

TS BÙI QUÝ LỰC



KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

TẬP 2

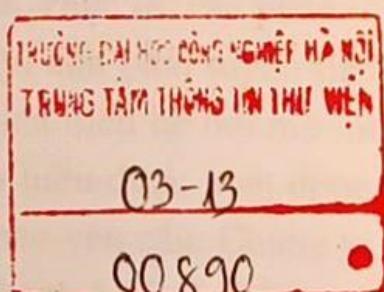


NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

Tập 2



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2011

LỜI NÓI ĐẦU

Hệ thống điều khiển tự động có vai trò quan trọng trong tất cả các lĩnh vực kỹ thuật. Hệ thống tự động được sử dụng rộng rãi từ thiết kế các thiết bị đòi hỏi có độ chính xác cũng như các thiết bị điện tử có độ nhạy cao tới thiết kế thiết bị nặng như các thiết bị trong công nghiệp sản xuất thép. Điều khiển tự động sẽ ngày càng phát triển bởi vì tất cả các thành tựu mới trong khoa học đều được đưa vào ứng dụng thiết bị điều khiển tự động.

Cuốn sách kỹ thuật điều khiển được viết trên cơ sở bài giảng và những trải nghiệm giảng dạy và thực tế nhờ đó giúp tác giả có cái nhìn bao quát về môn học cũng như phương pháp trình bày nhằm cung cấp cho người đọc đầy đủ nội dung môn học, rõ ràng và dễ hiểu. Với mục đích giúp cho các bạn đọc là người mới tiếp cận với lĩnh vực kỹ thuật điều khiển tự động cũng dễ hiểu và có thể thực hành được.

Nghiên cứu hệ điều khiển bắt đầu từ phân tích hiện tượng vật lý, từ đó xây dựng mô hình biểu diễn hiện tượng vật lý bằng các phần tử và tìm ra các phương trình đặc trưng cho mỗi phần tử. Thực tế, các phần tử thực đều có phương trình đặc trưng là hàm phi tuyến. Bởi vậy, cần phải tuyến tính hóa để các phần tử trở thành các phần tử lý tưởng. Sau đó, biểu diễn hệ bởi mô hình toán học. Giải phương trình biểu diễn hệ cho phép chúng ta hiểu được hoạt động của hệ và thiết kế, điều chỉnh để đạt được hoạt động của hệ theo yêu cầu. Chúng ta cũng có thể biểu diễn hệ bằng sơ đồ khối. Các khối liên kết thành hệ hoàn chỉnh và sơ đồ khối là cách biểu diễn hiệu quả hoạt động của hệ. Chương 2 và chương 3 của cuốn sách chủ yếu phân tích các hiện tượng xảy ra ở hệ cơ, điện, thủy lực, khí nén và nhiệt. Xây dựng các mô hình dùng để xác định đặc trưng của các phần tử và xác định hàm đặc trưng cho từng phần tử. Chương 4 phân tích một số cấu trúc tích hợp từ các phần tử của các lĩnh vực khác nhau có đặc trưng biến đổi năng lượng, biến đổi chuyển động, truyền năng lượng và các đặc trưng khác. Chương 5 giới thiệu phương pháp biểu diễn hệ bằng các phần tử lý tưởng hoặc bằng sơ đồ khối và chỉ ra ích lợi của biểu diễn hệ trong phân tích và thiết kế hệ. Chương 6 trình bày mô hình toán học. Hoạt động của hệ được biểu diễn bởi các phương trình vi phân. Để hiểu được hoạt động của hệ

chúng ta cần giải phương trình vi phân. Ở chương này nhắc lại phương pháp biến đổi Laplace và một số phương pháp biến đổi ngược Laplace được dùng phổ biến trong phân tích, thiết kế. Nhằm giúp cho sinh viên nắm các phương pháp này phục vụ cho giai đoạn phân tích và thiết kế. Đồng thời đi sâu vào phân tích các đại lượng đặc trưng hoạt động quá độ của hệ bậc nhất, bậc hai và các hệ thường gặp trong kỹ thuật. Chương 7 trình bày chủ yếu trình mô hình không gian trạng thái. Lý thuyết cơ bản dùng trong thiết kế hệ điều khiển hiện đại. Các phương pháp chuyển phương trình vi phân tín hiệu vào-ra sang không gian trạng thái, phương pháp giải phương trình vi phân trạng thái, chuyển phương trình trạng thái sang hàm truyền và graph dòng biến không gian trạng thái cũng được trình bày ở chương này. Đánh giá ổn định của hệ là nhiệm vụ quan trọng của phân tích, thiết kế hệ điều khiển, nội dung này được trình bày ở chương 8. Ở đây chỉ ra phương pháp đánh giá ổn định của hệ theo tiêu chuẩn Routh, Nyquist, đồ thị Bode, đồ thị Nichols, quỹ đạo nghiệm và tiêu chuẩn Lyapunov dùng cho cả hệ tuyến tính và phi tuyến. Chương 9 trình bày phương pháp phác họa quỹ đạo nghiệm và đánh giá ổn định của hệ thông qua quỹ đạo nghiệm. Chương 10 chủ yếu trình bày các phương pháp thiết kế hệ điều khiển phản hồi, phương pháp bù tích cực và thụ động. Điều khiển số và vi điều khiển ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong điều khiển. Lĩnh vực này được trình bày chủ yếu ở chương 11.

Tác giả mong rằng cuốn sách ra đời đáp ứng được nhu cầu kiến thức về kỹ thuật điều khiển của sinh viên các trường cao đẳng, đại học và các bạn đọc ham mê lĩnh vực điều khiển tự động. Mong rằng cuốn sách là tài liệu hữu ích đối với người nghiên cứu và giảng dạy trong lĩnh vực này.

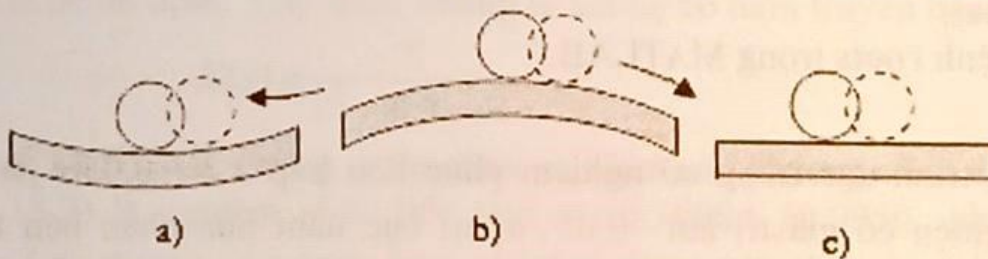
Tác giả xin bày tỏ cảm ơn chân thành tới Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật đã tạo điều kiện để cuốn sách nhanh chóng đến với bạn đọc và các đồng nghiệp đã tham gia đóng góp nhiều ý kiến quý báu. Do thời gian và khả năng có hạn chắc rằng cuốn sách không tránh khỏi sai sót. Tác giả rất cảm kích cảm ơn các bạn đọc đến với cuốn sách và rất mong nhận được ý kiến đóng góp quý báu giúp cho chất lượng cuốn sách được hoàn thiện hơn sau mỗi lần tái bản. Những ý kiến đóng góp xin gửi về Bộ môn Máy và Ma Sát, Viện Cơ Khí Trường đại học Bách Khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt hoặc Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật 70 Trần Hưng Đạo Hà Nội.

PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ

Vấn đề đảm bảo để hệ làm việc ổn định là trọng tâm trong quá trình thiết kế. Nghiên cứu hoạt động của hệ, cho phép chúng ta hiểu rõ mọi trạng thái xảy ra và các yếu tố làm hệ thống mất ổn định, từ đó tìm giải pháp phù hợp cho quá trình phân tích, thiết kế theo yêu cầu. Trong thực tế, hệ có thể phân thành hai kiểu: hệ tuyến tính thời gian không đổi (dừng); hệ phi tuyến-thời gian biến đổi. Trong hai dạng hệ nêu trên, khảo sát tính ổn định của hệ phi tuyến thường khó khăn và phức tạp hơn so với hệ tuyến tính.

8.1 KHÁI NIỆM VỀ HỆ ỔN ĐỊNH

Như chúng ta đã biết trong thực tế nhiều hệ vật lý thường hoạt động không ổn định song trong sản xuất, hệ được thiết kế phần lớn đòi hỏi hoạt động ổn định và ổn định với một vài thông số mà các thông số đó có giá trị biến đổi trong phạm vi nhỏ ví dụ, hệ điều khiển của máy bay thương mại. Đôi khi trong thực tế sản xuất đòi hỏi thiết kế hệ không cần ổn định ví dụ, hệ thống điều khiển của máy bay phản lực chiến đấu. Bởi vậy, để đưa hệ hờ từ làm việc không ổn định về làm việc ổn định người ta thực hiện bằng cách thêm vào hệ hờ mạch phản hồi với các tham số phù hợp.



HÌNH 8-1 Hình ảnh hình học thể hiện điều kiện ổn định

- a) Hệ ổn định
- b) Hệ không ổn định
- c) Hệ ở biên giới ổn định

Như trên đã phân tích hệ có thể ổn định hoặc không ổn định. Hệ có đặc tính từ không ổn định dần chuyển về ổn định, hệ có quá trình như thế gọi là **hệ ổn định tuyệt đối**. Một hệ ổn định tuyệt đối, nếu điều chỉnh mức độ đặc trưng độ ổn định của nó, chúng ta đã chuyển hệ ổn định tuyệt đối sang **ổn định tương đối** hay **tiệm cận ổn định**. Khái niệm ổn định tương đối đầu tiên được sử dụng trong thiết kế máy bay.

Khái niệm về ổn định có thể hình dung rõ hơn thông qua hình ảnh hình học về điều kiện ổn định của con lăn trên bề mặt hình dạng khác nhau với biến trạng thái là vận tốc như thể hiện trên hình 8-1. Chúng ta quan sát viên bi ở mặt lõm hình 8-1(a). Nếu dịch chuyển viên bi cách vị trí thấp nhất một khoảng cách nhỏ, dưới tác dụng

của lực trọng trường viên bi dao động xung quanh điểm thấp nhất và khi lực cản (lực ma sát) mất đi, viên bi về vị trí thấp nhất ở đó vận tốc bằng không, điểm này gọi là điểm cân bằng ổn định và đó là hệ ổn định. Nếu bỏ qua lực cản, viên bi dao động quanh điểm cân bằng và không về điểm cân bằng đó là hệ tiệm cận ổn định. Trong trường hợp mặt lồi như chỉ ra trên hình 8-1(b), viên bi ở trạng thái cân bằng khi đặt chính xác viên bi ở đỉnh của mặt lồi, khi dịch chuyển viên bi sang điểm bên cạnh điểm này khoảng vô cùng nhỏ, dưới tác dụng lực trọng trường viên bi lăn xuống và nó không bao giờ trở về vị trí cân bằng bởi vậy, điểm này được gọi là điểm không ổn định đó là hệ không ổn định. Trường hợp viên bi nằm trên mặt phẳng chỉ rõ trên hình 8-1(c), không có lực nào tác động lên viên bi, viên bi đứng yên hoặc chuyển rời khỏi vị trí ban đầu của nó và không quay về vị trí ban đầu, trong trường hợp này người ta nói rằng hệ ở biên giới giữa ổn định và không ổn định. Chúng ta có thể hiểu khái niệm hệ thống ổn định trên cơ sở phân tích hệ có hàm truyền bậc hai:

$$F(s) = \frac{1}{s^2 + 0.1s + 1} \quad (8.1)$$

Ứng dụng MATLAB tìm nghiệm của phương trình đặc trưng.

```
% Chương trình tìm nghiệm phương trình
```

```
a=1
```

```
b=0.1
```

```
c=1
```

```
x1=(-b+sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a)
```

```
x2=(-b-sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a)
```

```
x1 =
```

```
-0.0500 + 0.9987i
```

```
x2 =
```

```
-0.0500 - 0.9987i
```

hoặc dùng lệnh roots trong MATLAB

```
y=[1 0.1 1]
```

```
roots(y)
```

Phương trình đặc trưng có nghiệm phức liên hợp $s = -0.05 \pm j0.9987$, phần thực của nghiệm có giá trị âm -0.05 , vị trí cực nằm nửa phần bên trái của mặt phẳng-s như chỉ rõ trên hình 8-2(a). Ứng dụng MATLAB, tìm đáp ứng bước đơn vị của hệ. Hình 8-2(b) là đồ thị đáp ứng bước hàm truyền (8.1).

```
% Tìm đáp ứng ra của hệ
```

```
syms y s
```

```
y=ilaplace(1/(s^2+0.1*s+1))
```

```
pretty(y)
```

```
y =
```

```
20/399*399^(1/2)*exp(-1/20*t)*sin(1/20*399^(1/2)*t)
```

```
% chương trình vẽ đồ thị
```

```
num=[1]
```

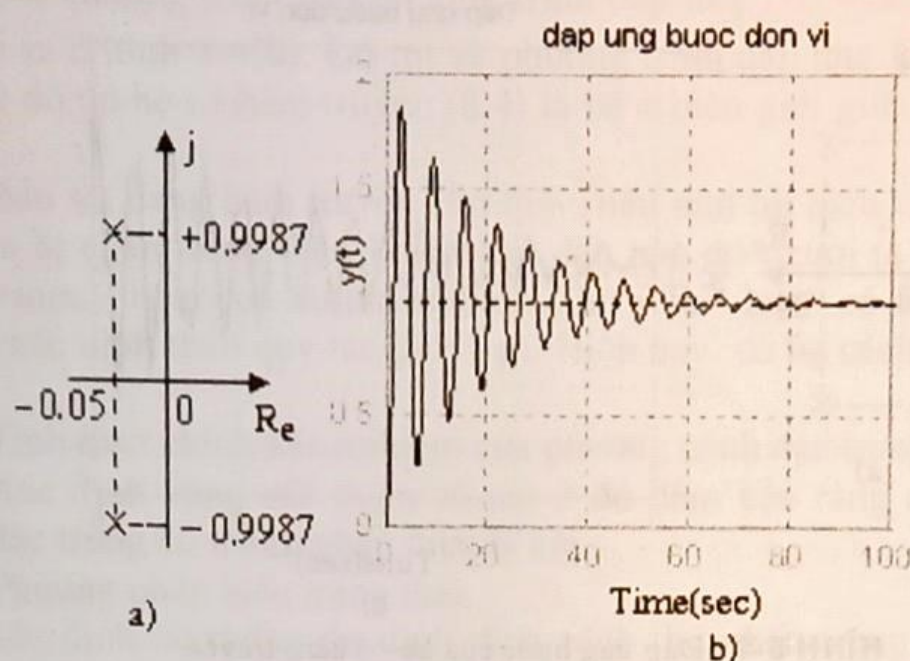
```
den=[1 0.1 1]
```

```
y=tf(num,den)
```

```
step(y)
```

```
grid on
```

```
Y(t) = 20/399*399^(1/2)*exp(-1/20*t)*sin(1/20*399^(1/2)*t)
```

HÌNH 8-2 Đáp ứng bước của hệ có hàm truyền

$$F(s) = \frac{1}{s^2 + 0.1s + 1}$$

- a) Vị trí cực trong mặt phẳng-s
b) Đáp ứng bước đơn vị

Phương trình đáp ứng chỉ ra rằng hệ có thành phần dao động sin và thành phần hàm mũ suy giảm bởi vậy, giá trị của đáp ứng tiến tới 1 khi $t \rightarrow \infty$ và nhìn vào đồ thị cho thấy đáp ứng tiến dần tới giá trị cố định bằng 1 khi $t \rightarrow \infty$. Hệ có hàm truyền (8.1) là hệ ổn định. Tiếp theo, chúng ta xét hệ có hàm truyền bậc hai:

$$F(s) = \frac{1}{s^2 - 0.2s + 1} \quad (8.2)$$

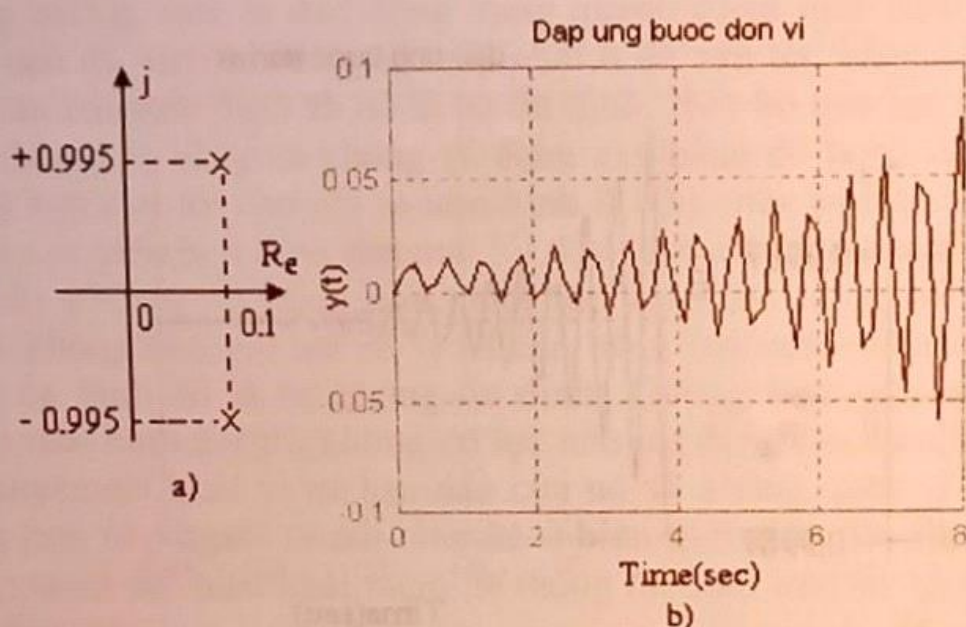
Ứng dụng MATLAB, chúng ta tìm được nghiệm của phương trình đặc trưng của hàm truyền (8.2) là nghiệm phức liên hợp $s = 0.1000 \pm j 0.9950$, phần thực của nghiệm có giá trị dương, vị trí cực nằm nửa phần bên phải của mặt phẳng-s như chỉ rõ trên hình 8-3(a) và phương trình đáp ứng của hệ là:

$$f(t) = \frac{10}{33} \times 11^{\frac{1}{2}} e^{\frac{1}{10}t} \sin\left(\frac{3}{10} \times 11^{\frac{1}{2}} t\right) \quad (8.3)$$

Hình 8-3(b) là đồ thị đáp ứng bước đơn vị của hệ.

Phương trình (8.3) cho thấy, đáp ứng của hệ có thành phần dao động sin và hàm mũ có số mũ là số dương bởi vậy, đáp ứng của hệ là hàm dao động biên độ tăng khi $t \rightarrow \infty$. Nhìn vào đồ thị đáp ứng bước đơn vị cũng chỉ ra rằng biên độ đáp ứng tăng dần khi $t \rightarrow \infty$. Từ đồ thị và phương trình đáp ứng cho thấy hệ có hàm truyền (8.3) là hệ không ổn định. Bây giờ, chúng ta xét hàm truyền có dạng khác:

$$F(s) = \frac{1}{(s^2 + 1)} \quad (8.4)$$



HÌNH 8-3 Đáp ứng bước của hệ có hàm truyền

$$F(s) = \frac{1}{s^2 - 0.2s + 1}$$

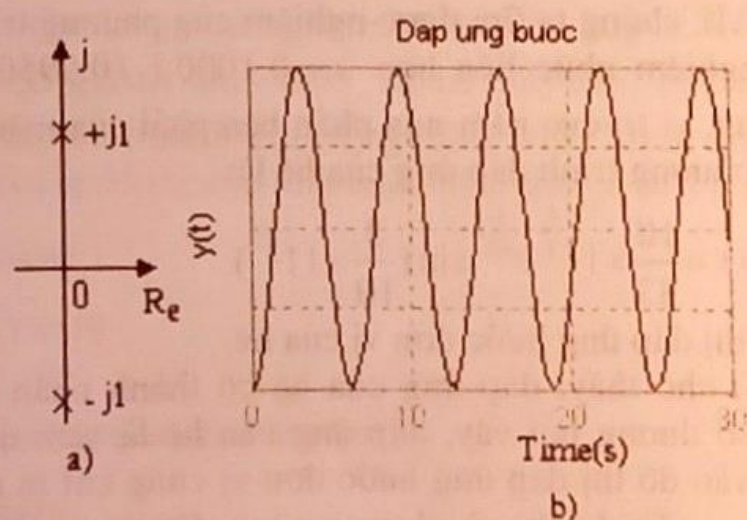
a) Vị trí cực trong mặt phẳng-s

b) Đáp ứng bước đơn vị

Phương trình đặc trưng hàm truyền (8.4) có nghiệm phức liên hợp với phần thực bằng không $s = \pm j1$ có nghĩa là vị trí cực nằm trên trục ảo của mặt phẳng-s như chỉ ra hình 8-4(a). Từ vị trí cực trên mặt phẳng-s chúng ta có thể nói rằng hệ ở biên giới giữa ổn định và không ổn định. Để kiểm tra lại, ứng dụng MATLAB, tìm đáp ứng bước đơn vị.

```
syms s
y=ilaplace(1/(s^2+1))
```

```
y =
sin(t)
```



HÌNH 8-4 Đáp ứng bước của hệ có hàm truyền

$$F(s) = \frac{1}{(s^2 + 1)}$$

a) Vị trí cực trong mặt phẳng-s

b) Đáp ứng bước đơn vị

Kết quả chương trình cho phương trình đáp ứng $f(t) = \sin(t)$ và đồ thị đáp ứng đơn vị chỉ ra ở hình 8-4(b). Đồ thị và phương trình đáp ứng là hàm sin với biên độ không đổi do đó hệ có hàm truyền (8.4) là hệ ở biên giới giữa ổn định và không ổn định.

Từ khảo sát dạng hàm truyền cho thấy, nếu mọi tín hiệu vào được chặn kết quả tín hiệu ra bị chặn trong điều kiện ban đầu nào đó người ta gọi là ổn định BIBO (bounded-input- bounded-output stable). Chú ý là “bao” có nghĩa là tín hiệu ra và vào được xác định theo quy tắc giới hạn. Hiện nay, có ba cách để xác định ổn định của hệ:

1. Tính toán chính xác nghiệm của phương trình đặc trưng.
2. Xác định vùng các tham số mà ở đó đảm bảo rằng nghiệm phương trình đặc trưng có thành phần thực là âm.
3. Phương pháp biến trạng thái.

Để xác định hệ thống ổn định theo cách thứ nhất, trong kỹ thuật điều khiển người ta sử dụng hai phương pháp:

1. Giải trực tiếp phương trình đặc trưng theo cách giải phương trình vi phân cổ điển,
2. Theo phương pháp quỹ đạo nghiệm.

Xác định ổn định hệ thống theo cách thứ hai, trong kỹ thuật điều khiển người ta dùng tiêu chuẩn:

1. Tiêu chuẩn Routh.
2. Tiêu chuẩn Nyquit.

Xác định ổn định hệ theo cách thứ ba bằng phương pháp biến trạng thái.

Sau đây chúng ta chỉ xem xét điều kiện để hệ tuyến tính thời gian không đổi có một tín hiệu vào và một tín hiệu ra ở trạng thái ổn định. Như chúng ta đã biết phương trình tín hiệu vào-ra của hệ tuyến tính-thời gian không đổi viết dưới dạng tổng quát là:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = f(t) \quad (8.5)$$

ở đây $a_0, a_1, \dots, a_n$ là hằng số; $f(t)$ là hàm lực (tín hiệu vào) và các đạo hàm của nó. Giải phương trình (8.5), chúng ta nhận được nghiệm gồm hai thành phần:

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) \quad (8.6)$$

trong đó $y_1(t)$ là đáp ứng lực, do hàm cưỡng bức từ ngoài tác động vào hệ (tín hiệu vào) và $y_2(t)$ là đáp ứng tự nhiên theo điều kiện ban đầu, dạng tổng quát của đáp ứng tự nhiên có dạng:

$$y_2(t) = \sum_{i=1}^n K_i e^{p_i t} \quad (8.7)$$

ở đây:

$\{p_i\}$ là nghiệm của phương trình đặc trưng;

$\{K_i\}$ là hệ số phụ thuộc vào điều kiện ban đầu và vị trí không được xác định khi giải cụ thể hàm truyền.

Chú ý rằng phương trình 8-5 gồm hai thành phần của đáp ứng bởi vậy, chúng có thể phân tích thành hai thành phần đáp ứng độc lập sau đó tổ hợp thành đáp ứng toàn phần.

Điều kiện cần và đủ để hệ tuyến tính thời gian không đổi ổn định khi $t \rightarrow \infty$ là tất cả số hạng trong phương trình (8.7) tiến tới không, có nghĩa là:

$$e^{p_i t} \rightarrow 0 \text{ với tất cả } p_i$$

Điều này xảy ra khi tất cả cực của hệ nằm ở nửa bên trái mặt phẳng-s, ở đó:

$$R\{p_i\} < 0 \quad \text{với } i = 1, 2, 3 \dots n \quad (8.8)$$

Nghiệm của phương trình đặc trưng có thể là thực hoặc phức liên hợp. Nếu tất cả cực của hệ nằm ở nửa bên trái mặt phẳng-s, có nghĩa là tất cả phần thực của nghiệm là âm, hệ ổn định. Nếu nghiệm của phương trình đặc trưng nằm ở nửa bên phải của mặt phẳng-s, hệ không ổn định và nếu nghiệm nằm trên trục ảo hệ ở biên giới giữa ổn định và không ổn định, chú ý rằng nghiệm nằm trên trục ảo nhưng ở gốc, hệ ổn định ví dụ, hệ có hàm truyền:

$$F(s) = \frac{1}{s(s+1)} \quad (8.9)$$

Phương trình đặc trưng có hai nghiệm $s=0$ và $s=-1$. Vị trí cực nằm nửa trái và ở gốc, hệ ổn định. Người ta cũng có thể phát biểu điều kiện ổn định của hệ tuyến tính như sau:

Điều kiện cần và đủ để hệ tuyến tính thời gian không đổi ổn định là tất cả các cực của hàm truyền có phần thực âm.

8.2 TIÊU CHUẨN ROUTH

Để đánh giá hệ ổn định hay không ổn định người ta cần phải tìm nghiệm của phương trình đặc trưng và kiểm tra dấu phần thực của nghiệm, nếu tất cả phần thực mang dấu âm, hệ ổn định. Trong thực tế, việc giải phương trình đặc trưng gặp nhiều khó khăn, nhiều khi không giải được nhất là các phương trình đặc trưng của hệ phản hồi. Vì vậy, một số phương pháp cho thông tin về vùng nghiệm của phương trình đặc trưng mà không cần giải phương trình được đưa vào để xác định ổn định của hệ. Dựa vào phương pháp này, năm 1874 Routh đã đề xuất phương pháp không cần giải phương trình đặc trưng nhưng vẫn đánh giá được ổn định của hệ, phương pháp đó gọi là **tiêu chuẩn ổn định Routh** hoặc **tiêu chuẩn ổn định đại số**. Nó được gọi là tiêu chuẩn đại số bởi vì tiêu chuẩn đã sử dụng một số thuật toán đại số có liên hệ với hệ số của phương trình đặc trưng. Bởi vì, công thức của Routh sử dụng tính toán bằng bảng tam giác với bảng là hàm của hệ số phương trình đặc trưng $\{a_i\}$. Tiêu chuẩn Routh được sử dụng khá phổ biến ở thế kỷ thứ 19 và sau đó ít được sử dụng khi xuất hiện phần mềm MATLAB. Nhược điểm của tiêu chuẩn Routh là không đánh giá được ổn định với hệ bậc cao.

Như ta đã biết phương trình đặc trưng của hệ bậc n có dạng:

$$a_1 s^n + a_2 s^{n-1} + \dots + a_{n+1} = 0 \quad \text{với } a_{n+1} \neq 0 \quad (8.10)$$

điều kiện để hệ thống ổn định là tất cả nghiệm của phương trình (8.10) có phần thực âm, tiêu chuẩn ổn định của Routh phát biểu như sau:

Điều kiện cần và đủ để hệ ổn định là tất cả hệ số của phương trình đặc trưng và tất cả các phần tử ở cột một của bảng Routh dương.

Từ điều kiện cần của ổn định, nhìn vào dấu hệ số của phương trình đặc trưng, nếu chỉ cần dấu của một hệ số nào đó là âm hoặc bằng không, còn tất cả các hệ số khác dương, ta khẳng định rằng hệ không ổn định và không cần xét điều kiện đủ. Nếu tất cả hệ số là thực và dương, chúng ta chưa thể khẳng định hệ ổn định, vì vậy cần thiết lập bảng Routh để kiểm tra, nếu mọi phần tử trong cột một của bảng Routh dương, không có phần tử nào bằng không, ta kết luận rằng hệ ổn định. Khi xây dựng bảng Routh có thể xảy ra các trường hợp:

1. Cột một có một phần tử bằng không, các phần tử còn lại của cột một là dương.

2. Trong bảng có hàng mà tất cả các phần tử đều bằng không.

Cách xây dựng bảng Routh cho các trường hợp này sẽ được trình bày ở phần tiếp theo.

Bây giờ, chúng ta sắp xếp bảng Routh thành hàng i và cột j , hàng thứ nhất là các hệ số có chỉ số lẻ của phương trình đặc trưng, hàng thứ hai là hệ số có chỉ số chẵn và các phần tử còn lại xác định theo công thức:

$$c_{i,j} = c_{i-2,j+1} - \alpha_i c_{i-1,j+1} \quad \text{với } i \geq 3 \quad (8.11)$$

trong đó:

$$\alpha_i = \frac{c_{i-2,1}}{c_{i-1,1}}$$

Số hàng của bảng Routh là $i = n + 1$. Trong đó n là bậc của phương trình đặc trưng. Bậc của phương trình đặc trưng sắp xếp giảm dần từ $i = 1$ đến $i = n$ và hàng cuối cùng của cột bậc luôn là s^0 , Bảng Routh dạng tổng quát chỉ ra ở bảng 8-1.

Bảng 8-1

s^n	$c_{11} = a_1$	$c_{12} = a_3$	$c_{13} = a_5$	$c_{14} = a_7$	...
s^{n-1}	$c_{21} = a_2$	$c_{22} = a_4$	$c_{23} = a_6$	$c_{24} = a_8$	...
s^{n-2}	$c_{31} =$ $c_{12} - \alpha_3 c_{22}$	$c_{32} =$ $c_{13} - \alpha_3 c_{23}$	$c_{33} =$ $c_{14} - \alpha_3 c_{24}$	$c_{34} =$ $c_{15} - \alpha_3 c_{25}$	...
s^{n-3}	$c_{41} =$ $c_{22} - \alpha_4 c_{32}$	$c_{42} =$ $c_{23} - \alpha_4 c_{33}$	$c_{43} =$ $c_{24} - \alpha_4 c_{34}$	$c_{44} =$ $c_{25} - \alpha_4 c_{35}$	...
...	...	...	...	...	...
s^0	$c_{n1} = c_{n-2,2} -$ $\alpha_n c_{n-1,2}$				

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
-------------------	---

Chương 8: PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ

8.1 Khái niệm về hệ ổn định	5
8.2 Tiêu chuẩn Routh.....	10
8.3 Phương pháp chuyển đường viền	18
8.4 Tiêu chuẩn Nyquist.....	25
8.5 Dự trữ ổn định.....	41
8.6. Đánh giá ổn định theo đồ thị Bode	47
8.6.1 Cách xây dựng đồ thị Bode.....	47
8.6.2 Xây dựng xấp xỉ tuyến tính cho các hàm cơ sở.....	63
8.6.3 Xây dựng đồ thị xấp xỉ hàm phức tạp.....	76
8.6.4 Đánh giá ổn định hệ	78
8.7. Đáp ứng tần số hệ phản hồi-liên hệ giữa đáp ứng quá độ và đáp ứng tần số	85
8.8. Đánh giá ổn định hệ bằng đồ thị Nichols.....	97
8.9. Đánh giá ổn định theo phương pháp quỹ đạo nghiệm.....	104
8.10 Đánh giá ổn định theo phương pháp biến trạng thái	104
8.10.1 Lý thuyết ổn định Lyapunov	104
8.10.2 Đánh giá ổn định hệ phi tuyến	106
8.10.3 Đánh giá ổn định hệ tuyến tính được biểu diễn bởi phương trình trạng thái	112
8.11 Hệ số lỗi và độ nhạy trạng thái ổn định	115
Bài tập.....	126

Chương 9: PHƯƠNG PHÁP QUỸ ĐẠO NGHIỆM

9.1 Khái niệm về quỹ đạo nghiệm	131
9.2 Xây dựng quỹ đạo nghiệm.....	138
9.3 Phương trình quỹ đạo nghiệm.....	158
9.4 Phương pháp quỹ đạo nghiệm sử dụng MATLAB	161
9.5 Biến của tham số.....	165
9.6. Mở rộng phương pháp quỹ đạo nghiệm	172
Bài tập.....	174
	335

Chương 10: THIẾT KẾ HỆ ĐIỀU KHIỂN

10.1 Khái niệm chung	178
10.2 Kỹ thuật bù tăng.....	180
10.3 Kỹ thuật bù phản hồi phụ.....	194
10.4 Kỹ thuật bù tín hiệu vào.....	198
10.5 Kỹ thuật bù tỷ lệ-tích phân-vi phân (PID).....	200
10.6. Thiết kế hệ điều khiển bằng phương pháp quỹ đạo nghiệm.....	205
10.6.1 Kỹ thuật bù tăng bị động.....	205
10.6.2 Kỹ thuật bù tích cực.....	227
10.7 Thiết kế hệ dùng phương pháp đồ thị Bode.....	251
10.7.1 Đáp ứng tần số	251
10.7.2 Kỹ thuật bù tăng.....	255
10.8 Thiết kế không gian trạng thái	271
10.8.1 Hệ điều khiển được	271
10.8.2 Hệ quan sát được.....	274
10.8.3 Thiết kế bằng bố trí cực	278
10.8.4 Thiết kế theo đánh giá trạng thái	293
10.8.5 Thiết kế bù tích hợp đánh giá và điều khiển	296
Bài tập.....	301

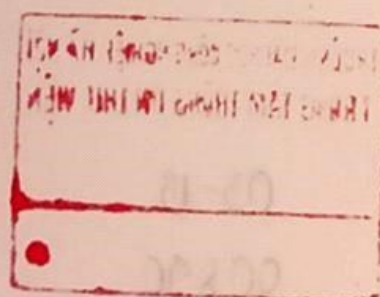
Chương 11: HỆ ĐIỀU KHIỂN SỐ

11.1 Hệ dữ liệu mẫu	308
11.2 Biến đổi-z.....	309
11.3 Biến đổi ngược-z	313
11.4 Sơ đồ khối	318
11.5 Phân tích ổn định trong mặt phẳng-z	320
11.6. Xây dựng quỹ đạo nghiệm	322
11.7 Giữ bậc không	325
11.8 Đặc trưng trạng thái ổn định	328
11.9 Hệ điều khiển có máy tính	330
Bài tập.....	331
Tài liệu tham khảo.....	333

Kỹ thuật điều khiển tự động

Tập 2

Tác giả: TS BÙI QUÝ LỰC
Chịu trách nhiệm xuất bản: TS PHẠM VĂN DIỄN
Biên tập: TS NGUYỄN HUY TIẾN
Trình bày bìa: TRỊNH THÙY DƯƠNG



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội

In 200 cuốn, khuôn khổ 16x24 cm.

Tại Xí nghiệp in Nhà xuất bản Văn hóa Dân tộc.

Đăng ký kế hoạch xuất bản số: 526-2011/CXB/17.2-45/KHKT.

Quyết định xuất bản số: 98/QĐXB-NXBKHKT, ngày 20/6/2011.

In xong và nộp lưu chiểu quý III năm 2011.