc này cần tín hiệu điều khiển lớn để tín hiệu ra tăng nhanh, suy ra lúc này  $K'_p$  lớn,  $K'_d$  nhỏ và  $K_i$  lớn ( $\alpha$  nhỏ), ta có luật:

**Nếu**  $e(t)$  lớn ( $B_3$ ) và  $e'(t)$  là Zero ( $Z_0$ ) **Thì**  $K'_p$  lớn ( $B$ ),  $K'_d$  nhỏ ( $S$ ),  $\alpha$  nhỏ ( $S$ ).

Xung quanh khoảng thời gian  $b_1$  (hình 7.24) ta muốn tín hiệu điều khiển nhỏ để không quá điều chỉnh, nghĩa là  $K'_p$  nhỏ,  $K'_d$  lớn và  $K_i$  nhỏ ( $\alpha$  lớn), vậy ta có luật:

**Nếu**  $e(t)$  là Zero ( $Z_0$ ) và  $e'(t)$  là âm lớn ( $S_3$ ) **Thì**  $K'_p$  nhỏ ( $S$ ),  $K'_d$  lớn ( $B$ ),  $\alpha$  lớn.

Các tác động điều khiển xung quanh khoảng thời gian  $c_1$  và  $d_1$  tương tự như xung quanh  $a_1$  và  $b_1$ . Với suy luận tương tự, mỗi một biến ra ta có tổ hợp của  $7 \times 7 = 49$  luật như như bảng ở các hình 7.25, 7.26, 7.27. Dùng luật hợp thành Max-Prod. mờ hóa đơn trị, giải mờ theo trung bình tâm, lúc đó các hệ số  $K'_p$ ,  $K'_d$  và  $\alpha$  được tính toán lúc điều khiển là:

$$K'_p(t) = \frac{\sum_{l=1}^{49} y_{p,l} \mu_{A^l}(e(t)) \mu_{B^l}(e'(t))}{\sum_{l=1}^{49} \mu_{A^l}(e(t)) \mu_{B^l}(e'(t))} \quad (7.134)$$

$$K'_{jd}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{49} y_{jd}^i \mu_{A'}(e(t)) \cdot \mu_{B'}(e'(t))}{\sum_{i=1}^{49} \mu_{A'}(e(t)) \cdot \mu_{B'}(e'(t))} \quad (7.135)$$

$$\alpha(t) = \frac{\sum_{i=1}^{49} y_{\alpha}^i \mu_{A'}(e(t)) \cdot \mu_{B'}(e'(t))}{\sum_{i=1}^{49} \mu_{A'}(e(t)) \cdot \mu_{B'}(e'(t))} \quad (7.136)$$

trong đó  $A'$  và  $B'$  như ở hình 7.21, còn  $y_p^i$ ,  $y_d^i$ ,  $y_{\alpha}^i$  là tâm của các tập mờ tương ứng ở hình 7.22 và 7.23.

| $K'_P$ |       | $\hat{e}(t)$ |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |       | $S_3$        | $S_2$ | $S_1$ | $Z_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ |
| $e(t)$ | $S_3$ | B            | B     | B     | B     | B     | B     | B     |
|        | $S_2$ | S            | B     | B     | B     | B     | B     | S     |
|        | $S_1$ | S            | S     | B     | B     | B     | S     | S     |
|        | $Z_0$ | S            | S     | S     | B     | S     | S     | S     |
|        | $B_1$ | S            | S     | B     | B     | B     | S     | S     |
|        | $B_2$ | S            | B     | B     | B     | B     | B     | S     |
|        | $B_3$ | B            | B     | B     | B     | B     | B     | B     |

Hình 7.25. Bảng luật cho  $K'_p$

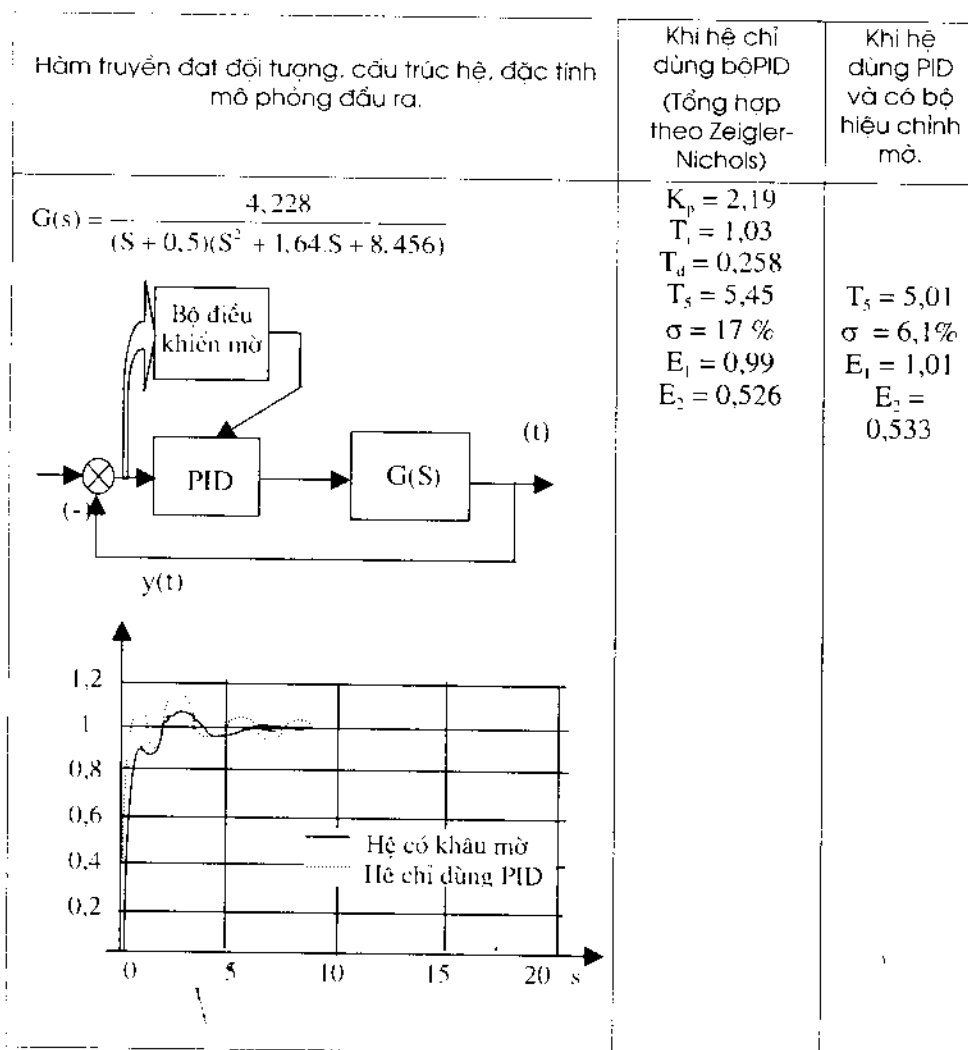
| $K'_d$ |       | $\hat{e}(t)$ |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |       | $S_3$        | $S_2$ | $S_1$ | $Z_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ |
| $e(t)$ | $S_3$ | S            | S     | S     | S     | S     | S     | S     |
|        | $S_2$ | B            | B     | S     | S     | S     | B     | B     |
|        | $S_1$ | B            | B     | B     | S     | B     | B     | B     |
|        | $Z_0$ | B            | B     | B     | B     | B     | B     | B     |
|        | $B_1$ | B            | B     | B     | S     | B     | B     | B     |
|        | $B_2$ | B            | B     | S     | S     | S     | B     | B     |
|        | $B_3$ | S            | S     | S     | S     | S     | S     | S     |

Hình 7.26. Bảng luật cho  $K'_d$

| $\alpha$ |       | $\hat{e}(t)$ |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          |       | $S_3$        | $S_2$ | $S_1$ | $Z_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ |
| $e(t)$   | $S_3$ | S            | S     | S     | S     | S     | S     | S     |
|          | $S_2$ | MS           | MS    | S     | S     | S     | MS    | MS    |
|          | $S_1$ | M            | MS    | MS    | S     | MS    | MS    | M     |
|          | $Z_0$ | B            | M     | MS    | MS    | MS    | M     | B     |
|          | $B_1$ | M            | MS    | MS    | S     | MS    | MS    | M     |
|          | $B_2$ | MS           | MS    | S     | S     | S     | MS    | MS    |
|          | $B_3$ | S            | S     | S     | S     | S     | S     | S     |

Hình 7.27. Bảng luật cho  $\alpha$

Kết quả mô phỏng và so sánh với phương pháp dùng bộ điều khiển PID không có bộ hiệu chỉnh mờ được thể hiện trên hình 7.28 (lấy theo kết quả nghiên cứu của Zhen-Yu Zhao, Masayoshi Tomizuka, Satoru Isaka - IEEE, 9/1993).



Hình 7.28

$E_1$  - tích phân sai số tuyệt đối sau thời gian  $T_s$ ;

$E_2$  - tích phân bình phương sai số sau thời gian  $T_s$ ;

$T_s$  - quãng thời gian sau 5 lần dao động.

## Câu hỏi và bài tập

1. Trình bày các bước thiết kế bộ điều khiển mờ bằng cách thiết lập bảng dữ liệu Vào cho điều khiển một lò điện trở. Bộ điều khiển mờ có 2 Vào là : sai lệch  $e$  và đạo hàm sai lệch nhiệt độ  $de/dt$  và 1 tín hiệu ra điều khiển là  $u$ .
2. Giải thích công thức (7.1) và cách biểu diễn ở hình 7.4.
3. Làm lại ví dụ 7.1 với kết thúc ở  $k = 300$ .
4. Trình bày khái niệm về điều khiển mờ bền vững.
5. Xét một hệ cấp 2:

$$\ddot{x} + a(t) \dot{x}^2 \cos 3x = u;$$

trong đó  $a(t)$  là chưa biết, nhưng thoả mãn:

$$1 \leq a(t) \leq 2$$

Hãy thiết kế bộ điều khiển trượt  $u$  như thế nào để  $x$  hội tụ về quỹ đạo  $x$  mong muốn.

6. Xét một hệ phi tuyến:

$$\dot{x}_1 = \sin x_2 + x_2 \sqrt{t+1};$$

$$\dot{x}_2 = \alpha_1(t) x_1^4 \cos x_2 + \alpha_2(t) u$$

trong đó  $\alpha_1(t)$  và  $\alpha_2(t)$  đều là hàm chưa biết, nhưng biết được khoảng chặn:

$$|\alpha_1(t)| \leq 10, 1 \leq \alpha_2(t) \leq 2, \forall t \geq 0.$$

Hãy thiết kế bộ điều khiển mờ trượt để  $x_1(t)$  hội tụ về giá trị mong muốn  $x_d(t)$ .

7. Hãy so sánh sự giống nhau và khác nhau giữa bộ điều khiển mờ trượt và bộ điều khiển mờ trong hệ mờ lai.
8. Hãy mô phỏng lại kết quả ở ví dụ 7.7.2.2 khi các điều kiện đầu thay đổi sang giá trị khác.



## Chương 8. MỘT SỐ VÍ DỤ ỨNG DỤNG CỦA HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ

### 8.1. VÍ DỤ VỀ ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

Giả thiết để khống chế nhiệt độ của một phòng làm việc ta dùng một máy điều hòa không khí với 2 cảm biến đo nhiệt độ trong phòng và ngoài trời (hình 8.1). Việc điều hoà không khí ở đây được thực hiện bằng cách điều khiển tốc độ của quạt làm lạnh của máy điều hòa.

Điều khiển tốc độ quạt được thực hiện bằng bộ điều khiển mờ. Bộ điều khiển mờ sẽ tạo ra các tín hiệu điều khiển để điều khiển thiết bị chấp hành (ở đây có thể là một hệ biến tần-dộng cơ), nghĩa là thay đổi tốc độ quạt làm mát dẫn đến điều hoà không khí và thay đổi nhiệt độ phòng.

Công việc cụ thể được thực hiện theo các bước sau:

**Bước 1.** Chọn biến Vào/Ra và các giá trị tới hạn.

Đầu vào có hai biến là nhiệt độ trong phòng  $T_i$  và nhiệt độ ngoài trời  $T_n$ , với  $0 \leq T_i \leq 50^\circ\text{C}$  và  $0 \leq T_n \leq 50^\circ\text{C}$ .

Đầu ra có một biến là tốc độ quạt  $v$  với  $0 \leq v \leq 400$  vg/ph

**Bước 2.** Chọn hàm liên thuộc và các giá trị của biến ngôn ngữ.

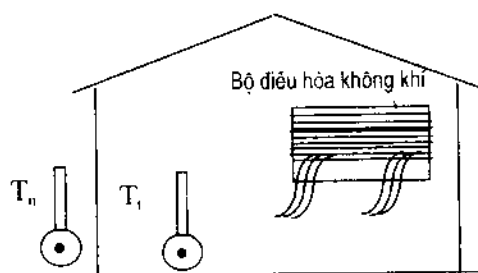
Chọn hàm liên thuộc dạng hình tam giác với tập các giá trị như sau:

- Với các biến đầu vào theo kinh nghiệm ta có thể chọn:

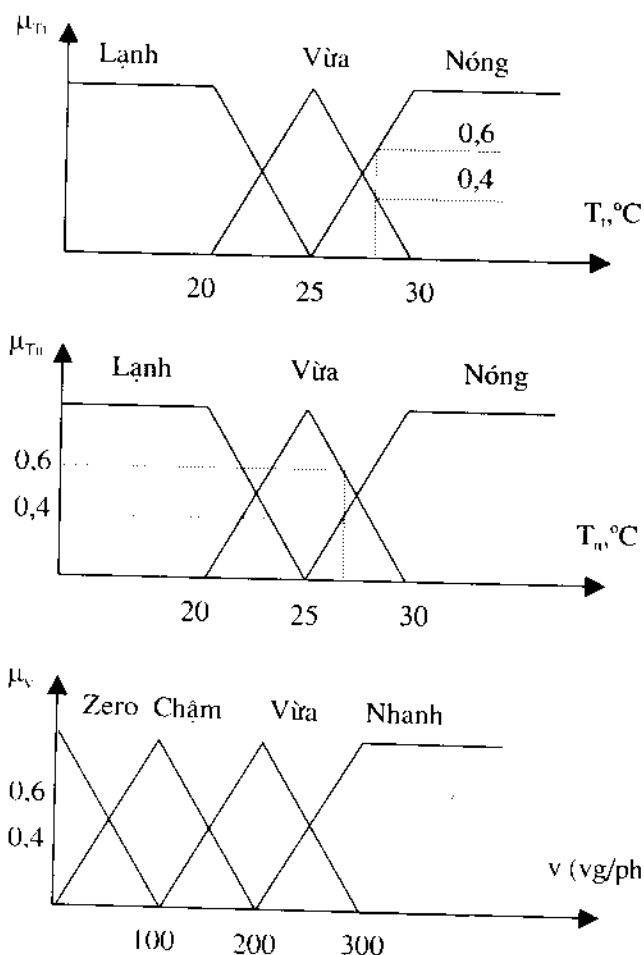
Đối với nhiệt độ trong phòng thì  $25^\circ\text{C}$  là Vừa, trên  $30^\circ\text{C}$  là Nóng và dưới  $20^\circ\text{C}$  là Lạnh. Với nhiệt độ ngoài trời ta cũng chọn  $25^\circ\text{C}$  là Vừa, trên  $30^\circ\text{C}$  là Nóng và dưới  $20^\circ\text{C}$  là Lạnh.

- Với biến tốc độ đầu ra, ta chọn 200 vg/ph là tốc độ Trung bình, trên 300 vg/ph là Nhanh, còn dưới 100 vg/ph là Chậm.

Quá trình lựa chọn này được thể hiện ở hình 8.2.



Hình 8.1



Hình 8.2

### Bước 3. Luật điều khiển.

Tất nhiên ta có thể chọn nhiều luật điều khiển và có thể hiệu chỉnh dần cho phù hợp với thực tế, song trước hết ta có thể chọn 3 luật điều khiển sau:

- Luật 1: Nếu nhiệt độ trong phòng là Vừa và nhiệt độ ngoài trời là Lạnh Thì quạt chạy với tốc độ Chậm.
- Luật 2: Nếu nhiệt độ trong phòng là Nóng và nhiệt độ ngoài trời là Lạnh Thì quạt chạy với tốc độ Nhanh.
- Luật 3: Nếu nhiệt độ trong phòng là Nóng và nhiệt độ ngoài trời là Vừa Thì quạt chạy với tốc độ Trung bình.

Các luật này được tóm tắt trong bảng 8.1:

**Bảng 8.1.** Các luật điều khiển

| v              |      | T <sub>i</sub> |      |            |
|----------------|------|----------------|------|------------|
|                |      | Lạnh           | Vừa  | Nóng       |
| T <sub>n</sub> | Lạnh | -              | Chậm | Nhanh      |
|                | Vừa  | -              | -    | Trung bình |
|                | Nóng | -              | -    | -          |

#### **Bước 4.** Qui tắc hợp thành và giải mờ

Cách tính toán cho một điểm cụ thể. Vấn đề đặt ra là giả thiết khi đã biết được các giá trị rõ cụ thể của các biến đầu vào; chẳng hạn T<sub>i</sub> = 28°C và T<sub>n</sub> = 24°C; bộ điều khiển mờ cần phải xác định được một giá trị rõ cụ thể đầu ra là bao nhiêu để điều khiển đối tượng; cụ thể đầu ra ở đây là tốc độ quạt phải bằng bao nhiêu. Dựa vào việc chọn các tập mờ đầu vào, đầu ra và các luật "Nếu...Thì" ở trên, chọn luật hợp thành là "Max-Min" và giải mờ theo phương pháp trọng tâm. Công việc cụ thể được tiến hành như sau:

Dựa vào các luật "Nếu... Thì" ở bảng 1, quy tắc hợp thành Max-Min và các giá trị nhiệt độ T<sub>i</sub> = 28°C và T<sub>n</sub> = 24°C, ta xác định được:

Theo luật 1: Với T<sub>i</sub> = 28°C thì Vừa = 0,4 và T<sub>n</sub> = 24°C thì Lạnh = 0,4, vậy theo quy tắc Max-Min sẽ có Chậm = 0,4 (hình 8.3a).

Theo luật 2: Với T<sub>i</sub> = 28°C thì Nóng = 0,6 và T<sub>n</sub> = 24°C thì Lạnh = 0,4, vậy theo quy tắc Max-Min sẽ có Nhanh = 0,4 (hình 8.3b).

Theo luật 3: Với T<sub>i</sub> = 28°C thì Nóng = 0,6 và T<sub>n</sub> = 24°C thì Vừa = 0,6, vậy theo quy tắc Max-Min thì Vừa = 0,6 (hình 8.3c).

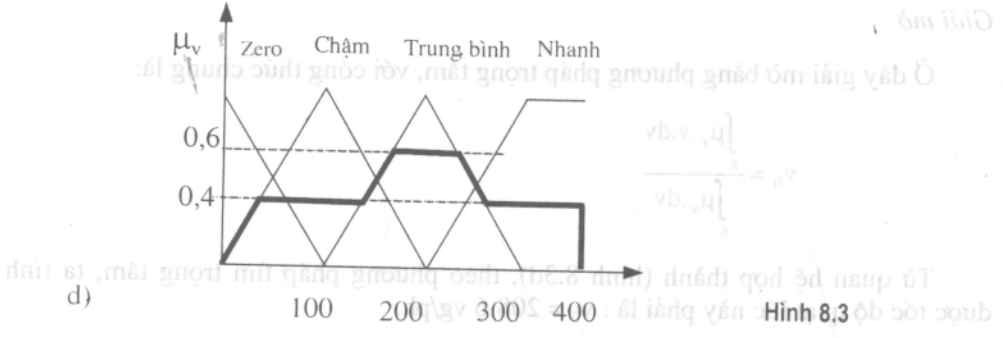
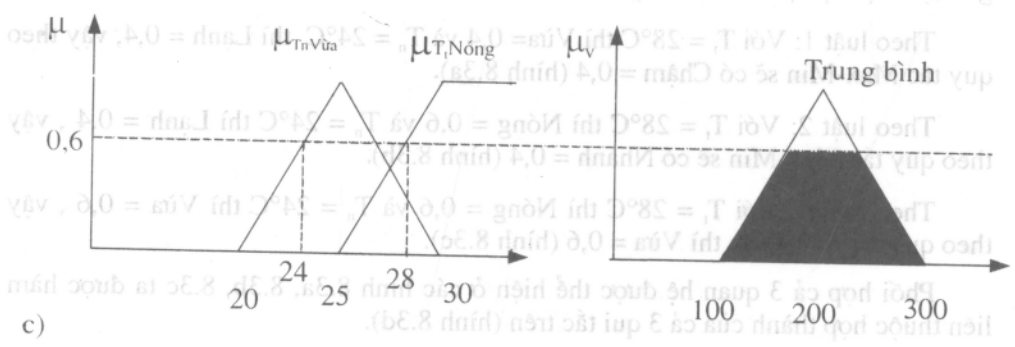
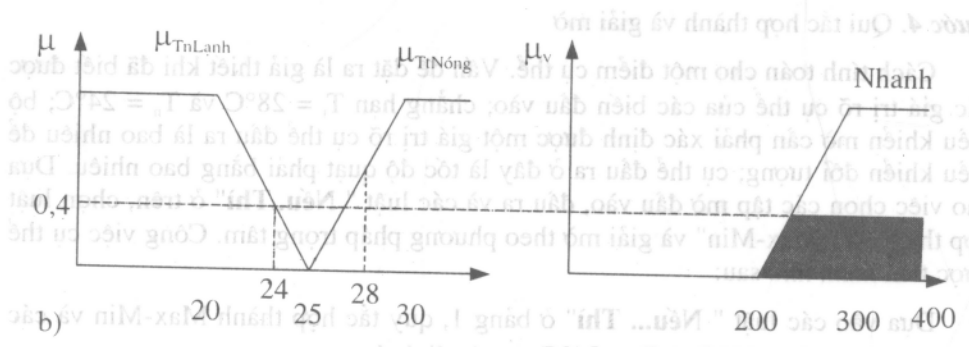
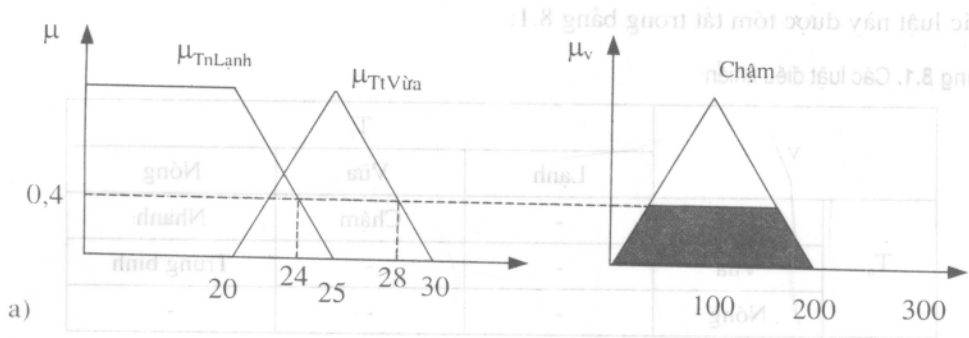
Phối hợp cả 3 quan hệ được thể hiện ở các hình 8.3a, 8.3b, 8.3c ta được hàm liên thuộc hợp thành của cả 3 qui tắc trên (hình 8.3d).

#### *Giải mờ*

Ở đây giải mờ bằng phương pháp trọng tâm, với công thức chung là:

$$v_o = \frac{\int_s \mu_v \cdot v \cdot dv}{\int_s \mu_v \cdot dv}$$

Từ quan hệ hợp thành (hình 8.3d), theo phương pháp tìm trọng tâm, ta tính được tốc độ quạt lúc này phải là : v<sub>o</sub> = 208,6 vg/ph.



Hình 8.3

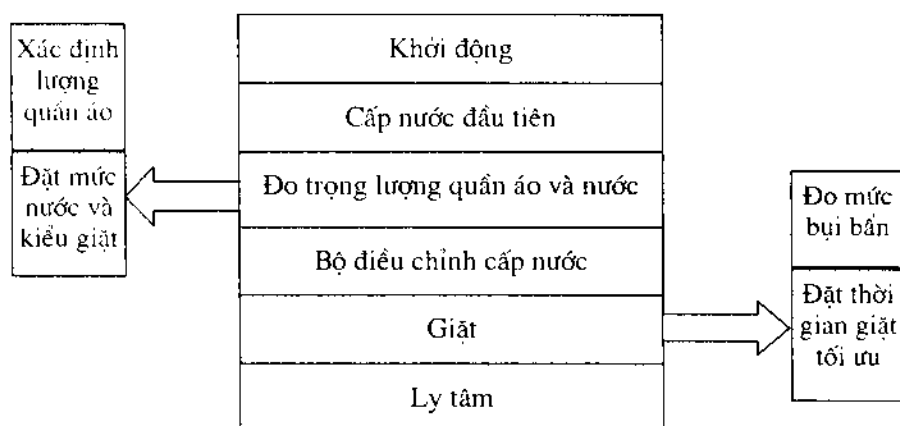
## 8.2. HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ CHO MÁY GIẶT

### 8.2.1. Khái quát về quá trình công nghệ một máy giặt tự động

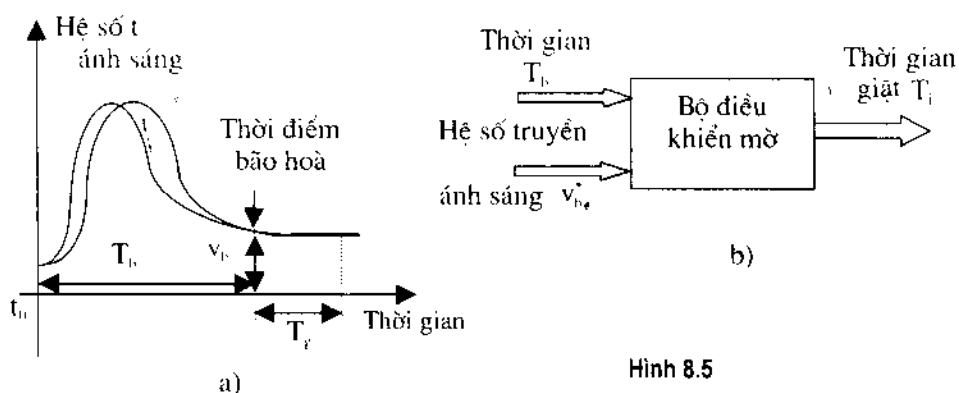
Một máy giặt tự động hoàn toàn có thể tóm tắt như sau: Chỉ cần cho quần áo cần giặt vào và ấn nút khởi động là mọi quá trình giặt sẽ được tiến hành tự động để cuối cùng có được quần áo sạch theo ý muốn. Các yêu cầu chính mà máy giặt tự động cần đạt được gồm:

- Thời gian giặt tối ưu và phụ thuộc vào mức độ bẩn của quần áo đưa vào.
- Tiết kiệm năng lượng và thời gian.
- Không gây hư hỏng quần áo.

Sơ đồ khối chức năng của quá trình giặt tự động như ở hình 8.4.



Hình 8.4. Sơ đồ khối chức năng của quá trình giặt tự động



Hình 8.5

Để đánh giá trọng lượng quần áo giặt và số lượng nước cần thiết ta dùng cảm biến trọng lượng. Để đánh giá độ sạch của quần áo giặt cần dùng cảm biến độ sạch. Cảm biến độ sạch có nguyên lý chung như sau: Ở một bên thùng giặt người ta đặt một đèn hồng ngoại, các tia hồng ngoại chiếu qua môi trường có quần áo đang giặt, phía đối diện bên kia thùng giặt đặt một thiết bị cảm quang (phototransistor), mà tín hiệu ra của bộ cảm quang này sẽ tỷ lệ với lượng tia hồng ngoại chiếu qua môi trường quần áo đang giặt. Tùy thuộc mức độ sạch bẩn của môi trường (quần áo đang giặt) mà tín hiệu ra của bộ cảm quang sẽ thay đổi, đặc tính thực nghiệm định tính của cảm biến độ sạch như ở hình 8.5a.

### 8.2.2. Nguyên lý thiết kế bộ điều khiển mờ cho máy giặt

Hệ điều khiển tự động cho máy giặt là hệ logic trình tự và ta có thể dựa vào sơ đồ công nghệ (hình 8.4) để phân tích và thiết kế. Khâu điều khiển đặc biệt ở đây là khâu xác định thời gian giặt sạch quần áo thông qua cảm biến độ sạch. Ta có thể xác định thời gian giặt sạch thông qua hai đại lượng đặc trưng sau:

- Thời gian để tín hiệu ra của cảm biến độ sạch không thay đổi nữa, ký hiệu  $T_b$  (hình 8.5a).
- Hệ số truyền ánh sáng  $v_b$  (hình 8.5a). Đó là hệ số truyền tia hồng ngoại qua môi trường giặt ứng với thời gian  $T_b$ .

$$\text{Thời gian giặt: } T_i = T_b + T_g; \quad (8.1)$$

trong đó  $T_g$  là thời gian giặt tiếp theo  $T_b$  và được xác định dựa vào các tín hiệu  $T_b$  và  $v_b$ .

Sơ đồ khối bộ điều khiển mờ để xác định thời gian giặt tối ưu như ở hình 8.5b.

Tùy thuộc vào độ bẩn sạch và loại bẩn (dầu mỡ hay chỉ là ghét bẩn, mồ hôi v.v...) của quần áo, vào trọng lượng quần áo và nhiều yếu tố khác mà các tín hiệu  $T_b$ ,  $v_b$  đều rất khó xác định chính xác, nghĩa là rất khó xác định chính xác thời gian giặt để đảm bảo các chỉ tiêu tối ưu của máy giặt như đã nói ở trên. Chính vì vậy ở đây có lý do đầy đủ để ứng dụng điều khiển mờ.

Ta có thể sử dụng các luật mờ sau:

Chọn tín hiệu  $v_b$  với 3 giá trị ngôn ngữ: Thấp, Vừa, Cao.

Chọn  $T_b$  với 2 giá trị ngôn ngữ: Ngắn, Dài.

Luật 1: Nếu  $v_b$  là Thấp và  $T_b$  là Ngắn **Thì** thời gian giặt là  $T_1$ ;

Luật 2: Nếu  $v_b$  là Vừa và  $T_b$  là Ngắn **Thì** thời gian giặt là  $T_2$ ;

Luật 3: Nếu  $v_b$  là Cao và  $T_b$  là Ngắn **Thì** thời gian giặt là  $T_3$ ;

Luật 4: Nếu  $v_b$  là Thấp và  $T_b$  là Dài **Thì** thời gian giặt là  $T_4$ ;

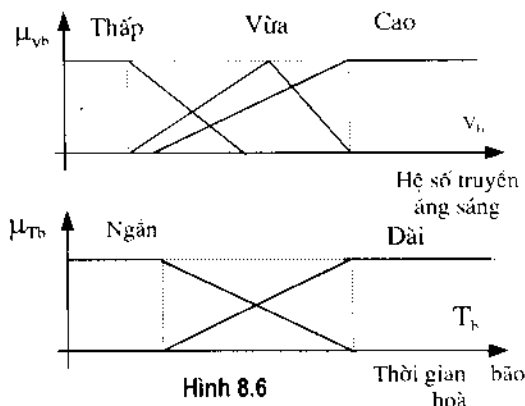
Luật 5: Nếu  $v_b$  là Vừa và  $T_b$  là Dài **Thì** thời gian giặt là  $T_5$ ;

Luật 6: Nếu  $v_b$  là Cao và  $T_b$  là Dài **Thì** thời gian giặt là  $T_6$ ;

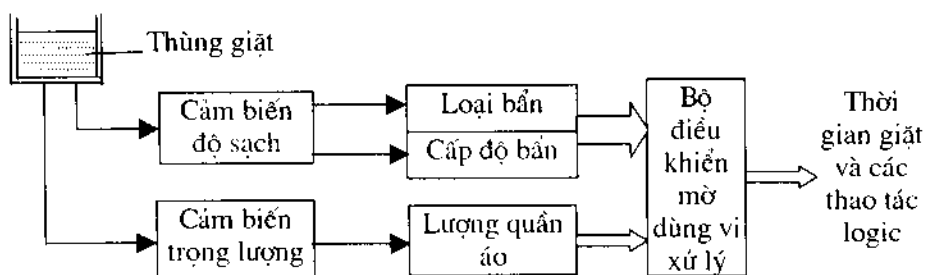
Tóm tắt tất cả 6 luật trên như trong bảng 8.2; hàm liên thuộc của tín hiệu vào  $v_b$  và  $T_b$  như ở hình 8.6.

**Bảng 8.2**

| $v_b$ \ $T_b$ | Thấp  | Vừa   | Cao   |
|---------------|-------|-------|-------|
| Ngắn          | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ |
| Dài           | $T_4$ | $T_5$ | $T_6$ |



Việc cài đặt thiết bị cho bộ điều khiển mờ máy giặt theo sơ đồ khối như hình 8.7.



**Hình 8.7**

Hiện các máy giặt tự động có ứng dụng bộ điều khiển mờ đã được một số hãng sản xuất máy giặt chế tạo thành thương phẩm và có bán trên thị trường Việt Nam với quảng cáo là: “Máy giặt có bộ suy luận ảo!”

## 8.3. ĐIỀU KHIỂN MỜ CHO HỆ ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

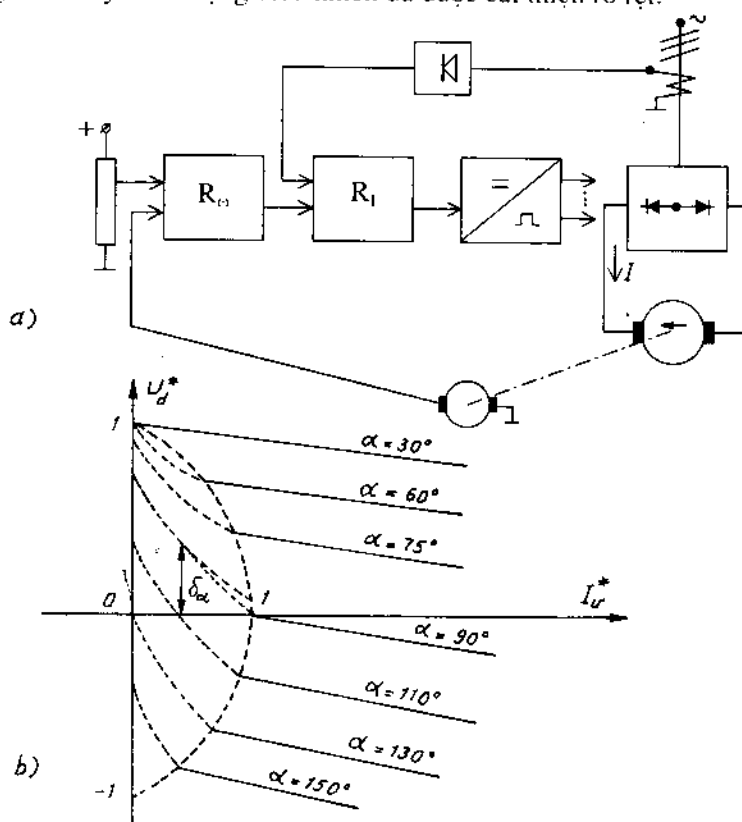
### 8.3.1. Đặt vấn đề

Hệ truyền động điện là hệ điều khiển phổ dụng trong công nghiệp. Trong dây chuyền công nghệ, bình thường do thời gian quá độ của hệ truyền động điện tương đối nhỏ so với các thời gian trễ rất lớn của các khâu động học khác, mặt khác chức năng của hệ là khâu chuyển đổi điện - cơ, vì vậy để đơn giản cho toàn hệ thống lớn người ta có thể xem hệ truyền động điện như một khâu chấp hành đơn giản. Tuy vậy với các hệ truyền động điện công suất đủ lớn (từ hàng kW trở lên), các chỉ tiêu

tính và động của hệ truyền động điện đều ảnh hưởng đến chất lượng của toàn hệ thống lớn, lúc đó hệ truyền động điện thực sự trở thành hệ điều khiển phức tạp, các vấn đề về ổn định và chất lượng của hệ truyền động điện đều cần được nghiên cứu kỹ lưỡng, nhằm đảm bảo chất lượng điều khiển chung cho toàn hệ thống.

Ngày nay hệ truyền động điện một chiều đang được dùng phổ biến là hệ T-Đ (Thyristor - Động cơ) với hai mạch vòng điều chỉnh là dòng điện và tốc độ, chất lượng tĩnh và động của hệ đều tốt. Tuy vậy đặc điểm của hệ T-Đ là có vùng dòng điện gián đoạn và khi điện cảm mạch phản ứng không đủ lớn, dòng điện tải lại nhỏ thì vùng dòng gián đoạn càng bị mở rộng. Đặc điểm của mạch lúc dòng gián đoạn là ảnh hưởng của điện cảm đối với mạch không còn nữa, đồng thời hệ số tỷ lệ giữa dòng và áp chỉnh lưu thay đổi rất nhiều và rất phi tuyến. Điều đó làm cho việc điều chỉnh tốc độ động cơ ở vùng dòng gián đoạn gặp rất nhiều rắc rối, chất lượng điều chỉnh thấp. Sơ đồ nguyên lý của hệ T-Đ và quan hệ giữa điện áp chỉnh lưu và dòng điện tải (cũng là đặc tính tốc độ của hệ) được trình bày trên hình 8.8.

Để điều khiển tốt hệ T-Đ ở vùng dòng gián đoạn, người ta đã dùng phương pháp điều khiển thích nghi hoặc điều khiển thích nghi dùng thiết bị số (mạch vi xử lý), bằng cách này chất lượng điều khiển đã được cải thiện rõ rệt.



Hình 8.8. Sơ đồ nguyên lý hệ điều khiển T-Đ và quan hệ  $U = f(I)$



Về thực chất thì hệ T-Đ khi ở vùng dòng gián đoạn là hệ phi tuyến mạnh, do vậy dùng điều khiển mờ sẽ phát huy tác dụng tốt ở vùng này.

Các biểu thức tính toán dòng điện và điện áp chỉnh lưu của hệ T-Đ đã được mô tả đầy đủ ở các tài liệu về truyền động điện, ở đây chỉ xin nêu lại một vài biểu thức chính:

Ở vùng dòng điện liên tục :

$$I_a = \frac{I_d}{3} \frac{U_m}{U_m} = \frac{X}{R} [\cos \alpha - \pi E / 3 U_m] \quad (8.2)$$

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} - 3 \pi \cos \alpha \quad (8.3)$$

trong đó:

$I_a$  – là dòng điện phản ứng (dòng chỉnh lưu) theo đơn vị tương đối.

$U_d$  – điện áp phản ứng (điện áp trung bình chỉnh lưu), đơn vị tương đối.

$U_m$  – biên độ điện áp dây.

$X$  – điện kháng mạch phản ứng:

$$X = \omega L$$

$R$  – điện trở mạch phản ứng.

$E$  – sức điện động động cơ.

$\alpha$  – góc điều khiển.

Ở vùng dòng gián đoạn:

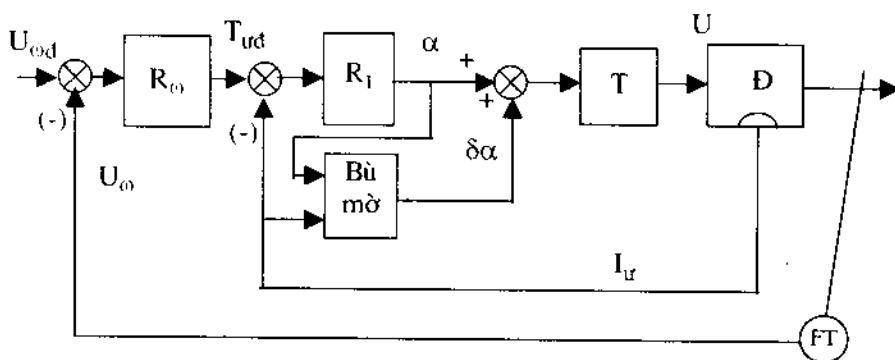
$$I_a = \frac{I_d}{3} \frac{U_m}{U_m} = \frac{X}{R} \left[ \cos(\pi/3 + \alpha) - \cos(\pi/3 + \alpha + \lambda) - \frac{E}{U_m} \lambda \right] \quad (8.4)$$

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} - 3 \left[ \cos(\pi/3 + \alpha) - \cos(\pi/3 + \alpha + \lambda) - \frac{E}{U_m} \lambda \right] + \frac{E}{U_m} \quad (8.5)$$

trong đó  $\lambda$  là góc dẫn của xung dòng,  $\tan \varphi = X/R$ .

Về điều khiển ta thấy, ở vùng dòng liên tục, ở mỗi góc điều khiển  $\alpha$  thì quan hệ  $U = f(I)$  đều là đường thẳng; ở vùng dòng điện gián đoạn thì quan hệ đó trở nên phi tuyến. Ta hình dung rằng, với một góc điều khiển  $\alpha$  nếu muốn đặc tính  $U = f(I)$  là đường thẳng ngay cả vùng dòng điện gián đoạn thì ta bù thêm vào góc điều khiển  $\alpha$  một lượng  $\delta\alpha$ , nhưng giá trị góc bù  $\delta\alpha$  là hàm phi tuyến phụ thuộc vào  $\alpha$  và  $I$ .

nghĩa là việc bù ở đây là bù phi tuyến. Ta thực hiện thuật toán bù phi tuyến này bằng bù mờ. Sơ đồ khối của hệ T-Đ có khối bù mờ  $\delta\alpha$  như ở hình 8.9.



Hình 8.9. Sơ đồ khối hệ T-Đ khi có khối bù mờ góc  $\delta\alpha$

### 8.3.2. Thiết kế bộ bù mờ $\delta\alpha$

**Bước 1.** Chọn biến vào, biến ra và hàm liên thuộc.

Biến vào là góc điều khiển  $\alpha$  với  $\alpha = [10^0, 90^0]$ ; dòng điện  $I_u^*$  với  $I_u^* = [0, 1]$ .

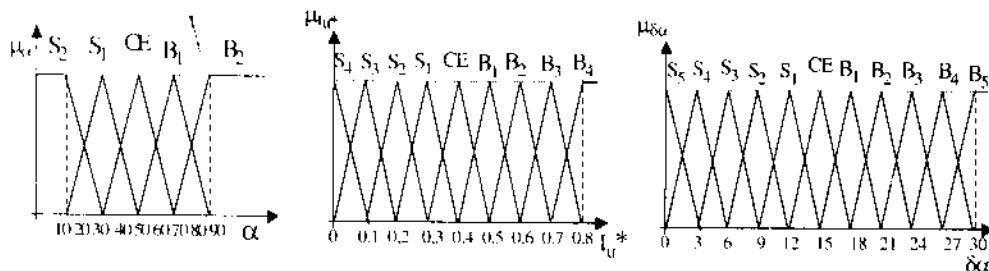
Biến ra là  $\delta\alpha$  với  $\delta\alpha = [0^0, 30^0]$ .

Hàm liên thuộc chọn kiểu hình tam giác.

Số tập mờ, với  $\alpha$  chọn 5 tập:  $S_2, S_1, Z_0, B_1, B_2$ ; với  $I_u^*$  chọn 9 tập mờ (vì sự thay đổi của  $\delta\alpha$  phụ thuộc nhiều vào  $I_u^*$ ):  $S_4, S_3, S_2, S_1, Z_0, B_1, B_2, B_3, B_4$ ; với  $\delta\alpha$  chọn 11 tập:  $S_5, S_4, S_3, S_2, S_1, Z_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$ .

trong đó:  $S_5$  là cực nhỏ,  $S_4$  là rất rất nhỏ,  $S_3$  là rất nhỏ,  $S_2$  là nhỏ vừa,  $S_1$  là nhỏ,  $Z_0$  là zero,  $B_1$  là lớn,  $B_2$  lớn vừa,  $B_3$  là rất lớn,  $B_4$  là rất rất lớn,  $B_5$  cực lớn.

Các hàm liên thuộc  $\mu(\alpha)$ ,  $\mu(I_u^*)$ ,  $\mu(\delta\alpha)$  được trình bày trên hình 8.10.



Hình 8.10. Các hàm liên thuộc  $\mu(\alpha)$ ,  $\mu(I_u^*)$ ,  $\mu(\delta\alpha)$

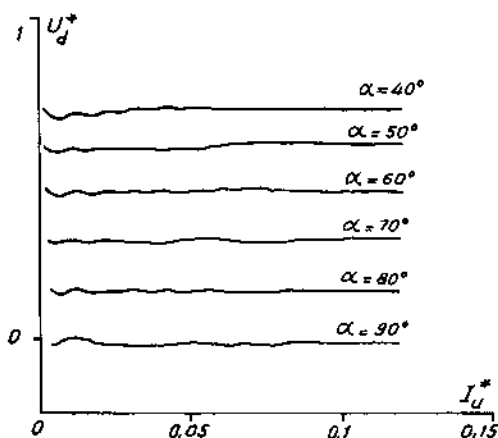
## Bước 2. Thiết lập các luật Nếu... Thì.

Theo kinh nghiệm vận hành và thiết kế, ta có thể chọn các luật mờ dạng ví dụ: "Nếu  $I_u^*$  là  $Z_0$  và  $\alpha$  là  $B_1$  Thì  $\delta\alpha$  là  $S_2$ ";

Tương tự tất cả có  $5 \times 9 = 45$  tổ hợp các luật được tóm tắt ở bảng 8.3 (hình 8.11).

Bảng 8.3

| $\alpha$ | $S_2$ | $S_1$ | $Z_0$ | $B_1$ | $B_2$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $S_4$    | $S_5$ | $B_4$ | $B_4$ | $B_4$ | $B_4$ |
| $S_3$    | $S_5$ | $Z_0$ | $Z_0$ | $Z_0$ | $Z_0$ |
| $S_2$    | $S_5$ | $S_2$ | $S_1$ | $S_1$ | $S_1$ |
| $S_1$    | $S_5$ | $S_3$ | $S_2$ | $S_2$ | $S_2$ |
| $Z_0$    | $S_5$ | $S_4$ | $S_3$ | $S_3$ | $S_2$ |
| $B_1$    | $S_5$ | $S_5$ | $S_4$ | $S_3$ | $S_3$ |
| $B_2$    | $S_5$ | $S_5$ | $S_4$ | $S_4$ | $S_4$ |
| $B_3$    | $S_5$ | $S_5$ | $S_5$ | $S_4$ | $S_4$ |
| $B_4$    | $S_5$ | $S_5$ | $S_5$ | $S_5$ | $S_4$ |



Hình 8.11. Bảng các luật điều khiển

Hình 8.12. Đặc tính  $U_d^* = f(I_d^*)$  khi có bù mờ  $\delta\alpha$

**Bước 3.** Luật hợp thành Max-Min, giải mờ theo phương pháp trung bình tâm. Các bước tính toán này đều được đưa vào chương trình máy tính.

Xét một ví dụ cụ thể: Hệ T-Đ với bộ chỉnh lưu cầu  $\mu(\alpha)$ ,  $\mu(I_u^*)$ ,  $\mu(\delta\alpha)$  3 pha thyristor, nguồn xoay chiều 220/380V, tham số động cơ và mạch:  $U_{dm} = 220$  V,  $I_{dm} = 10,5$  A,  $n_{dm} = 1500$  vg/ph,  $R = 0,6$   $\Omega$ ,  $L = 8$  mH.

Tính toán  $\delta\alpha$  theo thuật toán mờ,  $\alpha_0 = \alpha + \delta\alpha$ , các phương trình tính  $U_d^*$  và  $I_d^*$  dựa vào các công thức (1) ÷ (4). Các bước tính toán đều được lập trình và đưa vào máy tính.

Kết quả tính toán  $U_d^*$  và  $I_d^*$  trên máy tính được thể hiện ở hình 8.12.

Ta thấy rằng việc sử dụng bù mờ  $\delta\alpha$  đã hầu như tuyến tính hóa được đặc tính  $U_d^* = f(I_d^*)$  ở vùng gián đoạn.

## 8.4. ĐIỀU KHIỂN MỜ CHO HỆ ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ DỪNG BỘ BIẾN TẦN-ĐỘNG CƠ

### 8.4.1. Giới thiệu về hệ biến tần - động cơ

Khi nghiên cứu điều chỉnh tốc độ động cơ điện xoay chiều 3 pha (động cơ điện xoay chiều không đồng bộ 3 pha roto lồng sóc), ta cần quan tâm các quan hệ cơ bản sau:

$$\omega = \omega_0(1 - s); \quad (8.6)$$

$$U_p = k.f.\phi; \quad (8.7)$$

$$M = k.I.\phi; \quad (8.8)$$

$$\theta = k_1 \int \omega dt; \quad (8.9)$$

trong đó:  $\omega$  - tốc độ góc của động cơ;  
 $\omega_0$  - tốc độ từ trường quay;

$$\omega_0 = 60 \cdot \frac{f}{p}$$

$\theta$  - góc quay của động cơ;

$U_p$  - giá trị hiệu dụng của điện áp pha stato;

$f$  - tần số của điện áp đặt vào stato;

$M$  - momen quay của động cơ;

$I$  - giá trị hiệu dụng của dòng điện một pha stato.

$\phi$  - từ thông stato động cơ;

$p$  - số đôi cực;

$k$  - hằng số chế tạo động cơ;

$k_1$  - hằng số tính toán;

$s$  - hệ số trượt, với động cơ lồng sóc thì  $s$  tương đối nhỏ và hầu như không đổi trong vùng làm việc.

Xét biểu thức (8.6) ta thấy rằng, tốc độ động cơ hoàn toàn tỷ lệ với tần số của điện áp đặt vào stato, do vậy phương pháp điều khiển tốc độ động cơ xoay chiều tiên tiến nhất ngày nay là điều chỉnh tần số nguồn cấp. Bộ biến đổi năng lượng có tần số ra thay đổi được gọi là bộ biến tần và hợp bộ biến tần- động cơ để điều chỉnh tốc độ động cơ xoay chiều có tên thường gọi là hệ biến tần- động cơ.

Xét biểu thức (8.7) ta thấy, điện áp  $U_p$  đặt vào cuộn dây stato sẽ tỷ lệ với tích số tần số và từ thông. Khi điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách thay đổi tần số như

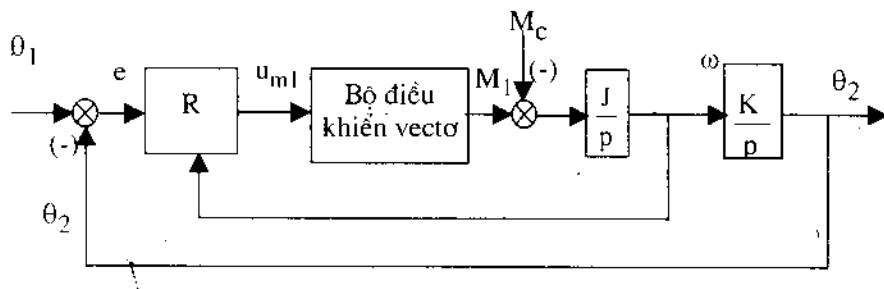
ở biểu thức (8.6) thì theo biểu thức (8.7) quan hệ giữa điện áp và từ thông thay đổi. Theo biểu thức (8.8) ta muốn giữ từ thông  $\Phi$  không đổi, vì như vậy momen động cơ sinh ra sẽ tỷ lệ thuận với dòng điện động cơ, hơn nữa nếu từ thông quá bé hay quá lớn đều ảnh hưởng đến mạch từ và gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng làm việc của động cơ. Theo biểu thức (8.9) ta dễ dàng tính được góc quay của động cơ bằng cách tích phân tốc độ góc của động cơ.

Tất cả các biểu thức (8.6),(8.7),(8.8),(8.9) và việc phân tích khái lược vừa rồi đã chứng tỏ rằng, để điều chỉnh tốc độ động cơ điện xoay chiều bằng cách thay đổi tần số  $f$ , thì đồng thời ta phải thay đổi điện áp  $U_p$  một cách tương ứng để giữ từ thông hầu như không đổi và như vậy động cơ sẽ tạo được momen quay tốt nhất. Các hệ điều khiển biến tần- động cơ đều hướng tới tạo được tốc độ mong muốn với khả năng động cơ sinh ra được momen lớn.

#### 8.4.2. Bộ điều khiển mờ cho hệ điều khiển vị trí dùng truyền động biến tần - động cơ

Ngày nay các hệ điều khiển vị trí, chẳng hạn các hệ truyền động trong người máy, người ta đã sử dụng rất nhiều các hệ truyền động biến tần- động cơ. Sơ đồ khối nguyên lý của hệ như ở hình 8.13.

Góc đặt  $\theta_1$  được so sánh với góc quay thực tế của động cơ  $\theta_2$ , tín hiệu sai lệch  $e = \theta_1 - \theta_2$  được đưa vào bộ điều khiển R và tín hiệu ra của bộ điều khiển là điện áp điều khiển  $u_m$  để điều khiển bộ biến tần. Thường thì bộ điều khiển R là bộ PI truyền thống và tất nhiên chất lượng của hệ không cao lắm (xem đặc tính mô phỏng hình 8.18, 8.19). Việc sử dụng bộ điều khiển R là bộ điều khiển mờ đã nâng cao tính bền vững (robust) của hệ.



Hình 8.13

##### 8.4.2.1. Thiết kế bộ điều khiển mờ

Tín hiệu vào bộ điều khiển mờ là sai lệch  $E(k) = \theta_1 - \theta_2$  và biến thiên của sai lệch theo thời gian  $CE(k) = E(k) - E(k-1)$  với  $k$  là thời gian gián đoạn để thích ứng với hệ thống điều khiển dùng máy tính, thiết bị số và mạch vi xử lý.

Xét hệ biến tần - động cơ với công suất  $P \approx 2 \text{ kW}$ ,  $n_0 = 1500 \text{ vg/ph}$ . Trị số giới hạn của  $E \in [-10, 10] \text{ rad}$ ,  $CE \in [-0,014; 0,014] \text{ rad/s}$ , tín hiệu ra điều khiển  $u \in [-7, 7] \text{ A}$ . Để đơn giản cách viết và tổ hợp luật điều khiển, ta chuẩn hóa tín hiệu vào  $E$ ,  $CE$  cũng thành 14 khoảng thuộc  $[-7, 7]$ . Chọn hàm liên thuộc hình tam giác và có 7 tập các giá trị là:  $B_3$  (dương lớn),  $B_2$  (dương vừa),  $B_1$  (dương nhỏ),  $Z_0$  (zero),  $S_1$  (âm nhỏ),  $S_2$  (âm vừa),  $S_3$  (âm lớn). Bảng 8.4 (hình 8.14) mô tả các giá trị của hàm liên thuộc  $E$  và  $CE$ .

**Bảng 8.4.** Các mức lượng hóa

|       | -7 | -6  | -5  | -4  | -3  | -2  | -1  | 0 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7 |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| $B_3$ | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0,1 | 0 | 0   | 0   | 0   | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 1 |
| $B_2$ | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0   | 0   | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 0 |
| $B_1$ | 0  | 0   | 0,1 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 0   | 0   | 0 |
| $Z_0$ | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0,2 | 0,6 | 1 | 0,6 | 0,2 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
| $S_1$ | 0  | 0   | 0   | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
| $S_2$ | 0  | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 0   | 0   | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
| $S_3$ | 1  | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 0   | 0   | 0   | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |

**Hình 8.14.**

**Bảng 8.5.** Các luật điều khiển mờ

| $E \backslash CE$ | $S_3$ | $S_2$ | $S_1$ | $Z_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $S_3$             | $S_3$ | $S_3$ | $S_3$ | $S_2$ | $S_2$ | $S_1$ | $S_1$ |
| $S_2$             | $S_3$ | $S_3$ | $S_2$ | $S_2$ | $S_1$ | $Z_0$ | $B_1$ |
| $S_1$             | $S_3$ | $S_2$ | $S_2$ | $S_3$ | $Z_0$ | $B_1$ | $B_2$ |
| $Z_0$             | $S_2$ | $S_2$ | $S_1$ | $Z_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_2$ |
| $B_1$             | $S_2$ | $S_1$ | $Z_0$ | $B_3$ | $B_2$ | $B_2$ | $B_3$ |
| $B_2$             | $S_1$ | $Z_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_3$ |
| $B_3$             | $S_1$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_3$ | $B_3$ |

**Hình 8.15**

Tổ hợp các luật điều khiển được ghi đầy đủ ở bảng 8.5 (hình 8.15). Ví dụ ta có luật:

Nếu  $E(k)$  là  $S_3$  và  $CE(k)$  là  $S_3$  Thì  $U$  là  $S_3$ ;

Điều này có nghĩa là, nếu sai lệch vị trí là âm lớn và tốc độ góc ( $CE$ ) cũng là âm lớn, nghĩa là vị trí của trục động cơ sai khác rất xa vị trí đặt và tốc độ góc lại âm lớn thì phải có tín hiệu điều khiển lớn ( $U$  lớn) để nhanh chóng đưa trục động cơ về vị trí đặt.

Dùng luật hợp thành Max-Min và giải mờ theo phương pháp trọng tâm. Bảng tín hiệu điều khiển  $U$  (hình 8.16) chỉ rõ mức hợp thành của tín hiệu điều khiển  $U$  khi với các mức lượng hoá của tín hiệu vào  $E(k)$  và  $CE(k)$  trong khoảng từ  $[-7, 7]$ .

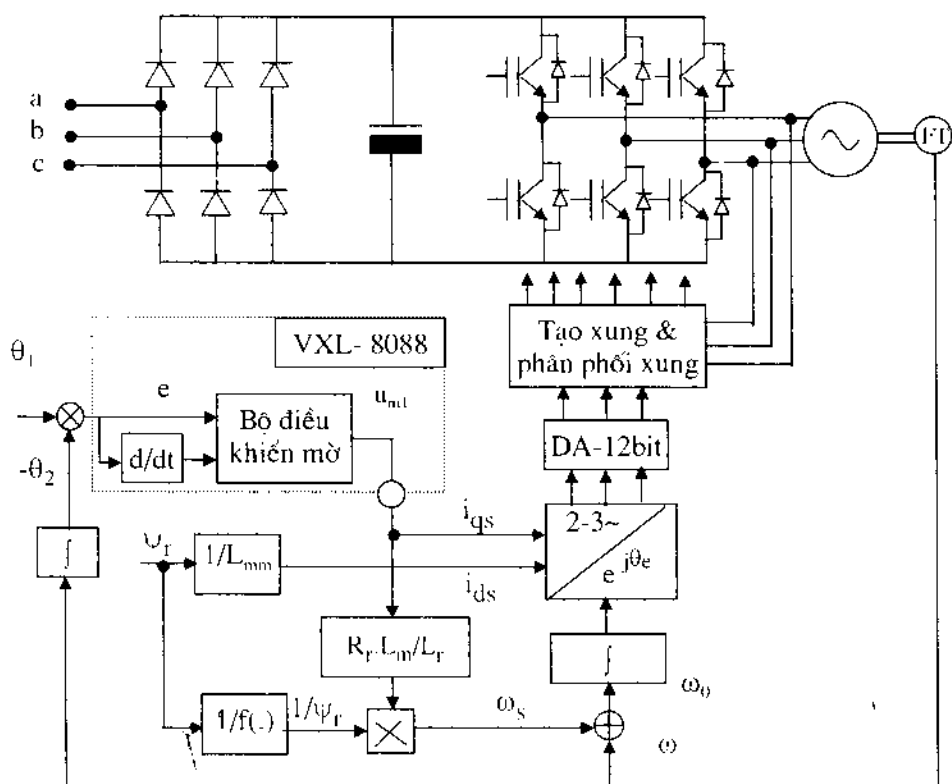
**Bảng 8.6.** Bảng tín hiệu điều khiển  $U$  (theo mức) với tín hiệu vào là  $E(k)$  và  $CE(k)$

|   |    | CE |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|
| E | U  | -7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | 7 |
|   | -7 | -7 | -7 | -7 | -7 | -7 | -7 | -6 | -5 | -5 | -5 | -4 | -3 | -1 | 0 | 3 |
|   | -6 | -7 | -7 | -7 | -6 | -6 | -6 | -6 | -5 | -4 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 3 |
|   | -5 | -7 | -7 | -7 | -6 | -6 | -6 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1 | 3 |
|   | -4 | -7 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -3 | -3 | -1 | 0  | 1  | 2 | 4 |
|   | -3 | -7 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -4 | -3 | 0  | 1  | 2  | 3 | 4 |
|   | -2 | -7 | -6 | -6 | -5 | -5 | -4 | -4 | -5 | -3 | -1 | 2  | 2  | 3  | 4 | 5 |
|   | -1 | -6 | -6 | -6 | -4 | -4 | -3 | -3 | -2 | -1 | 0  | 3  | 3  | 4  | 4 | 5 |
|   | 0  | -5 | -5 | -5 | -4 | -4 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 4  | 4  | 5  | 5 | 5 |
|   | 1  | -5 | -4 | -4 | -3 | -3 | 0  | 1  | 2  | 3  | 3  | 4  | 4  | 6  | 6 | 6 |
|   | 2  | -5 | -4 | -3 | -2 | -2 | 1  | 3  | 5  | 4  | 4  | 5  | 5  | 6  | 6 | 7 |
|   | 3  | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 2  | 4  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6 | 7 |
|   | 4  | -4 | -2 | -1 | 0  | 1  | 3  | 3  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6 | 7 |
|   | 5  | -3 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | 7 | 7 |
|   | 6  | -3 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 4  | 5  | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | 7 | 7 |
|   | 7  | -3 | 0  | 1  | 3  | 4  | 5  | 5  | 5  | 6  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7 | 7 |

**Hình 8.16.** Bảng mức các giá trị  $U$

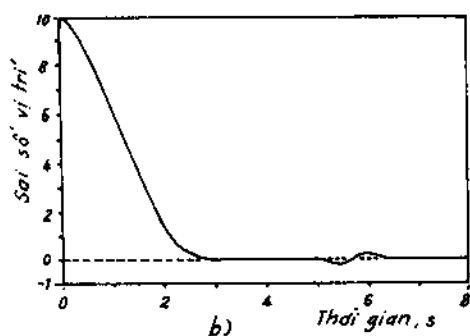
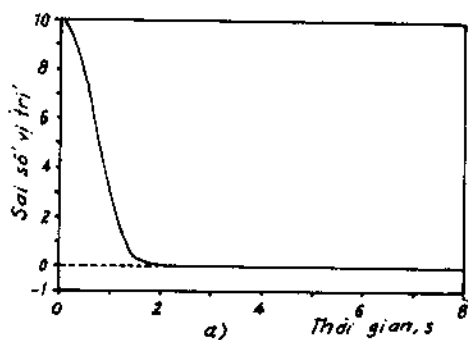
Hình 8.17 là sơ đồ nguyên lý cài đặt hệ biến tần- động cơ trong hệ điều khiển vị trí, sử dụng vi xử lý 8088 (16 bit) để thực hiện thuật toán của bộ điều khiển mờ. Tín hiệu ra  $U$  của bộ điều khiển mờ chính là tín hiệu dòng điện  $i_q$  (để xác định momen của động cơ, từ thông của động cơ được đặt bằng một giá trị không đổi  $\phi$

thể hiện ở dòng điện  $i_{ds}$ ). Các giá trị  $E(k)$  và  $CE(k)$  được cập nhật khoảng 2 ms, tín hiệu  $i_{qs}$  và  $i_{ds}$  được áp đặt vào bộ biến tần (sau các quảng thời gian 50  $\mu s$ ). Thông qua việc tính toán biến đổi từ hai pha thành ba pha và qua bộ D/A 12 bit để tạo thành tín hiệu ba pha điều khiển bộ tạo xung và phân phối xung của bộ biến tần. Hình 8.18a và hình 8.19a là các đặc tính mô phỏng sai số vị trí và tốc độ cho hệ với động cơ xoay chiều ba pha công suất xấp xỉ 2 kW, tốc độ đồng bộ 1500 vg/ph. Nhìn đặc tính ở hình 8.18a và 8.19a ta thấy rằng, khi có tác động của phụ tải 0.6 N.m và điện trở R thay đổi 10% thì sai số vị trí và tốc độ động cơ đều không xuất hiện khi dùng bộ điều khiển mờ, còn khi dùng bộ điều khiển PI truyền thống thì vị trí và tốc độ động cơ có biến động đáng kể, nghĩa là hệ thống dùng bộ điều khiển mờ bền vững hơn.

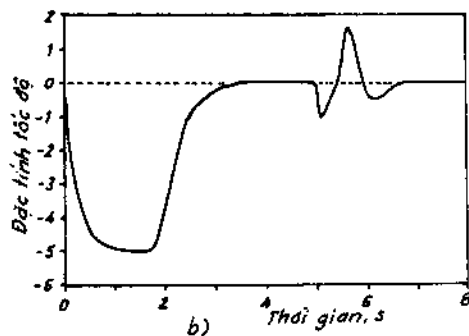
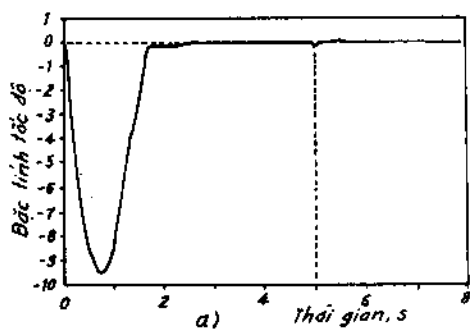


Hình 8.17. Sơ đồ nguyên lý hệ điều khiển vị trí dùng biến tần - động cơ với bộ điều khiển mờ dùng vi xử lý 8088





Hình 8.18. Sai số vị trí khi tải là 0.6 N.m và điện trở thay đổi 10%  $R_t$   
a. khi dùng điều khiển mờ; b. Khi dùng PI

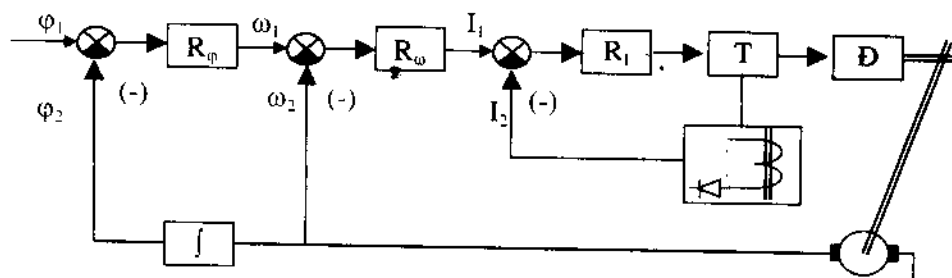


Hình 8.19. Đặc tính tốc độ khi tải là 0.6 N.m và thay đổi điện trở 10%  $R_t$   
a. khi dùng điều khiển mờ; b. khi dùng PI

## 8.5. HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI CHO HỆ ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ DÙNG T-Đ

### 8.4.1. Đặt vấn đề

Ngày nay các hệ điều khiển vị trí, đặc biệt là các hệ điều khiển robot công suất lớn, thì hệ truyền động một chiều kiểu T-Đ đang ngày càng được ứng dụng rộng rãi vì nó đảm bảo tốt các chỉ tiêu tĩnh và động của hệ thống, dễ dàng thực hiện các truyền động có công suất lớn và tính bền vững cao. Cấu trúc chung của hệ điều khiển vị trí gồm 3 mạch vòng như ở hình 8.20.

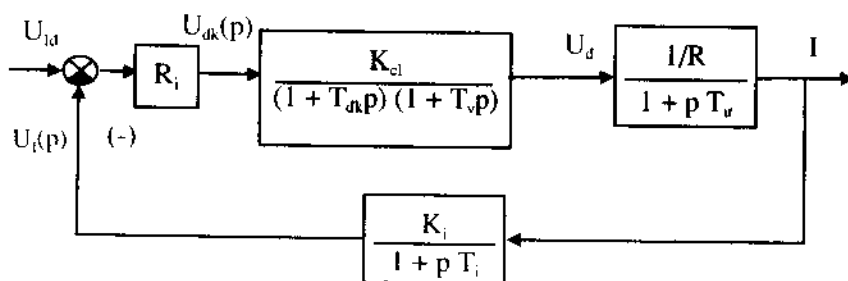


Hình 8.20

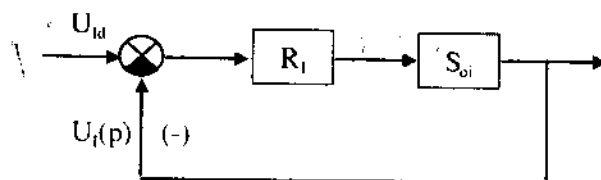
Tùy theo các yêu cầu cụ thể mà hệ điều khiển vị trí thường đòi hỏi các chỉ tiêu chất lượng cao như thời gian quá độ ngắn, độ chính xác cao, độ bền vững tốt v.v. . . với momen và tốc độ nằm trong giá trị cho phép. Để thoả mãn các chỉ tiêu trên, ngoài việc sử dụng các bộ điều khiển  $R_I$ ,  $R_\omega$ ,  $R_\phi$  với các luật điều khiển PID phổ dụng, ở đây chúng ta dùng thêm khâu bù mờ trong mạch vòng điều khiển vị trí.

Việc tổng hợp các bộ điều khiển  $R_I$ ,  $R_\omega$ ,  $R_\phi$  đều tiến hành theo phương pháp truyền thống bình thường và được tóm tắt như sau:

#### Tổng hợp bộ điều khiển dòng điện $R_I$



Hình 8.21



Hình 8.22

Trên hình 8.21 là sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều chỉnh dòng điện.

Hình 8.21 viết gọn lại ta có sơ đồ trên hình 8.22.

trong đó:

$$S_{oi}(p) = \frac{K_{cl} \cdot \frac{K_i}{R}}{(1 + pT_{dk})(1 + pT_v)(1 + pT_i)(1 + pT_u)}$$

$$\rightarrow S_{oi}(p) \approx \frac{K_{cl} \cdot \frac{K_i}{R}}{(1 + pT_{oi})(1 + pT_u)} \quad (8.10)$$

Với  $T_{si} = T_i + T_v + T_{dk} \ll T_u$ .

### **Áp dụng tiêu chuẩn tối ưu modul**

$$F_{Omi} = \frac{1}{1 + 2\tau_{\sigma}p + 2\tau_{\sigma}^2 p^2} \quad (8.11)$$

$$\rightarrow R_i(p) = \frac{1}{1 + 2t_s p + 2t_s^2 p^2} \cdot \frac{K_{cl} \cdot \frac{K_i}{R}}{(1 + pT_{si})(1 + pT_u)} \left( 1 - \frac{1}{1 + 2t_s p + 2t_s^2 p^2} \right)$$

Chọn  $t_s = \min(T_{si}, T_u) = T_{si}$ . Vậy ta có hàm truyền đạt của bộ điều chỉnh dòng điện:

$$\rightarrow R_i(p) = \frac{1}{1 + 2t_s p + 2t_s^2 p^2} \cdot \frac{K_{cl} \cdot \frac{K_i}{R}}{(1 + pT_{si})(1 + pT_u)} \left( 1 - \frac{1}{1 + 2t_s p + 2t_s^2 p^2} \right)$$

$$R_i(p) = \frac{1 + pT_u}{2p \cdot K_{cl} \cdot K_i \cdot \frac{T_{si}}{R}} = \frac{RT_u}{2K_{cl} \cdot K_i \cdot T_{si}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{pT_u} \right) \quad (8.12)$$

$R_i(p)$  là khâu tỷ lệ - tích phân (PI).

### **Tổng hợp bộ điều chỉnh tốc độ**

Việc tổng hợp mạch vòng tốc độ cũng tương tự như tổng hợp mạch vòng dòng điện, ta dùng tiêu chuẩn tối ưu modul và lấy hàm truyền đạt của mạch vòng dòng điện là khâu quán tính bậc nhất, bỏ qua các bậc cao. Kết quả được:

$$R_w(p) = \frac{K_i \cdot C_u \cdot T_c}{R \cdot K_w \cdot 2 \cdot T_{so}} = K_w \quad (8.13)$$

$R_w(p)$  là khâu tỷ lệ (P).

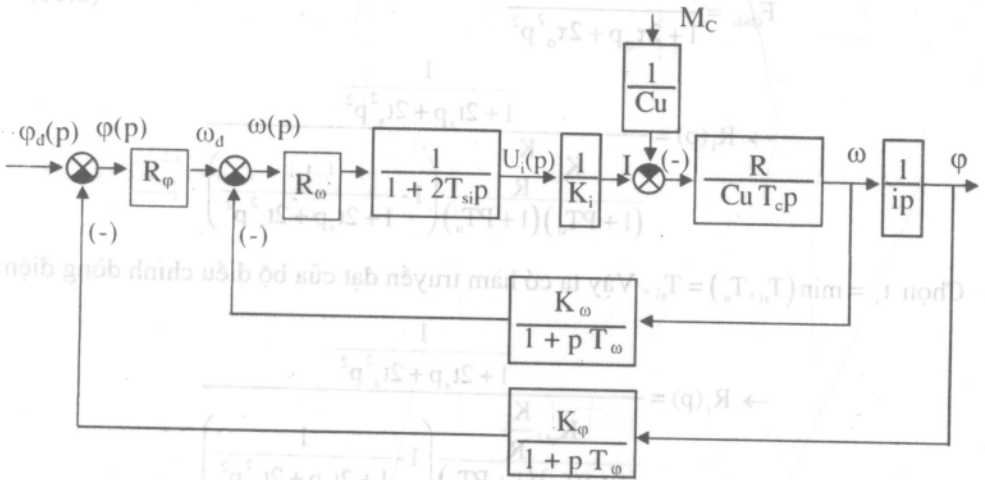
### Tổng hợp bộ điều khiển vị trí

Tổng hợp mạch vòng vị trí cũng tương tự như tổng hợp mạch vòng tốc độ, ta dùng tiêu chuẩn tối ưu modul và hàm truyền đạt của mạch vòng tốc độ lấy là khâu bậc hai, bỏ qua các khâu bậc cao. Ta được kết quả:

$$R_o(p) = \frac{K_o}{K_r \cdot K_\omega \cdot 2T_\omega} \cdot (1 + 2T_{so}p) \quad (8.14)$$

$$K_\varphi = \frac{K_o}{K_r \cdot K_\omega \cdot 2T_\omega} \quad \text{và} \quad K_D = \frac{K_o \cdot T_{so}}{K_r \cdot K_\omega \cdot T_\omega}$$

$R_\varphi = K_\varphi + K_D \cdot p$  là khâu tỷ lệ - đạo hàm (PD).



Hình 8.23

### 8.5.2. Ứng dụng khâu bù mờ trong mạch vòng điều khiển vị trí

#### 8.5.2.1. Tính phi tuyến của bộ điều khiển vị trí

Bộ điều khiển vị trí nhằm bảo đảm thời gian quá độ ngắn, đồng thời độ chính xác tĩnh nằm trong giới hạn cho phép.

Ta xét quá trình hãm: Khi bắt đầu hãm, tín hiệu đặt và tín hiệu phản hồi xấp xỉ nhau, nghĩa là:

$$(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot R_\omega \approx \omega_h \quad (8.15)$$

$\Delta\varphi_h$  – quãng đường hãm:  $\Delta\varphi_h = \varphi_1 - \varphi_2$

$\omega_h$  – vận tốc tại thời điểm bắt đầu quá trình hãm.

Quãng đường hãm lớn nhất được tính theo công thức:

$$\Delta\varphi_{h\max} = \frac{1}{2} \frac{\omega_{\max}^2 \cdot Kr}{\varepsilon_{h\max}} \quad (8.16)$$

trong đó  $\varepsilon_{h\max}$  là gia tốc hãm cực đại cho trước.

Từ (8.15) và (8.16) ta có:

$$\Delta\varphi_{h\max} \cdot R_{\varphi} \approx \omega_h \Rightarrow \omega_h = \frac{1}{2} \frac{\omega_{\max}^2 \cdot Kr}{\varepsilon_{h\max}} K_{\varphi}$$

Khi chọn  $R_{\varphi} = K_{\varphi}$ :  $\Rightarrow K_{\varphi} = \frac{2 \cdot \varepsilon_{h\max}}{\omega_1 \cdot Kr} \quad (8.17)$

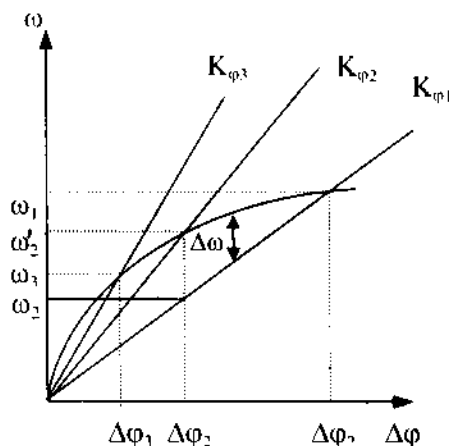
Quãng đường đi được trong lúc hãm là:

$$\Delta\varphi = 2 \cdot \Delta\varphi_{h\max} = \frac{\omega_h^2 \cdot Kr}{\varepsilon}$$

Khi tổng hợp bộ điều khiển vị trí  $R_{\varphi}$ , ta đã chọn được hàm truyền đạt kiểu PD với hệ số khuếch đại  $K_{\varphi} = \text{const}$ . Quan hệ tĩnh  $\omega = f(\Delta\varphi)$  trong quá trình hãm (công thức 8.18) được thể hiện trên hình 8.24

Trên hình 8.24 ta thấy:

Khi cho quãng đường là  $\Delta\varphi_1$  thì tốc độ là  $\omega_1$  tương ứng với hệ số khuếch đại là  $K_{\varphi 1}$ . Khi cho quãng đường là  $\Delta\varphi_2$  mà vẫn giữ nguyên hệ số  $K_{\varphi 1}$  thì tốc độ là  $\omega_2$  nhưng thực chất theo quan hệ phi tuyến thì tốc độ phải là  $\omega'_2$  nghĩa là cần hệ số khuếch đại  $K_{\varphi 2}$ .



Hình 8.24. Quan hệ giữa  $\Delta\varphi$  và  $\omega$

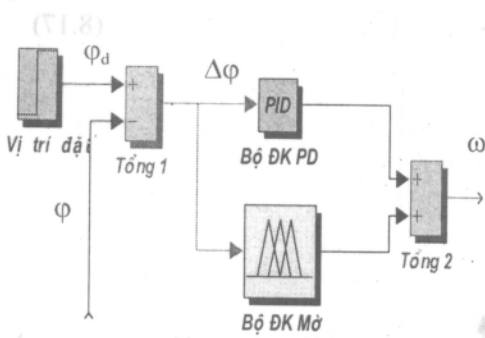
Tương tự khi cho quãng đường là  $\Delta\varphi_3$  thì cần phải có  $K_{\varphi 3}$

Như vậy khi  $\Delta\varphi$  càng nhỏ thì yêu cầu hệ số khuếch đại của  $R_{\varphi}$  càng lớn để đạt được tốc độ hãm tăng lên thích ứng với quá trình hãm nhanh theo yêu cầu.

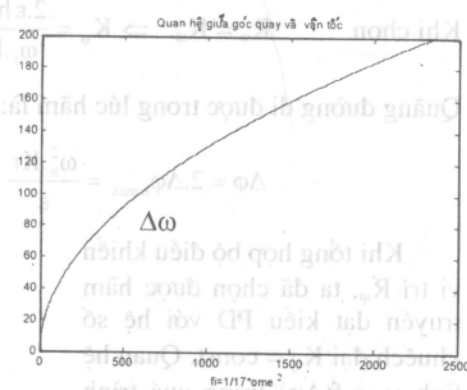
Qua phân tích ta thấy quan hệ  $\omega = f(\Delta\varphi)$  là phi tuyến và việc chọn  $R_\varphi$  chỉ chứa hệ số khuếch đại  $K_\varphi = \text{const}$  là không hợp lý. Để giải quyết vấn đề này ta phải thực hiện bộ điều khiển phi tuyến và ở đây dùng phương pháp bù. Với mỗi một giá trị  $\Delta\varphi$  sẽ bù một giá trị  $\Delta\omega$  tương ứng. Việc bù này sẽ được thực hiện bằng bộ điều khiển mờ, gọi là bộ bù mờ

### 8.5.2.2. Tổng hợp khâu bù mờ

Như đã nói ở trên, thực chất quan hệ xác lập của  $\omega_h = f(\Delta\varphi)$  là phi tuyến. Để đạt được quan hệ phi tuyến này, ta tách bộ điều khiển  $R_\varphi$  thành 2 khâu, một khâu PD với hệ số khuếch đại là hằng số và một khâu bù phi tuyến theo kiểu bù mờ như ở hình 8.25.



Hình 8.25



Hình 8.26

Việc tổng hợp khâu PD được tiến hành theo phương pháp truyền thống như trên, ở đây ta xét phương pháp tổng hợp khâu bù mờ.

Xét một hệ T-Đ có tham số cụ thể như trên bảng 8.17.

Bảng 8.17. Các tham số cho trước

| $P_{dm}$ | $U_{dm}$ | $n_{dmf}$  | $\eta_{dm}$ | $L$   | $T_i$   | $T_v$    | $T_{dk}$ | $T_\omega$ | $T_\varphi$ | $J$                   |
|----------|----------|------------|-------------|-------|---------|----------|----------|------------|-------------|-----------------------|
| 1,5 kW   | 220 V    | 1500 vg/ph | 90 %        | 0,2 H | 0,002 s | 0,0025 s | 0,0001 s | 0,001 s    | 0,3 s       | 2,45 k.m <sup>2</sup> |

Dựa theo các kết quả tính toán trên, ta vẽ được quan hệ  $\omega_h = f(\Delta\varphi)$  và từ đây ta lập được bảng các giá trị cần bù (bảng 8.18).

**Bảng 8.18.** Sai lệch tốc độ do tuyến tính hoá bằng bộ điều chỉnh vị trí  $R_q$

|                 |   |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\omega$        | 0 | 1      | 7      | 33     | 50     | 78     | 79     | 107    | 24     |
| $\Delta\varphi$ | 0 | 7,1    | 17,0   | 64,1   | 147,1  | 357,9  | 367,1  | 673,5  | 904,5  |
| $\Delta\omega$  | 0 | 10,229 | 15,159 | 26,063 | 34,076 | 39,248 | 39,248 | 34,076 | 26,063 |

|                 |        |        |        |         |         |         |         |
|-----------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| $\omega$        | 140    | 146    | 157    | 169     | 175     | 185     | 200     |
| $\Delta\varphi$ | 1152,9 | 1253,9 | 1449,9 | 1680,1  | 1801,5  | 2013,2  | 2352,9  |
| $\Delta\omega$  | 15,159 | 10,229 | 0      | -12,917 | -20,063 | -32,993 | -54,777 |

Việc tổng hợp khâu bù mờ được tiến hành theo các bước sau:

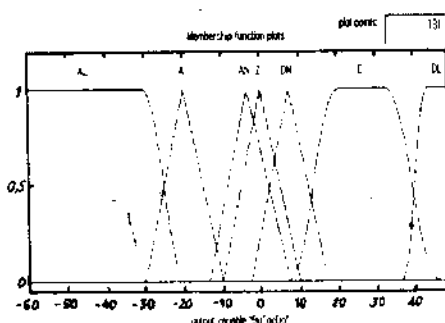
#### a. Mờ hóa

Bộ điều khiển mờ trong hệ điều khiển vị trí gồm một biến trạng thái mờ đầu vào và một biến điều khiển mờ đầu ra. Mỗi biến này lại được chia ra làm nhiều giá trị mờ. Số giá trị mờ trên mỗi biến được chọn sao cho phù hợp nhất các khả năng cần thiết trong khi chỉ cần một số tối thiểu các luật điều khiển mờ.

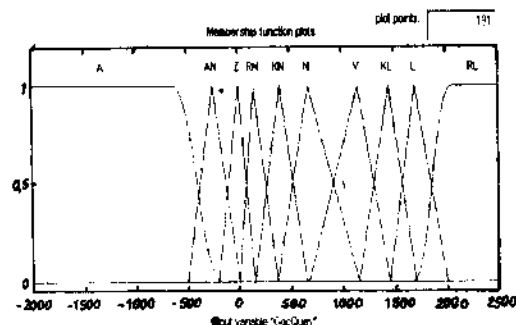
Trên miền xác định của tín hiệu vào lấy theo tính toán cho trước:  $-2000 \leq \Delta\varphi \leq 2500$  rad, ta chọn 10 tập giá trị ngôn ngữ: Góc âm ( $S_3$ ), góc âm nhỏ ( $S_1$ ), góc Zero ( $Z_0$ ), góc dương rất nhỏ ( $B_1$ ), góc dương khá nhỏ ( $B_2$ ), góc dương nhỏ ( $B_3$ ), góc dương vừa ( $B_4$ ), góc dương khá lớn ( $B_5$ ), góc dương lớn ( $B_6$ ), và góc dương rất lớn ( $B_7$ ). Sự phân bố của các hàm liên thuộc được đưa ra như trên hình 8.27.

Biến điều khiển mờ đầu ra là biến “bù tốc độ”. Giá trị bù được tính bằng rad/s. Khoảng xác định của tín hiệu bù đầu ra:  $-60 \leq \Delta\omega \leq 40$  rad/s. Ta chọn 7 giá trị mờ cho biến đầu ra: âm lớn ( $S_3$ ), âm ( $S_2$ ), âm nhỏ ( $S_1$ ), không ( $Z_0$ ), dương nhỏ ( $B_1$ ), dương ( $B_2$ ) và dương lớn ( $B_3$ ).

Sự phân bố của các giá trị mờ được thể hiện trên hình 8.28



Hình 8.27



Hình 8.28

### b. Luật điều khiển và qui tắc hợp thành

Mỗi luật điều khiển được miêu tả thông qua một biến trạng thái đầu vào và một biến điều khiển mờ đầu ra “góc quay” và “bù tốc độ”. Luật điều khiển thứ  $i$   $R_i$  được viết như sau:

$R_i$  : Nếu Góc quay là  $A_i$  Thì bù tốc độ là  $B_i$ , trong đó  $A_i$  và  $B_i$  là các giá trị mờ của các biến mờ “góc quay” và “bù tốc độ”. Các luật điều khiển được đưa ra trên bảng 8.19.

### c. Giải mờ

**Bảng 8.19.** Các luật điều khiển mờ

| Ti | Góc quay | Bù tốc độ |           |
|----|----------|-----------|-----------|
| 1  | A        | Z         | 1         |
| 2  | AN       | DN        | 1         |
| 3  | Z        | Z         | 1         |
| 4  | RN       | DN        | 1         |
| 5  | N        | DL        | 1         |
| 6  | KN       | DN        | 1         |
| 7  | V        | Z         | 1         |
| 8  | KL       | AN        | 1         |
| 9  | L        | A         | 1         |
| 10 | RL       | AL        | 1         |
| 11 | Z        | AN        | 0,0006296 |

Giải mờ theo phương pháp trọng tâm, phương pháp này được sử dụng ở đây vì miền xác định của các giá trị mờ đầu ra là miền liên thông.

Công thức xác định  $x_0$  theo phương pháp điểm trọng tâm như sau:

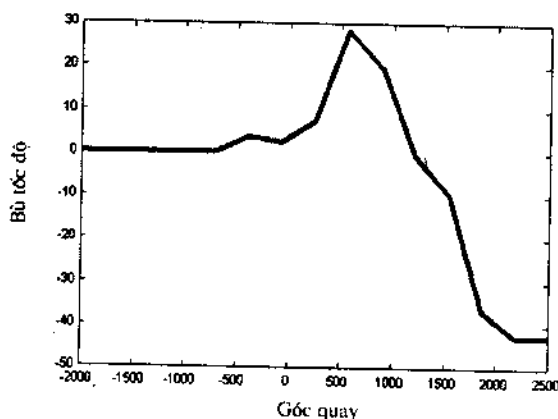
$$x_0 = \frac{\int_S x \cdot \mu_B(x) dx}{\int_S \mu_B(x) dx}$$

trong đó  $S$  là miền xác định của tập mờ  $B$ .

#### 8.4.2.3. Các kết quả mô phỏng

Sử dụng phần mềm Matlab để mô phỏng hệ điều khiển mờ, ở đây ta tiến hành theo hai bước:

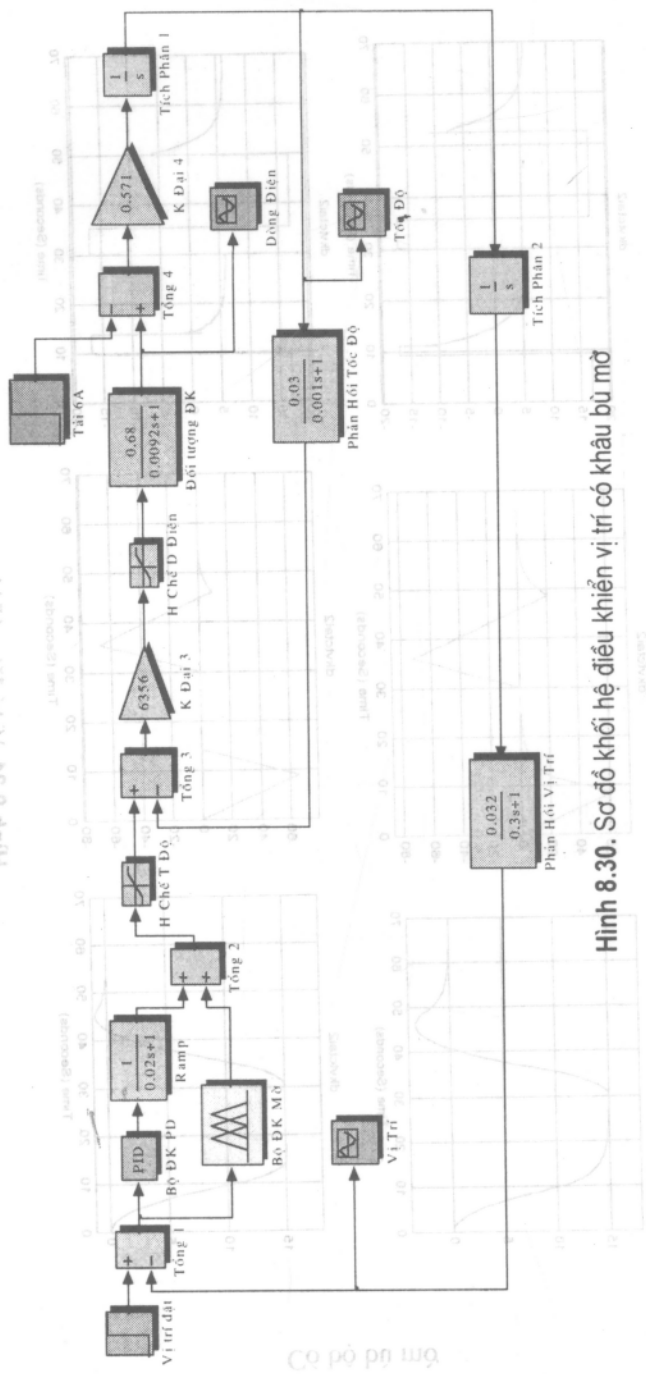
Mô phỏng bộ điều khiển mờ. Việc xây dựng bộ điều khiển mờ dựa trên công cụ Fuzzy của phần mềm Matlab. Các hàm liên thuộc của các giá trị mờ trong các biến vào và ra được chọn như trên hình 8.27 và 8.28. Các luật điều khiển như trên bảng 8.19. Quan hệ vào - ra của khâu bù mờ tìm được như trên hình 8.29.



**Hình 8.29**



Hình 8.31: Ai m qđt = 12 A

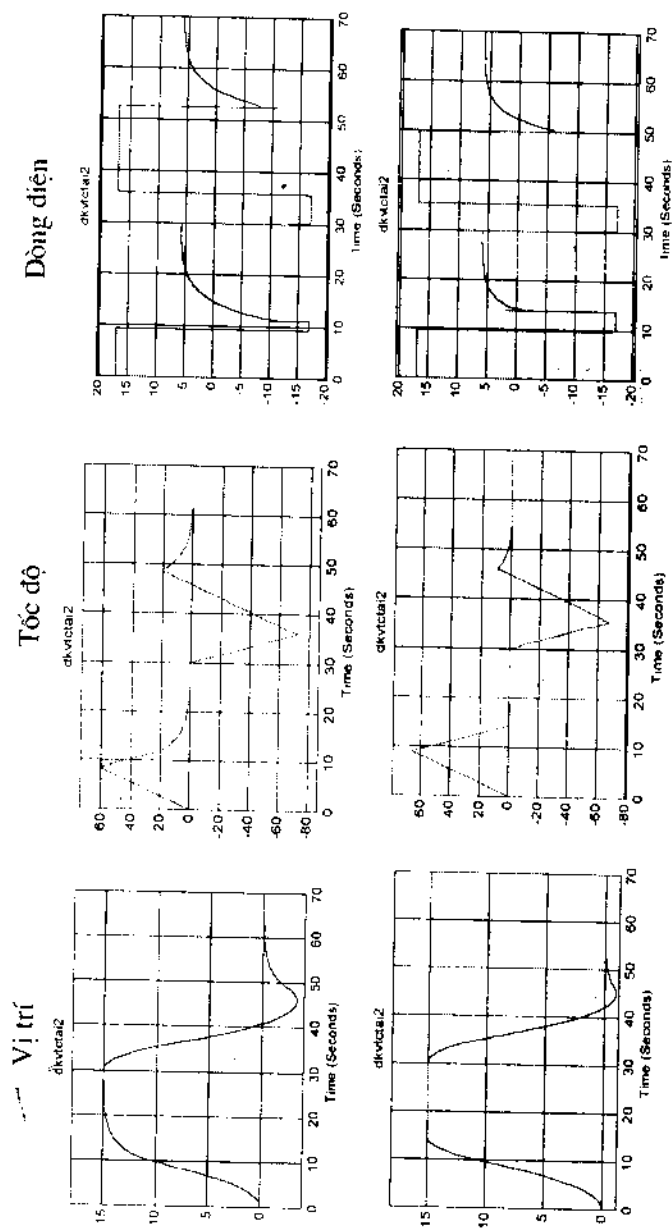


Hình 8.30. Sơ đồ khối hệ điều khiển vị trí có khâu bù mờ

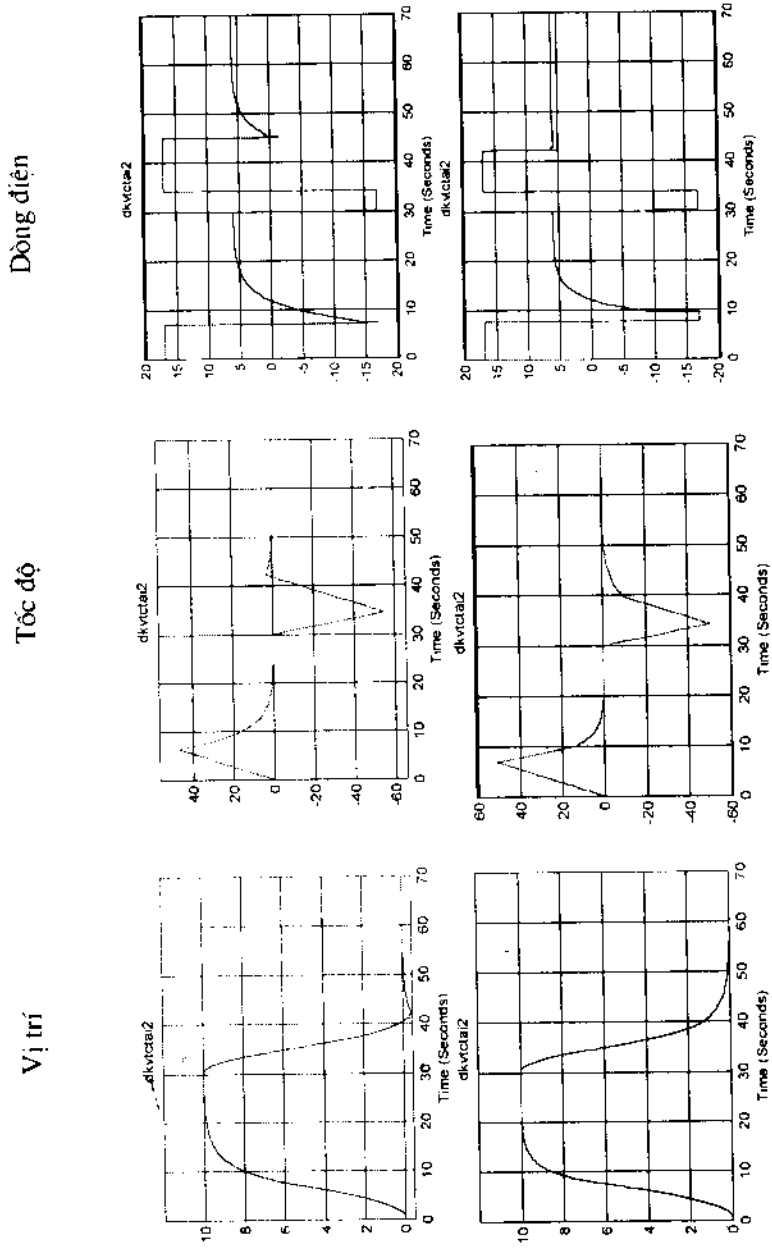
Hình 8.30 là sơ đồ mô phỏng toàn hệ với các tham số đã tính toán như trên bảng 8.17.

Kết quả mô phỏng vận hành các máy 8-31'8-35'8-33

Kết quả mô phỏng như trên các hình 8 - 31, 8 - 32, 8 - 33



Hình 8.31. Vị trí đặt = 15 V

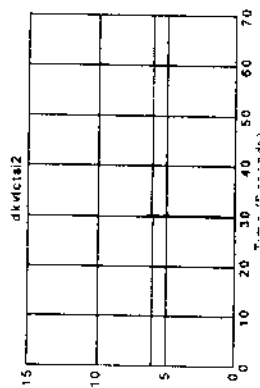
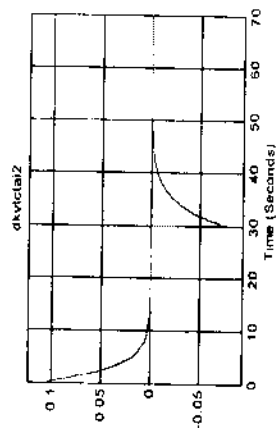
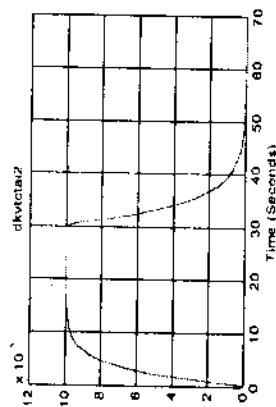
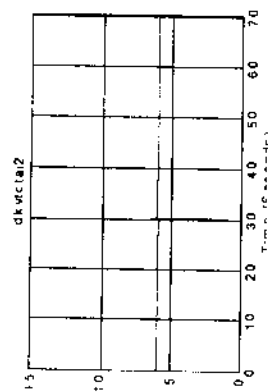
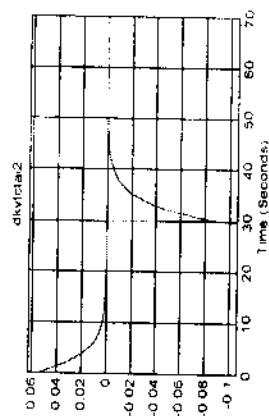
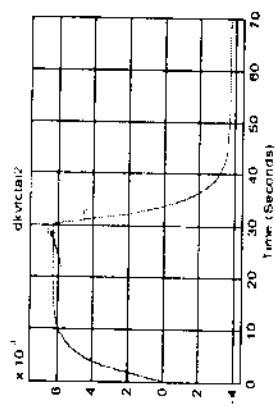


Hình 8.32. Vị trí đặt = 10 V

Vị trí

Tốc độ

Dòng điện

Hình 8.33. Vị trí đặt  $\approx 0,001$  V

Cơ học từ mô

## Nhận xét và kết luận

### Thời gian quá độ trong quá trình khởi động và quá trình hãm

Khi khởi động và hãm với vị trí đặt lớn ( $\varphi_d = 15^\circ$ ) thời gian quá độ là 10 s, nghĩa là nhanh lên khoảng 30% so với khi không có bù mờ. Khi vị trí đặt bằng định mức ( $\varphi_d = 10^\circ$ ), việc bù hầu như không gây ảnh hưởng đến đặc tính hệ thống.

### Độ chính xác

Bộ bù mờ giúp cho hệ đạt được độ chính xác cao với mọi giá trị của vị trí đặt, đặc biệt khi vị trí đặt nhỏ và rất nhỏ, ta có thể điều khiển chính xác ngay cả khi giá trị đặt bằng 1/10000 giá trị định mức, điều này rất khó đạt được nếu không có bù mờ. Khi vị trí đặt lớn hơn định mức, ngoài việc giảm thời gian quá độ, bộ bù mờ còn giảm độ quá điều chỉnh đặc biệt trong quá trình hãm.

### Quá trình thực hiện bộ bù mờ

Việc thực hiện bù mờ tương đối đơn giản, luật bù gắn với ngôn ngữ tự nhiên nên rất dễ hiểu. Số lượng giá trị mờ và số luật mờ có thể chọn tùy ý nên ta có thể thực hiện bộ bù mờ theo một đặc tuyến phi tuyến bất kỳ.

**Bảng 8.20.** Giải thích các ký hiệu và giá trị của các tham số

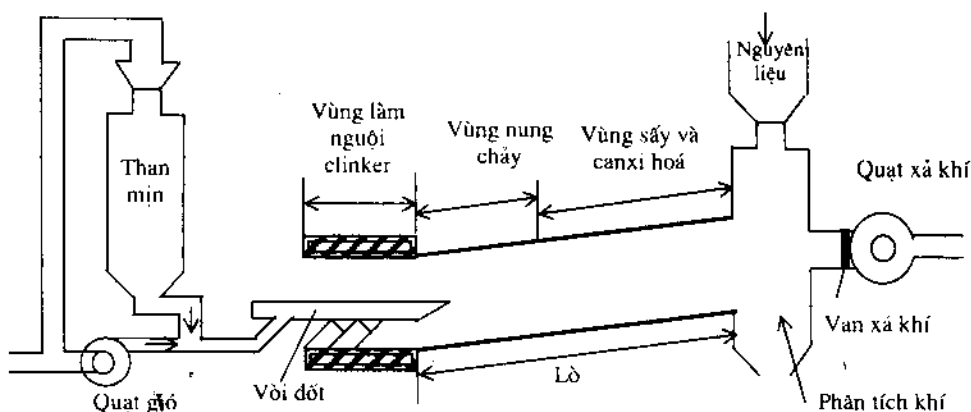
|             |                                       |                   |                    |                                           |                |
|-------------|---------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------------|----------------|
| $\omega$    | : Tốc độ góc                          |                   | $R_u$              | : Điện trở mạch phản ứng                  | $= 1,6 \Omega$ |
| $\eta_{dm}$ | : Hiệu suất danh định của động cơ     | $= 90 \%$         | $K_{cl}$           | : Hệ số khuếch đại bộ chỉnh lưu           | $= 22$         |
| $I_u$       | : Dòng điện mạch phản ứng             | $I_{dm} = 6,82 A$ | $U_{dm}$           | : Điện áp phản ứng định mức               | $= 220 V$      |
| $J$         | : Mô men quán tính                    | $= 2,45$          | $K_{\varphi}$      | : Hệ số phản hồi vị trí                   | $= 0,032$      |
| $K_i$       | : Hệ số khuếch đại của bộ truyền lực  | 1                 | $T_u$              | : Hằng số thời gian phản ứng              | $= 0,125 s$    |
| $L$         | : Điện cảm phản ứng                   | $= 0,2 H$         | $T_{\omega}$       | : Hằng số thời gian máy phát tốc          | $= 0,001 s$    |
| $l$         | : Chiều dài quãng đường cần di chuyển | $= 100 cm$        | $T_{\varphi}$      | : Hằng số thời gian bộ cảm biến vị trí    | $= 0,3 s$      |
| $n$         | : Tốc độ 'rôto'                       |                   | $T_{\Delta\omega}$ | : Hằng số thời gian mạch điều khiển bộ CL | $= 0,0001 s$   |
| $n_{dm}$    | : Tốc độ quay roto định mức           | $= 1500 v/ph$     | $T_i$              | : Hằng số thời gian máy biến dòng         | $= 0,002 s$    |
| $P_{dm}$    | : Công suất định mức của động cơ      | $= 1,5 kW$        | $T_v$              | : Hằng số thời gian bộ chỉnh lưu          | $= 0,0025 s$   |
| $r$         | : Bán kính trục truyền tải cuối cùng  | $= 0,32 cm$       | $K_{\omega}$       | : Hệ số phản hồi tốc độ                   | $= 0,03$       |

## 8.6. ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN MỜ CHO LÒ NUNG CLINKER TRONG SẢN XUẤT XI MĂNG

Việc ứng dụng điều khiển mờ cho lò nung clinker là một trong những thành công đầu tiên của việc ứng dụng điều khiển mờ vào công nghiệp, và hiện nay hệ điều khiển mờ đang được sử dụng ở một số nhà máy xi măng có hệ thống tự động hoá hiện đại ở nước ta, trong đó có nhà máy xi măng Hoàng Thạch.

### 8.6.1. Khái quát quá trình công nghệ lò nung clinker

Để sản xuất xi măng người ta dùng hai nguyên liệu chính là đá vôi và đá sét và hai nguyên liệu phụ xi sắt và cát thạch anh. Các vật liệu này được qua các công đoạn: đập và nghiền nhỏ thành bột liệu, trộn đều (đồng nhất), nung chín tạo thành clinker và cuối cùng là nghiền xi măng (nghiền clinker và một số phụ gia thành xi măng). Về công nghệ sản xuất xi măng trong công nghiệp thì đại thể có hai phương pháp chính: phương pháp ướt và phương pháp khô, sự khác nhau cơ bản giữa hai phương pháp này là giai đoạn đồng nhất. Khi sản xuất xi măng bằng phương pháp khô thì quá trình đồng nhất được thực hiện bằng cách trộn đều trực tiếp bột liệu sau khi đã đập và nghiền liệu, bột liệu sau khi đã đồng nhất tốt sẽ được đưa vào lò nung. Sản xuất xi măng bằng phương pháp ướt là người ta đổ bột liệu vào một bể đầy nước và khuấy liên tục để vật liệu được trộn đều, dung dịch được tạo thành chính là vữa liệu, sau đó người ta đưa vữa liệu vào lò nung.



Hình 8.34. Sơ đồ lò nung clinker

Thiết bị quan trọng nhất và thường được gọi là trái tim của nhà máy xi măng là lò nung clinker. Sơ đồ nguyên lý công nghệ của lò nung clinker như trình bày ở hình 8.34. Nguyên liệu đưa vào lò nung là bột liệu (hoặc vữa liệu), nhiên liệu đưa

vào lò là than đá đã nghiền nhỏ, dầu nặng và gió để tạo thành hỗn hợp cháy. Bột liệu sống đưa vào được nung trong lò ở nhiệt độ cao và khi quá trình nung kết thúc, đầu ra của lò người ta thu được sản phẩm chính là clinker. Quá trình nung từ bột liệu sống thành clinker thường trải qua 4 giai đoạn: giai đoạn 1 là sấy khô bột liệu; giai đoạn 2 là nung nóng và canxi hoá; giai đoạn 3 là giai đoạn nung chảy bột liệu ở nhiệt độ khoảng  $1430^{\circ}\text{C}$  và lúc này các phần tử  $\text{CaO}$  tự do kết hợp với nhau tạo thành clinker; giai đoạn 4 là làm nguội clinker và đưa ra ngoài.

Lò nung clinker có dạng hình ống bằng thép, dài khoảng từ 100 m – 200 m, đường kính lò khoảng 5 m, được lắp hơi nghiêng một chút so với mặt phẳng nằm ngang. Trong quá trình nung clinker, lò thường quay với tốc độ khoảng 1,2 đến 3 vòng/phút. Nguyên liệu được đưa vào phía cuối lò (phía cuối lò cao hơn một chút so với phía đầu lò), phía đầu lò là hỗn hợp nhiên liệu và gió được thổi vào tạo thành hỗn hợp khí cháy, đó là ngọn lửa lò nung. Vì lò đặt hơi nghiêng và quá trình làm việc lại liên tục quay nên dòng vật liệu sẽ trôi dần từ cuối lò về đầu lò trong khoảng thời gian 3 đến 4 giờ và sản phẩm đầu ra là clinker được lấy ra liên tục. Hỗn hợp khí cháy trong lò được hút qua lò nhờ quạt hút khí ra ở cuối lò, thường gọi là quạt khí xả, và người ta điều chỉnh mức độ hút này bằng một van đặt ở cuối lò gọi là van khí xả (xem hình 8.34).

Quá trình nung luyện từ bột liệu sống đầu vào thành clinker đầu ra là một quá trình cơ-lý-hoá cực kỳ phức tạp, chưa có mô hình toán học nào mô tả được chính xác và đầy đủ mọi hành vi của quá trình, đó là một đối tượng điều khiển phi tuyến có đầu đủ mọi mặt ý nghĩa của từ phi tuyến. Chính vì vậy, lò nung clinker là đối tượng thích hợp đặc biệt cho điều khiển mờ.

### **8.6.2. Thiết kế bộ điều khiển mờ cho quá trình nung luyện của lò nung clinker**

#### **Bước 1. Xác định các biến Vào-Ra**

Đầu tiên ta cần xác định biến trạng thái và biến điều khiển của quá trình nung luyện clinker. Biến trạng thái phải là những đặc trưng chính của quá trình và các giá trị của nó có thể cảm nhận được nhờ các cảm biến, còn biến điều khiển là để điều khiển các biến trạng thái đó.

Như vậy ta có thể chọn các biến trạng thái sau:

- + Nhiệt độ ở vùng nung chảy, ký hiệu BZ.
- + Lượng khí oxy (tính bằng %) trong khí xả, ký hiệu OX.
- + Nhiệt độ ở điểm cuối của lò, ký hiệu BE.

Giá trị BZ sẽ tỷ lệ với dung trọng clinker và có thể đo trực tiếp bằng cảm biến nhiệt độ, các giá trị OX và BE có thể nhận được từ máy phân tích khí xả đặt ở phía cuối lò.

Các biến điều khiển:

+ Tốc độ cấp nhiên liệu, ký hiệu CR.

+ Vị trí của van khí xả, ký hiệu DP.

Mỗi một biến điều khiển sẽ ảnh hưởng đến các giai đoạn làm việc của lò với các hằng số thời gian khác nhau từ hàng phút đến hàng giờ.

Ta thấy rằng tốc độ vòng quay của lò và tốc độ cấp liệu cũng có thể dùng làm biến điều khiển, tuy vậy vì lò thường làm việc ổn định ở năng suất không đổi nên ít khi điều chỉnh hai đại lượng này.

**Bước 2.** Xác định các giá trị vật lý tối hạn, hàm liên thuộc và suy luận mờ Nếu ... Thì.

Các giá trị tối hạn của biến trạng thái và biến điều khiển được xác định cụ thể tùy theo công nghệ sản xuất và năng suất lò, chẳng hạn lượng phần trăm oxy trong khí thải thường lấy trong giới hạn  $[0 \div 5\%]$ .

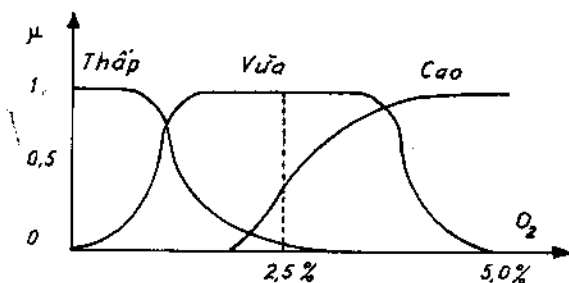
Hàm liên thuộc: ta chọn loại hình chuông, vì dạng hàm này là tổng quát hoá của phân bố Còsi trong lý thuyết xác suất.

Ví dụ về tập các giá trị ngôn ngữ của biến trạng thái là OX% được vẽ ở hình 8.35, trong đó ký hiệu : T là thấp, V là vừa và C là cao.

Hàm liên thuộc và tập mờ của nhiệt độ vùng nung chảy BZ và nhiệt độ cuối lò BE cũng chọn tương tự như hình 8.35.

Luật suy luận mờ Nếu...Thì.

Các luật này nói lên quan hệ giữa các biến trạng thái BZ, OX và BE và các biến điều khiển CR, DP. Dựa theo kinh nghiệm vận hành lò xi măng, các chuyên gia công nghệ và điều khiển lò đã đưa ra nguyên lý chung mà bảng hình 8.36 đã nêu ra một số nguyên tắc vận hành đó, dựa vào bảng này ta thành lập các qui tắc suy luận Nếu... Thì.



Hình 8.35. Hàm liên thuộc của OX



| T/T | Điều Kiện                    | Tác động                                                                                                              | Giải thích                                                                                                                                         |
|-----|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | BZ Vừa<br>OX Thấp<br>BE Thấp | a. Tăng tốc độ quạt gió.<br>b. Tăng nhiên liệu.                                                                       | Để tăng nhiệt độ phía cuối lò và tăng lượng % oxy ( tác động b ).                                                                                  |
| 2   | BZ Vừa<br>OX Thấp<br>BE Vừa  | a. Giảm cấp nhiên liệu chút ít.                                                                                       | Để duy trì nhiệt độ vùng nung chảy.<br>Để tăng % oxy                                                                                               |
| 3   | BZ Vừa<br>OX Thấp<br>BE Cao  | a. Giảm nhiên liệu.<br>b. Giảm quạt gió.                                                                              | Để tăng % oxy ( do b ).<br>Để giảm nhiệt độ cuối lò và duy trì nhiệt độ vùng nung chảy.                                                            |
| 4   | BZ Vừa<br>OX Vừa<br>BE Vừa   | a. Tăng quạt gió.<br>b. Tăng nhiên liệu.                                                                              | Để nâng nhiệt độ cuối lò.<br>Để duy trì nhiệt độ vùng nung chảy.                                                                                   |
| 5   | BZ Vừa<br>OX Vừa<br>BE Vừa   | Không tác động gì cả, tuy vậy cần theo dõi chặt chẽ các tham số.                                                      |                                                                                                                                                    |
| 6   | BZ Vừa<br>OX Vừa<br>BE Cao   | Khi oxy ở vùng cao thì:<br>a. Giảm quạt gió.<br>Khi oxy ở vùng thấp thì :<br>a. Giảm nhiên liệu.<br>b. Giảm quạt gió. | Để giảm nhiệt độ cuối lò.<br>Để nâng mức oxy (điểm c)<br>Để giảm nhiệt độ cuối lò và duy trì nhiệt độ vùng nung chảy.<br>Để tăng nhiệt độ cuối lò. |
| 7   | BZ Vừa<br>OX Cao<br>BE Thấp  | a. Tăng quạt gió.<br>b. Tăng nhiên liệu.                                                                              | Để duy trì nhiệt độ buồng đốt và giảm oxy.                                                                                                         |
| 8   | BZ Vừa<br>OX Cao<br>BE Vừa   | a. Giảm quạt gió một chút.                                                                                            | Để giảm oxy.                                                                                                                                       |

Hình 8.36. Kinh nghiệm vận hành lò nung clinker

Tập các qui tắc Nếu ... Thì có thể dựa vào kinh nghiệm vận hành lò nung ở hình 8.36.

Ví dụ theo điểm 1 ở bảng 3 ta có thể viết luật mờ sau;

Nếu BZ là Vừa và OX là Thấp và BE là Thấp Thì CR lớn , DP lớn.

Tương tự, theo điểm 2 ở bảng 3 ta có luật :

Nếu BZ là Vừa và OX là Thấp và BE là Vừa Thì CR là nhỏ.

Thực tế có  $3 \times 3 \times 3 = 27$  luật Nếu ...Thì được cài đặt cho bộ điều khiển mờ.

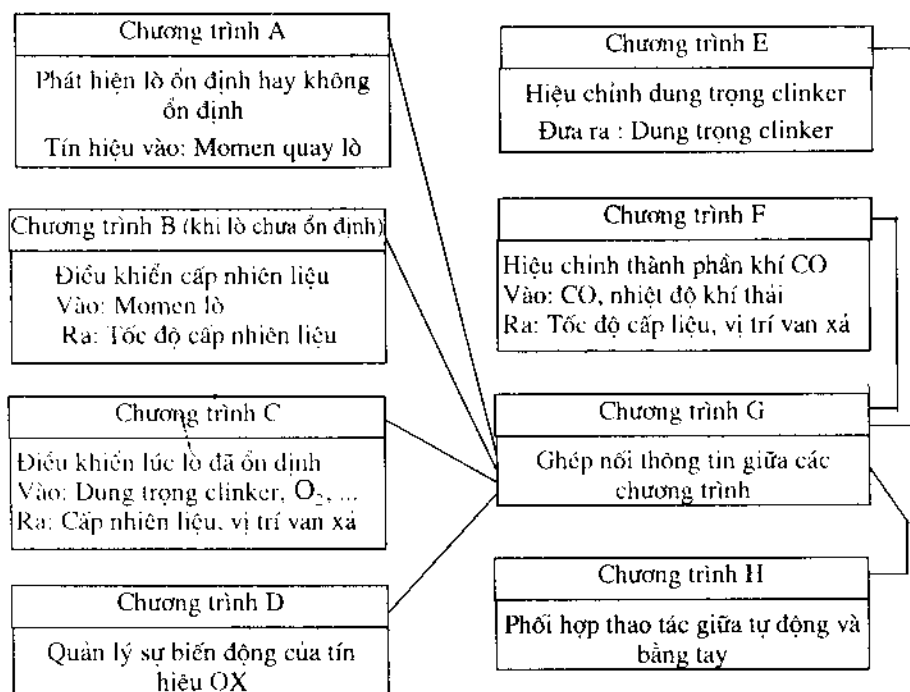
### 8.6.3. Cài đặt thực tế chương trình điều khiển mờ cho lò nung clinker

Thực tế ứng dụng thì hệ điều khiển mờ cho lò nung clinker gồm nhiều bộ điều khiển cho nhiều phương thức hoạt động khác nhau, trong đó có 2 phương thức hoạt động cần đặc biệt lưu ý, đó là:

+ Lò đang làm việc ổn định, nhưng giá trị đo được của momen quay lò có dao động nhỏ.

+ Lò đang chạy không ổn định, lúc này momen lò lớn và dao động.

Một chương trình điều khiển mờ thường gồm 8 chương trình con, mỗi một chương trình con là một bộ điều khiển mờ hoặc là một thao tác phụ nào đó. Các chương trình con này được giới thiệu ở hình 8.37.



Hình 8.37. Khối các chương trình con điều khiển lò.

Chương trình A: Xác định lò làm việc ổn định hay không. Chương trình này sẽ quản lý và kiểm tra momen lò trong khoảng thời gian 8 giờ.

Chương trình B: Nếu lò hoạt động không ổn định thì việc điều khiển sẽ được thực hiện qua chương trình B để điều chỉnh lượng nhiên liệu vào lò.

Chương trình C: Chương trình này điều chỉnh tốc độ cấp nhiên liệu và vị trí van khí xả để giữ ổn định các tham số làm việc của lò: dung trọng clinker (trọng lượng clinker/11lít) là 1350 g,  $O_2\%$  khoảng 1,8%, nhiệt độ phía đầu lò khoảng 197°C.

Chương trình D : Điều hành sự dao động của OX trong khí xả, chẳng hạn OX tăng thì nhiệt độ vùng nung chảy tăng và kéo theo dung trọng clinker tăng.

Chương trình E : Thông tin tăng giảm OX được chương trình E sử dụng để hiệu chỉnh dung trọng clinker. Chẳng hạn nếu dung trọng cao và OX giảm thì sẽ hiệu chỉnh dung trọng theo hướng giảm xuống theo mức giám của OX.

Chương trình F : Đo và điều khiển lượng khí CO trong khí xả .

Chương trình G : Vận chuyển thông tin giữa các chương trình con.

Chương trình H: Cho phép người vận hành có thể can thiệp vào các chế độ điều khiển tự động và điều khiển bằng tay.

Tất cả các chương trình con này được cài đặt trong một máy tính công nghiệp được gọi là máy tính điều khiển lò, máy tính này được nối mạng với máy tính khác và tạo thành mạng máy tính điều khiển tự động nhà máy xi măng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *Điều khiển tự động truyền động điện*. Trịnh Đình Đức- Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp. Hà Nội 1986.
- [2] *Hệ điều khiển trượt mờ lập theo mô hình cho lái tàu thủy tự động*. Nguyễn Trọng Thuần, Đặng Xuân Hoài. Tạp chí Giao thông vận tải- 7/1999.
- [3] *Hệ mờ và ứng dụng*. Nguyễn Hoàng Phương,....., NXB KH&KT - 1998.
- [4] *Kỹ thuật số*. Nguyễn Thúy Vân- Nhà xuất bản KH&KT- Hà Nội 1994.
- [5] *Kỹ thuật điện tử số*. Đặng Văn Chuyết. Nhà xuất bản giáo dục - 1998.
- [6] *Tổng hợp hệ thống điều khiển số truyền động điện một chiều*. Nguyễn Trọng Thuần, Tạ Duy Hà - 1 st VICA - Hà nội 1994.
- [7] *Ứng dụng điều khiển mờ xây dựng mặt trượt hệ có cấu trúc thay đổi áp dụng cho lái tàu thủy*. Nguyễn Trọng Thuần, Đặng Xuân Hoài. Tạp chí Khoa học và công nghệ - số 21 -1999.
- [8] *Ứng dụng kỹ thuật điện tử, kỹ thuật điện tử vào công nghiệp*. Nguyễn Trọng Thuần, Bùi Đình Tiểu. NXB KH&KT - 1985.
- [9] *Vấn đề ứng dụng logic mờ trong điều khiển truyền động điện*. Vũ Văn Hà, Nguyễn Trọng Thuần. Tạp chí khoa học và công nghệ. Số tháng 10 -1995.
- [10] Bài giảng "*Lý thuyết mờ và ứng dụng*". Nguyễn Hồ Quỳnh, ĐHBKHN-1998.
- [11] *An Application of fuzzy logic to position regulator of D.C. servo systems*. Nguyen Trong Thuan, Nguyen Van Thang-VJFUZZY'98- Hanoi 1998.
- [12] *Digital circuits and logical design*. Lee.,S.C., Prentice- Hall-1986.
- [13] *Elektrické' pohony*. Prof. Frantisek Cadil, ....., SNTL - Praha 1976.
- [14] *Engineering Applications of Fuzzy Logic*. Proceedings of the IEEE - March 1995.
- [15] *Fuzzy sets and their application to pattern recognition and clustering analysis*. Zadeh.L.A ; New York - Academic Press. 1997.

- [16] *Grafet et logique industrielle programmee'*. Prof. S. THELLIEZ, Prof. J-M TOULOTTE. -EYROLLES - Paris 1980.
- [17] *Introduction to the theory of fuzzy subsets*. Kaufmann. A; New York - Academic press- 1975.
- [18] *Logical design of switching circuits*. Lewin,D., Macmillan, 1986.
- [19] *Logicke' syste'my*. J.P.Perrin, M. Denoutte,E. Daclin - SNTL - Praha- 1972.
- [20] *Neural fuzzy systems*. Chin-Teng Lin and C.S. George Lee ; Prentice-Hall International -1996.

## MỤC LỤC

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Lời nói đầu</b>                                                 | <b>3</b>  |
| <b>Phần 1. Hệ thống logic hai trạng thái và ứng dụng</b>           | <b>5</b>  |
| <b>Chương 1. Lý thuyết cơ sở</b>                                   | <b>7</b>  |
| 1.1. Khái niệm về logic hai trạng thái                             | 7         |
| 1.2. Các hàm cơ bản của đại số logic và tính chất cơ bản của chúng | 7         |
| 1.2.1. Hàm logic cơ bản                                            | 7         |
| 1.2.2. Tính chất và một số hệ thức cơ bản của đại số logic         | 11        |
| 1.3. Các phương pháp biểu diễn hàm logic                           | 13        |
| 1.3.1. Phương pháp biểu diễn thành bảng                            | 13        |
| 1.3.2. Phương pháp hình học                                        | 14        |
| 1.3.3. Phương pháp biểu thức đại số                                | 14        |
| 1.3.4. Phương pháp biểu diễn hàm logic bằng bảng Karnaugh          | 16        |
| 1.4. Phương pháp tối thiểu hóa các hàm logic                       | 18        |
| 1.4.1. Phương pháp tối thiểu hàm logic bằng biến đổi đại số        | 18        |
| 1.4.2. Phương pháp tối thiểu hóa hàm logic theo thuật toán         | 19        |
| Câu hỏi và bài tập                                                 | 26        |
| <b>Chương 2. Mạch tổ hợp</b>                                       | <b>27</b> |
| 2.1. Mô hình toán học của mạch tổ hợp                              | 27        |
| 2.2. Phân tích mạch tổ hợp                                         | 27        |
| 2.3. Tổng hợp mạch tổ hợp                                          | 30        |
| 2.3.1. Tổng hợp mạch role                                          | 30        |
| 2.3.2. Tổng hợp mạch số                                            | 34        |
| 2.3.3. Thực hiện thiết bị số nhiều hàm tổ hợp                      | 36        |
| 2.4. Một số mạch tổ hợp thường gặp                                 | 39        |
| 2.4.1. Mạch điều khiển đóng mở và đổi chiều quay động cơ điện      | 39        |
| 2.4.2. Một số ví dụ về mạch số tổ hợp                              | 40        |
| Câu hỏi và bài tập                                                 | 46        |

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Chương 3. Mạch trình tự</b>                                                                               | <b>47</b> |
| 3.1. Khái niệm chung                                                                                         | 47        |
| 3.1.1. Giới thiệu và một số định nghĩa                                                                       | 47        |
| 3.1.2. Mô tả hoạt động của mạch trình tự                                                                     | 49        |
| 3.2. Một số phần tử nhớ trong mạch trình tự                                                                  | 50        |
| 3.2.1. Role thời gian                                                                                        | 50        |
| 3.2.2. Các mạch lật                                                                                          | 53        |
| 3.3. Phương pháp mô tả mạch trình tự                                                                         | 60        |
| 3.3.1. Phương pháp bảng chuyển trạng thái                                                                    | 60        |
| 3.3.2. Phương pháp đồ hình trạng thái                                                                        | 62        |
| 3.3.3. Phương pháp lưu đồ                                                                                    | 64        |
| 3.4. Tổng hợp mạch trình tự                                                                                  | 67        |
| 3.4.1. Tổng hợp theo phương pháp bảng trạng thái                                                             | 67        |
| 3.4.2. Tổng hợp theo phương pháp đồ hình Mealy hoặc Moore                                                    | 69        |
| 3.5. Grafcet - Công cụ để mô tả mạch trình tự trong công nghiệp                                              | 75        |
| 3.5.1. Hoạt động theo logic trình tự của thiết bị công nghiệp                                                | 75        |
| 3.5.2. Định nghĩa grafcet                                                                                    | 76        |
| 3.5.3. Một số ký hiệu dùng trong grafcet (hình 3.34)                                                         | 77        |
| 3.5.4. Quy tắc vượt qua chuyển tiếp                                                                          | 79        |
| 3.5.5. Ứng dụng grafcet                                                                                      | 80        |
| Câu hỏi và bài tập                                                                                           | 86        |
| <b>Chương 4. Một số ứng dụng mạch logic trong điều khiển</b>                                                 | <b>87</b> |
| 4.1. Mạch logic trong khống chế truyền động điện                                                             | 87        |
| 4.2. Khống chế khởi động, hãm và đảo chiều động cơ không đồng bộ roto lồng sóc                               | 87        |
| 4.2.1. Mạch đóng cắt đơn giản                                                                                | 88        |
| 4.2.2. Mạch khống chế đảo chiều có giám sát tốc độ                                                           | 90        |
| 4.2.3. Khống chế khởi động động cơ lồng sóc kiểu đối nối $\wedge/\Delta$ khi động cơ chỉ quay theo một chiều | 95        |

|                                                                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.4. Khống chế khởi động động cơ lồng sóc kiểu đổi nối $\Delta/\Delta$ khi động cơ quay theo hai chiều                  | 96         |
| 4.3. Khống chế động cơ không đồng bộ roto dây quấn                                                                        | 100        |
| 4.3.1. Mạch khống chế khởi động động cơ dây quấn dùng động cơ phụ để thay đổi điện trở phụ trong mạch roto                | 100        |
| 4.3.2. Sơ đồ khống chế khởi động động cơ roto dây quấn với việc cắt điện trở khởi động từng cấp theo nguyên tắc thời gian | 101        |
| 4.3.3. Sơ đồ khống chế đóng cắt điện trở phụ theo từng cấp để điều chỉnh tốc độ động cơ roto dây quấn và có hãm động năng | 102        |
| 4.4. Khống chế khởi động, hãm và đảo chiều động cơ điện một chiều                                                         | 105        |
| 4.5. Thực hiện các hệ logic trình tự bằng các mạch tích hợp cỡ lớn                                                        | 107        |
| 4.5.1. Phương pháp cài đặt trực tiếp                                                                                      | 107        |
| 4.5.2. Ví dụ thực hiện cài đặt một cấu trúc trình tự                                                                      | 112        |
| Câu hỏi và bài tập                                                                                                        | 115        |
| <b>Phần II. LOGIC MỜ VÀ ĐIỀU KHIỂN MỜ</b>                                                                                 | <b>119</b> |
| <b>Chương 5. Logic mờ</b>                                                                                                 | <b>121</b> |
| 5.1. Khái niệm chung                                                                                                      | 121        |
| 5.1.1. Lịch sử phát triển và khái niệm mờ đầu                                                                             | 121        |
| 5.1.2. Logic rõ và sự xuất hiện Logic mờ                                                                                  | 121        |
| 5.2. Một số vấn đề về cơ sở toán học của Logic mờ                                                                         | 122        |
| 5.2.1. Nhắc lại tập rõ                                                                                                    | 122        |
| 5.2.2. Tập con mờ                                                                                                         | 124        |
| 5.3. Logic mờ                                                                                                             | 148        |
| 5.3.1. Đặt vấn đề                                                                                                         | 148        |
| 5.3.2. Mệnh đề kéo theo (Implication) và mệnh đề tương đương                                                              | 149        |
| 5.3.3. Suy luận mờ và luật hợp thành                                                                                      | 154        |
| Câu hỏi và bài tập                                                                                                        | 160        |
| <b>Chương 6. Bộ điều khiển mờ</b>                                                                                         | <b>161</b> |
| 6.1. Sơ đồ chức năng bộ điều khiển mờ                                                                                     | 161        |
| 6.2. Mờ hóa (Fuzzifiers)                                                                                                  | 162        |
|                                                                                                                           | 265        |



|                                                                                                      |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.3. Giải mờ (Defuzzifiers)                                                                          | 163        |
| 6.3.1. Phương pháp cực đại                                                                           | 163        |
| 6.3.2. Phương pháp trọng tâm                                                                         | 164        |
| 6.3.3. Phương pháp lấy trung bình tâm                                                                | 165        |
| 6.4. Khối luật mờ                                                                                    | 166        |
| 6.5. Khối hợp thành                                                                                  | 167        |
| 6.5.1. Ma trận hợp thành                                                                             | 167        |
| 6.6. Hệ thống mờ như là một ánh xạ phi tuyến                                                         | 176        |
| 6.7. Hệ thống mờ như một bộ xấp xỉ vạn năng                                                          | 177        |
| 6.7.1. Chú ý một số định nghĩa                                                                       | 177        |
| 6.7.2. Xác định hệ mờ $f(x)$ xấp xỉ $g(x)$                                                           | 178        |
| Câu hỏi và bài tập                                                                                   | 181        |
| <b>Chương 7. Thiết kế hệ thống điều khiển mờ từ tập dữ liệu Vào-Ra</b>                               | <b>183</b> |
| 7.1. Vấn đề chung                                                                                    | 183        |
| 7.2. Thiết kế bộ điều khiển mờ bằng bảng dữ liệu Vào                                                 | 184        |
| 7.3. Thiết kế bộ điều khiển mờ theo một số nguyên tắc khác                                           | 188        |
| 7.3.1. Thiết kế bộ điều khiển mờ khi dùng phương pháp giảm dần độ dốc<br>(Gradient Descent Training) | 188        |
| 7.3.2. Phương pháp sai số bình phương cực tiểu hồi qui                                               | 194        |
| 7.4. Vấn đề ổn định của hệ điều khiển mờ                                                             | 197        |
| 7.4.1. Vấn đề ổn định hệ mờ khi hệ chỉ có một Vào một Ra (SISO)                                      | 197        |
| 7.4.2. Ổn định hàm mũ của hệ mờ<br>và việc thiết kế bộ điều khiển mờ ổn định                         | 199        |
| 7.4.3. Ổn định vào-ra của hệ mờ                                                                      | 200        |
| 7.5. Bộ điều khiển mờ tối ưu và bộ điều khiển mờ bền vững<br>(Optimal and Robust Controllers)        | 201        |
| 7.5.1. Điều khiển mờ tối ưu                                                                          | 201        |
| 7.5.2. Điều khiển mờ bền vững (Robust Fuzzy Control)                                                 | 205        |
| 7.6. Hệ điều khiển trượt                                                                             | 206        |
| 7.6.1. Nguyên lý của điều khiển trượt                                                                | 206        |
| 7.6.2. Thiết kế bộ điều khiển mờ trên cơ sở luật trượt mềm                                           | 209        |

|                                                                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.7. Hệ điều khiển mờ lai                                                                                        | 212        |
| 7.7.1. Đặt vấn đề                                                                                                | 212        |
| 7.7.2. Thiết kế hệ thống khi bộ điều khiển cấp thứ nhất là bộ điều khiển mờ, bộ điều khiển cấp thứ 2 là không mờ | 213        |
| 7.7.3. Thiết kế hệ thống khi cấp thứ nhất dùng bộ điều khiển PID truyền thống, cấp thứ hai dùng bộ điều khiển mờ | 218        |
| Câu hỏi và bài tập                                                                                               | 224        |
| <b>Chương 8. Một số ví dụ ứng dụng của hệ điều khiển mờ</b>                                                      | <b>225</b> |
| 8.1. Ví dụ về điều khiển máy điều hòa không khí                                                                  | 225        |
| 8.2. Hệ điều khiển mờ cho máy giặt                                                                               | 229        |
| 8.2.1. Khái quát về quá trình công nghệ một máy giặt tự động                                                     | 229        |
| 8.2.2. Nguyên lý thiết kế bộ điều khiển mờ cho máy giặt                                                          | 230        |
| 8.3. Điều khiển mờ cho hệ điều khiển tốc độ động cơ điện một chiều                                               | 231        |
| 8.3.1. Đặt vấn đề                                                                                                | 231        |
| 8.3.2. Thiết kế bộ bù mờ $\delta\alpha$                                                                          | 234        |
| 8.4. Điều khiển mờ cho hệ điều khiển vị trí dùng bộ biến tần-động cơ                                             | 236        |
| 8.4.1. Giới thiệu về hệ biến tần - động cơ                                                                       | 236        |
| 8.4.2. Bộ điều khiển mờ cho hệ điều khiển vị trí dùng truyền động biến tần - động cơ                             | 237        |
| 8.5. Hệ điều khiển mờ lai cho hệ điều khiển vị trí dùng T-Đ                                                      | 241        |
| 8.4.1. Đặt vấn đề                                                                                                | 241        |
| 8.5.2. Ứng dụng khâu bù mờ trong mạch vòng điều khiển vị trí                                                     | 244        |
| 8.6. Ứng dụng điều khiển mờ cho lò nung clinker trong sản xuất xi măng                                           | 254        |
| 8.6.1. Khái quát quá trình công nghệ lò nung clinker                                                             | 254        |
| 8.6.2. Thiết kế bộ điều khiển mờ cho quá trình nung luyện của lò nung clinker                                    | 255        |
| 8.6.3. Cài đặt thực tế chương trình điều khiển mờ cho lò nung clinker                                            | 258        |
| Tài liệu tham khảo                                                                                               | 261        |

## **Tập II.**

### **Ví xử lý và PLC - Bộ điều khiển logic khả trình**

# ĐIỀU KHIỂN LOGIC VÀ ỨNG DỤNG

Tập một

- Hệ thống logic hai trạng thái và ứng dụng
- Logic mờ và điều khiển mờ

*Tác giả :* **Pgs.Ts. Nguyễn Trọng Thuần**

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

**Pgs.Ts. Tô Đăng Hải**

*Biên tập:*

**Nguyễn Đăng**

*Vẽ bìa:*

**Hương Lan**

1

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**

70 - Trần Hưng Đạo - Hà Nội

---

In 1000 cuốn khổ 16 x 24 tại Công ty in Hàng không.

Giấy phép xuất bản số: 6 - 78 - 5/1/ 2004.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 9 năm 2004.

204144



**Giá: 32.000đ**