

**BỘ CÔNG THƯƠNG
ĐẠI HỌC KINH TẾ - KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP
KHOA ĐIỆN**

**Nguyễn Đức Dương (chủ biên)
Võ Thu Hà, Trần Ngọc Sơn**

**TÀI LIỆU HỌC TẬP
ĐIỀU KHIỂN TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN**
(Lưu hành nội bộ)

Hà Nội – 2019

MỤC LỤC

MỤC LỤC	2
CHƯƠNG 1.....	7
KHÁI NIỆM CHUNG	7
Mục tiêu của chương	7
1.1. Khái niệm và phân loại hệ thống truyền động điện	7
1.1.1. Cấu trúc chung và phân loại hệ truyền động điện	7
1.1.2. Các khái niệm trong hệ thống truyền động điện	8
1.2. Độ chính xác và chỉ tiêu chất lượng của hệ thống TĐĐ tự động.....	10
1.2.1. Độ chính xác của hệ thống TĐĐ tự động	10
1.2.2. Chỉ tiêu chất lượng của hệ thống TĐĐ tự động	12
1.3. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh kiểu nối cấp theo phương pháp các hàm chuẩn	16
1.3.1. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh theo tiêu chuẩn module tối ưu.....	17
1.3.2. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng.....	18
1.4. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh số của TĐĐ	20
1.4.1. Khái niệm	20
1.3.2. Các phương pháp tổng hợp mạch vòng điều chỉnh số	21
1.5. Mô hình trạng thái của hệ thống TĐĐ	21
1.5.1. Phương trình trạng thái của hệ một đầu vào, một đầu ra (hệ SISO)	21
1.5.2. Phương trình trạng thái của hệ nhiều chiều (hệ MIMO).....	23
1.5.3. Phương trình trạng thái của hệ khi về phải của phương trình có chứa đạo hàm của kích thích	25
Nội dung thảo luận	27
Tóm tắt nội dung cốt lõi	27
Bài tập ứng dụng, liên hệ thực tế	27
Hướng dẫn tự học ở nhà	29
CHƯƠNG 2.....	30
CÁC PHẦN TỬ TỰ ĐỘNG	30
Mục tiêu của chương	30
Khái niệm chung về hệ truyền động điện tự động	30
2.1. Các bộ điều chỉnh thuật toán (OA)	30

2.1.1. Khái niệm khuếch đại thuật toán.....	30
2.1.2. Các bộ điều chỉnh dùng khuếch đại thuật toán	31
2.2. Các thiết bị đo lường	36
2.2.1. Đo lường dòng điện, điện áp một chiều có cách ly.....	37
2.2.2. Đo dòng xoay chiều.....	37
2.2.3. Đo lường tốc độ.....	40
2.2.4. Đo lường vị trí.....	43
2.3. Các bộ chỉnh lưu.....	44
2.3.1. Chỉnh lưu không điều khiển	45
2.3.2. Chỉnh lưu điều khiển	46
2.3.3. Chỉnh lưu bán điều khiển	47
2.3.4. Quá trình chuyển mạch	49
2.3.5. Chế độ nghịch lưu phụ thuộc	51
2.4. Biến tần và nghịch lưu độc lập.....	52
2.5. Mô hình của bộ chỉnh lưu có điều khiển.....	54
2.5.1. Mạch thay thế xung của chỉnh lưu	54
2.5.2. Mạch thay thế dạng liên tục của bộ chỉnh lưu	56
Nội dung thảo luận	58
Tóm tắt nội dung cốt lõi	58
Bài tập ứng dụng, liên hệ thực tế	58
Hướng dẫn tự học ở nhà	59
CHƯƠNG 3.....	60
ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU	60
Mục tiêu của chương	60
3.1. Khái niệm chung	60
3.2. Mô hình động cơ một chiều	60
3.3. Tổng hợp mạch vòng dòng điện.....	65
3.3.1. Khái niệm mạch vòng điều chỉnh dòng điện.....	65
3.3.2. Tổng hợp mạch vòng dòng điện khi bỏ qua sức điện động động cơ	67
3.3.3. Tổng hợp mạch vòng dòng điện có tính đến ảnh hưởng của sức điện động động cơ	74

3.3.4. Tổng hợp mạch vòng dòng điện có tính đến vùng gián đoạn của dòng điện phản ứng	77
3.4. Tổng hợp mạch vòng tốc độ	80
3.4.1. Khái niệm mạch vòng điều chỉnh tốc độ	80
3.4.2. Hệ thống điều chỉnh tốc độ dùng bộ điều chỉnh tỷ lệ	81
3.4.3. Hệ thống điều chỉnh dùng bộ điều chỉnh tốc độ tích phân tỷ lệ PI	86
3.5. Tổng hợp mạch vòng tốc độ khi không có mạch vòng dòng điện	96
3.5.1. Triển khai sơ đồ nguyên lý mạch vòng tốc độ ĐCMC	96
3.5.2. Đơn giản hóa mô hình động cơ một chiều kích từ độc lập	96
3.5.3. Tổng hợp mạch vòng tốc độ ĐCMC	98
3.6. Bài tập điều chỉnh tự động động cơ một chiều	103
Nội dung thảo luận	107
Tóm tắt nội dung cốt lõi	107
Bài tập ứng dụng, liên hệ thực tế	107
Hướng dẫn tự học ở nhà	109
CHƯƠNG 4.....	110
VECTOR KHÔNG GIAN CỦA CÁC ĐẠI LƯỢNG BA PHA.....	110
4.1. Xây dựng vector không gian	110
4.2. Chuyển hệ tọa độ cho vector không gian	112
4.3. Khái quát ưu thế của việc mô tả động cơ xoay chiều ba pha trên hệ tọa độ từ thông rotor	114
CHƯƠNG 5.....	116
MÔ HÌNH LIÊN TỤC CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ	116
BA PHA ROTOR LỒNG SÓC	116
5.1. Hệ phương trình cơ bản của động cơ không đồng bộ	116
5.1.1. Phương trình điện áp stator	118
5.1.2. Phương trình điện áp rotor	119
5.2. Mô hình trạng thái của động cơ không đồng bộ trên hệ tọa độ stator.....	120
5.3. Mô hình trạng thái của động cơ không đồng bộ trên hệ tọa độ từ thông rotor ..	124
5.4. Các cấu trúc cơ bản của một hệ truyền động dùng động cơ không đồng bộ điều khiển tựa từ thông rotor	128

Bài tập ứng dụng, liên hệ thực tế	130
CHƯƠNG 6.....	132
ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ.....	132
Mục tiêu.....	132
6.1. Phương pháp điều chỉnh tần số điện áp không đổi	132
6.2. Phương pháp điều chỉnh trực tiếp mômen để điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ.....	140
6.2.1. Nguyên lý phương pháp điều chỉnh trực tiếp mômen.....	141
6.2.2. Sơ đồ cấu trúc của phương pháp điều chỉnh trực tiếp mômen.....	149
6.2.3. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh tốc độ bằng tiêu chuẩn tối ưu đối xứng...	155
6.2.4. Ví dụ 1(Ví dụ minh họa)	156
6.2.5. Ví dụ 2 (thảo luận)	163
6.3. Phương pháp điều chỉnh tựa từ thông rotor để điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ (T4R)	164
6.3.1. Nguyên lý phương pháp điều chỉnh tựa từ thông rotor	164
6.3.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển FOC.....	165
6.3.3. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh tốc độ	166
Bài tập ứng dụng, liên hệ thực tế	180
CHƯƠNG 7.....	183
TỔNG QUAN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ BA PHA	183
7.1. Khái quát chung	183
7.2. Cấu tạo động cơ đồng bộ.....	183
7.3. Mô hình toán học của động cơ đồng bộ trên hệ tọa độ dq	185
7.3.1. Hệ phương trình vi phân mô tả động cơ đồng bộ trên hệ tọa độ dq	185
7.3.3. Hệ phương trình laplace mô tả động cơ đồng bộ trên hệ tọa độ dq	188
7.3.3. Sơ đồ cấu trúc mô hình động cơ đồng bộ trên hệ trục tọa độ dq	189
7.4. Tổng quan điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ bằng phương pháp điều chỉnh tựa từ thông rotor-FOC.....	192
7.4.1. Mạch vòng điều chỉnh dòng điện i_{sd}	192
7.4.2. Tổng hợp vòng điều chỉnh dòng i_{sq}	194
7.4.3. Thiết kế mạch vòng điều chỉnh tốc độ	195

7.4.4. Vùng tốc độ lớn hơn tốc độ định mức.....	197
Bài tập ứng dụng, liên hệ thực tế	198
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	199

TaiLieu.vn

CHƯƠNG 1

KHÁI NIỆM CHUNG

Mục tiêu của chương

Hiểu và nắm vững được các khái niệm cơ bản nhất về hệ thống truyền động điện. Cần biết được: độ chính xác và chỉ tiêu chất lượng của hệ thống truyền động điện tự động; tổng hợp mạch vòng điều chỉnh kiểu nối cấp theo phương pháp các hàm chuẩn; tổng hợp mạch vòng điều chỉnh số; mô hình trạng thái của hệ thống truyền động điện.

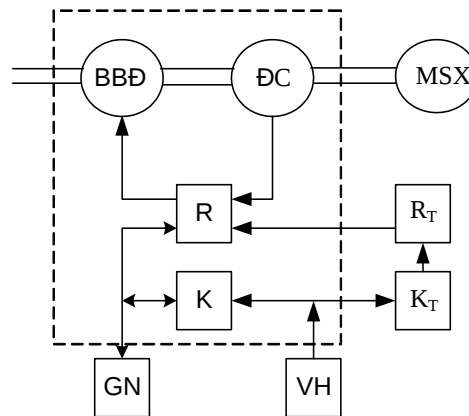
1.1. Khái niệm và phân loại hệ thống truyền động điện

1.1.1. Cấu trúc chung và phân loại hệ truyền động điện

a) Cấu trúc chung của hệ truyền động điện

Hệ truyền động điện là một tập hợp các thiết bị như: thiết bị điện, thiết bị điện tử, phục vụ cho việc biến đổi năng lượng điện-cơ cũng như gia công truyền tín hiệu thông tin để điều khiển quá trình biến đổi năng lượng đó.

Cấu trúc chung:



Hình 1.1. Mô tả cấu trúc chung của hệ truyền động

BBD- Bộ biến đổi; ĐC- Động cơ truyền động; MSX- Máy sản xuất; R_T - Bộ điều chỉnh công nghệ; K_T – Các bộ đóng ngắt phục vụ công nghệ; R – Các bộ điều chỉnh

Cấu trúc chung của hệ truyền động điện bao gồm 2 phần chính:

- Phần lực là bộ biến đổi và động cơ truyền động. Các bộ biến đổi thường dùng là bộ biến đổi máy điện (máy phát một chiều, xoay chiều), bộ biến đổi từ (khuếch đại từ, cuộn kháng bão hòa), bộ biến đổi điện tử (chỉnh lưu tiristo, biến tần

tranzitor). Động cơ điện có các loại: động cơ một chiều, xoay chiều đồng bộ, không đồng bộ và các loại động cơ đặc biệt khác v.v...

- Phần điều khiển gồm các cơ cấu đo lường, các bộ điều chỉnh truyền động và công nghệ, ngoài ra còn có các thiết bị điều khiển, đóng cắt phục vụ công nghệ và cho người vận hành. Đồng thời một số hệ truyền động có cả mạch ghép nối với các thiết bị tự động khác trong một dây chuyền sản xuất.

b) Phân loại hệ truyền động điện

- Truyền động không điều chỉnh: thường chỉ có động cơ nối trực tiếp với lưới điện, quay máy sản xuất với một tốc độ nhất định.

- Truyền động có điều chỉnh.

1.1.2. Các khái niệm trong hệ thống truyền động điện

a) Loại phụ tải

Trong thực tế có 2 loại cơ bản:

* Phụ tải phản kháng (mômen cản phản kháng): cơ cấu ăn dao cắt gọt kim loại ...

* Phụ tải thế năng (mômen cản thế năng): cơ cấu nâng hạ tải trọng ...

Trong thực tế làm việc thường có cả 2 loại phụ tải trên $\Rightarrow$ tùy trường hợp loại nào lớn hơn thì tính cho loại ấy.

b) Tính chất phụ tải (đặc tính tải)

Là quan hệ giữa mômen tải với tốc độ quay

c) Dải điều chỉnh

Là tỷ số giữa tốc độ cao nhất và thấp nhất, về mặt lý thuyết là tốc độ lấy trên máy sản xuất. Nếu giữa động cơ và máy sản xuất ghép bởi hộp giảm tốc có tỷ số truyền cố định thì lấy tốc độ trên trục động cơ.

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_{\text{dm max}}}{n_{\text{dm min}}} \quad (1.1.1)$$

Trong quá trình tính toán cần xác định tốc độ tại điểm tải định mức.

d) Độ trơn điều chỉnh

$$\varphi = \frac{n_{i+1}}{n_i} \quad (1.1.2)$$

n_i : giá trị tốc độ ổn định đạt được ở cấp i

n_{i+1} : giá trị tốc độ ổn định đạt được ở cấp $i + 1$

e) Sai lệch tĩnh

$$S_t \% = \frac{n_0 - n_{dm}}{n_0} \cdot 100\% \quad (1.1.3)$$

n_{dm} : giá trị tốc độ định mức

n_0 : giá trị tốc độ không tải lý tưởng

Nếu các đường đặc tính song song với nhau thì: $n_0 - n_{dm} = \Delta n = \text{const}$

$\Rightarrow S_t \% \text{ max}$ nằm trên đường đặc tính thấp nhất.

Nếu các đường đặc tính không song song $\Rightarrow$ tính $S_t \%$ cho đường cao nhất và thấp nhất, từ đó lấy S_t cao nhất để tính toán.

f) Quan hệ giữa các đại lượng

$$S_t = \frac{n_0 - n_{yc}}{n_0} \quad (1.1.4)$$

n_{yc} : giá trị tốc độ theo yêu cầu công nghệ

S_t : sai lệch tĩnh cho phép của công nghệ

Với các hệ truyền động, khi điều chỉnh tốc độ có đặc tính cơ song song thì $S_{t \max}$ nằm trên đường đặc tính cơ thấp nhất, ta có:

$$S_{t \max} = \frac{n_{0 \min} - n_{dm \min}}{n_{0 \min}} = 1 - \frac{n_{dm \min}}{n_{0 \min}} \quad (1.1.5)$$

$$\Rightarrow n_{0 \min} = \frac{n_{dm \min}}{1 - S_{t \max}} \xrightarrow{(1.1.1)} n_{0 \min} = \frac{n_{dm \max}}{D(1 - S_{t \max})}$$

$$\text{mà } S_t = \frac{n_{0 \min} - n_{dm \min}}{n_{0 \min}} = \frac{\Delta n}{n_{0 \min}}$$

$$\Rightarrow \Delta n = n_{0 \min} S_t = \frac{n_{dm \max} S_t}{D(1 - S_{t \max})}$$

Ta có $S_{t \max} \leq S_t$

Với các hệ khi điều chỉnh tốc độ đặc tính không song song biểu thức trên sẽ được áp dụng: $\Delta n = n_{0 \min} S_t$ trên đường đặc tính có $S_{t \max}$.

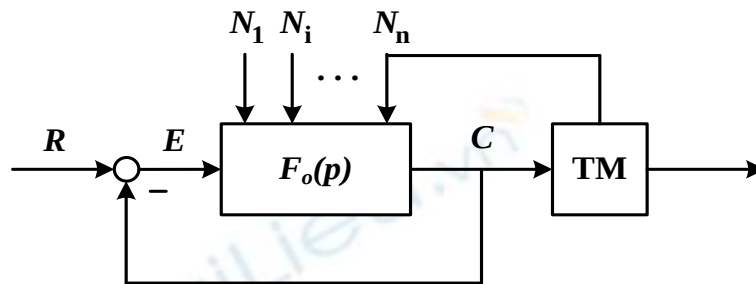
1.2. Độ chính xác và chỉ tiêu chất lượng của hệ thống TĐĐ tự động

1.2.1. Độ chính xác của hệ thống TĐĐ tự động

Yêu cầu: đại lượng điều chỉnh phải bám sát theo tín hiệu điều khiển trong chế độ xác lập, tựa xác lập, quá độ.

Độ chính xác được đánh giá trên cơ sở phân tích các sai lệch điều chỉnh. Các sai lệch này phụ thuộc nhiều yếu tố: ma sát tĩnh, khe hở, sự trôi điểm, sự già hóa ...

Xét một hệ thống tự động điều chỉnh có cấu trúc như sau:



Hình 1.2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống tự động

Chú thích:

$F_o(p)$: hàm truyền đạt mạch hở

TM : thiết bị công nghệ

$R, r(t)$: tín hiệu điều khiển

$C, c(t)$: tín hiệu ra

$E = R - C$: giá trị sai lệch điều chỉnh

$e(t) = r(t) - c(t)$

N_i : các tín hiệu nhiễu

$F(p)$: hàm truyền đạt của hệ kín

$F_i(p)$: hàm truyền đạt đối với các nhiễu loạn

Ta có:

$$C(p) = F(p)R(p) + \sum_{i=1}^n F_i(p)N_i(p) \quad (1.2.1)$$

$$F(p) = \frac{F_o(p)}{1 + F_o(p)} \quad (1.2.2)$$

Nhận xét: Các thành phần quá độ của $C(t)$ phụ thuộc vào đặc tính của mạch vòng điều chỉnh và tín hiệu điều khiển (vào), chúng là nghiệm của phương trình vi phân không thuần nhất, thành phần nghiệm riêng của $C(t)$ theo $R(t)$ sẽ chép lại $R(t)$ với một độ chính xác nào đó. Các thành phần của $C(t)$ theo các $N_i(t)$ phải càng nhỏ càng tốt.

Khi giả thiết các tín hiệu $R(t)$ cũng như $N_i(t)$ thỏa mãn Mc. Laurin thì sai lệch điều chỉnh $e(t) = R(t) - C(t)$ có thể biểu diễn ở dạng hàm chuỗi.

$$\begin{aligned} e(t) = & C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + C_2 \frac{d^2 R(t)}{dt^2} + \dots + C_i \frac{d^i R(t)}{dt^i} + \\ & + C_{0N_1} N_1(t) + C_{1N_1} \frac{dN_1(t)}{dt} + C_{2N_1} \frac{d^2 N_1(t)}{dt^2} + \dots + C_{iN_1} \frac{d^i N_1(t)}{dt^i} + \\ & + \dots \\ & + C_{0N_n} N_n(t) + C_{1N_n} \frac{dN_n(t)}{dt} + C_{2N_n} \frac{d^2 N_n(t)}{dt^2} + \dots + C_{iN_n} \frac{d^i N_n(t)}{dt^i} + S(t) \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

với C_0, C_1, C_i, C_n là các hằng số và được gọi là các hệ số sai lệch

$S(t)$: thặng dư

Trong kỹ thuật tự động, người ta thường quan tâm đến 3 hệ số sai lệch đầu tiên là C_0, C_1, C_2 . Các hệ số này được đặt tên là:

C_0 : hệ số sai lệch vị trí

C_1 : hệ số sai lệch tốc độ

C_2 : hệ số sai lệch gia tốc

Nếu biết trước $R(t)$ và nhiều $N_i(t)$ và bỏ qua thặng dư $S(t)$; tính toán được các hệ số C_i thì ta có thể xác định được sai lệch $e(t)$

$$F_e(p) = \frac{E(p)}{R(p)} = \frac{1}{1 + F_o(p)} = \frac{M(p)}{N(p)}$$

Nếu đem chia đa thức $M(p)$ cho $N(p)$ ta có:

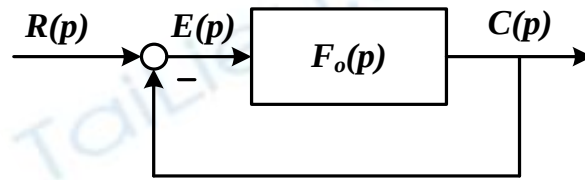
$$F_e(p) = C_0 + C_1 p + C_2 p^2 + \dots + C_i p^i \quad (1.2.4)$$

Cách tính các hệ số sai lệch điều chỉnh

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= \lim_{p \rightarrow 0} [F_e(p)] \\ C_1 &= \lim_{p \rightarrow 0} \left[\frac{1}{p} [F_e(p) - C_0] \right] \\ C_2 &= \lim_{p \rightarrow 0} \left[\frac{1}{p^2} [F_e(p) - C_0 - C_1 p] \right] \\ &\dots \\ C_i &= \lim_{p \rightarrow 0} \left[\frac{1}{p^i} \left[F_e(p) - \sum_{k=0}^{i-1} C_k p^k \right] \right] \end{aligned} \right\} \quad (1.2.5)$$

Nếu hệ có $\forall C_i = 0 \Rightarrow e(t) = 0 \Rightarrow$ hệ chính xác tuyệt đối.

Với giả thiết bỏ qua tác động của nhiễu, sai lệch của hệ thống chỉ phụ thuộc vào tín hiệu vào. Ta có:



Hình 1.3. Sơ đồ cấu trúc hệ thống khi không có nhiễu

$$\begin{aligned} F(p) &= \frac{C(p)}{R(p)} = \frac{F_o(p)}{1 + F_o(p)} \\ F_e(p) &= \frac{E(p)}{R(p)} = \frac{R(p) - C(p)}{R(p)} = 1 - \frac{C(p)}{R(p)} = 1 - F(p) \end{aligned} \quad (1.2.6)$$

Giả sử $F(p)$ có dạng:

$$\begin{aligned} F(p) &= \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + b_m p^m}{1 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_n p^n} ; m \leq n \\ \Rightarrow F_e(p) &= 1 - F(p) = 1 - \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + b_m p^m}{1 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_n p^n} \end{aligned} \quad (1.2.7)$$

Sử dụng (1.2.5) và (1.2.7) ta có

$$\begin{aligned} C_0 &= 1 - b_0 \\ C_1 &= a_1 - C_0 a_1 - b_1 \\ C_2 &= a_2 - C_1 a_1 - C_0 a_2 - b_2 \\ C_i &= a_i - C_0 a_i - b_i - \sum_{k=1}^{i-1} C_k a_{i-k} \end{aligned} \quad (1.2.8)$$

1.2.2. Chỉ tiêu chất lượng của hệ thống TĐĐ tự động

a) Các chỉ tiêu chất lượng

* Tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch (ISE)

ISE – Integral of Square Error

$$I = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \approx \int_0^T e^2(t) dt \rightarrow \min \quad (1.2.9)$$

Giá trị thời gian hữu hạn T được chọn sao cho $t > T$ thì $e(t)$ đủ nhỏ có thể bỏ qua.

* Tiêu chuẩn tích phân của tích số giữa thời gian và giá trị tuyệt đối của sai lệch (ITAE)

ITAE - Integral of Time and Absolute Error

$$I = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \approx \int_0^T t |e(t)| dt \rightarrow \min \quad (1.2.10)$$

* Tiêu chuẩn tích phân của tích số giữa thời gian với bình phương hàm sai lệch (ITSE)

$$I = \int_0^{\infty} t e^2(t) dt \approx \int_0^T t e^2(t) dt \rightarrow \min \quad (1.2.11)$$

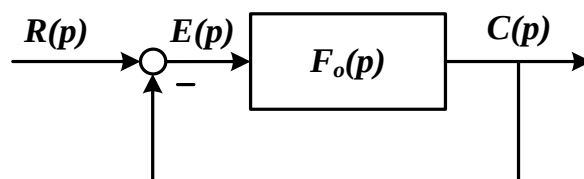
b) Hệ hữu sai và các hệ vô sai cấp 1, cấp 2

Hệ có $C_0 \neq 0$ được gọi là hệ hữu sai (hệ bậc 0).

Hệ có $C_0 = 0, C_1 \neq 0$ gọi là hệ vô sai cấp 1.

Hệ có $C_0 = 0, C_1 = 0, C_2 \neq 0$ gọi là hệ vô sai cấp 2.

Ví dụ 1: Hệ thống hữu sai – hệ bậc không



Hình 1.4. Sơ đồ cấu trúc hệ thống

Hàm truyền đạt của hệ điều chỉnh có dạng

$$F_0(p) = \frac{K \prod_{i=1}^m (1 + T_i p)}{\prod_{k=1}^n (1 + T_k p)} \quad (1.2.12)$$

Xác định hàm sai lệch $e(t)$?

Lời giải:

Hàm truyền đạt hệ kín

$$F(p) = \frac{C(p)}{R(p)} = \frac{F_o(p)}{1 + F_o(p)} = \frac{K \prod_{i=1}^m (1 + T_i p)}{\prod_{k=1}^n (1 + T_k p) + K \prod_{i=1}^m (1 + T_i p)}$$

$$= \frac{\frac{K}{1+K} + b_1 p + b_2 p^2 + \dots}{1 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots}$$

Hệ số sai lệch vị trí:

$$C_0 = 1 - b_0 = 1 - \frac{K}{1+K} = \frac{1}{1+K}$$

* Nếu $R(t) = K_I = \text{const}$, ta có:

$$e(t) = C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + \dots = \frac{K_I}{1+K} \neq 0$$

$\Rightarrow$ Sai lệch phụ thuộc vào giá trị của tín hiệu vào và hệ số khuếch đại hệ thống hở K .

* Nếu $R(t) = K_2 t$, ta có

$$e(t) = C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + \dots = C_0 K_2 t + C_1 K_2$$

Ví dụ 2 : Hệ thống vô sai cấp một – hệ bậc một

Hàm truyền đạt của hệ điều chỉnh có dạng

$$F_0(p) = \frac{K \prod_{i=1}^m (1 + T_i' p)}{p \prod_{k=1}^n (1 + T_k p)} \quad (1.2.13)$$

Xác định hàm sai lệch $e(t)$?

Lời giải:

Hàm truyền đạt hệ kín

$$F(p) = \frac{C(p)}{R(p)} = \frac{F_o(p)}{1 + F_o(p)} = \frac{K \prod_{i=1}^m (1 + T_i' p)}{p \prod_{k=1}^n (1 + T_k p) + K \prod_{i=1}^m (1 + T_i' p)}$$

$$= \frac{K \left[1 + \left(\sum T_i' \right) p + \left(\sum T_i' T_j' \right) p^2 + \dots \right]}{K \left[1 + \left(\sum T_i' \right) p + \left(\sum T_i' T_j' \right) p^2 + \dots \right] + p \left[1 + \left(\sum T_k \right) p + \left(\sum T_k T_l \right) p^2 + \dots \right]}$$

$$= \frac{\left[1 + \left(\sum T_i' \right) p + \left(\sum T_i' T_j' \right) p^2 + \dots \right]}{1 + \frac{1+K}{K} \left(\sum T_i' \right) p + \frac{\left(\sum T_k \right) + \left(\sum T_i' T_j' \right)}{K} p^2 + \dots}$$

$$\Rightarrow b_0 = 1; \quad b_1 = \sum T_i'; \quad a_1 = \frac{1 + K(\sum T_i')}{K}$$

$$\Rightarrow C_0 = 1 - b_0 = 1 - 1 = 0; \quad C_1 = a_1 - b_1 - C_0 a_1 = \frac{1 + K(\sum T_i')}{K} - \sum T_i' - 0 = \frac{1}{K}$$

Nhận xét : Sai lệch của hệ thống không phụ thuộc vào độ lớn của tín hiệu điều khiển mà phụ thuộc vào các đạo hàm của nó.

* Nếu $R(t) = K_I = \text{const}$, ta có:

$$e(t) = C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + \dots = 0$$

* Nếu $R(t) = K_I + K_2 t$, ta có:

$$e(t) = C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + \dots = 0 + \frac{1}{K} \frac{d}{dt} (K_I + K_2 t) = \frac{K_2}{K} = \text{const} \neq 0$$

* Nếu $R(t) = K_I + K_2 t + K_3 t^2$, ta có:

$$\begin{aligned} e(t) &= C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + C_2 \frac{d^2 R(t)}{dt^2} + \dots = 0 + \frac{1}{K} \frac{d}{dt} (K_I + K_2 t + K_3 t^2) + C_2 \frac{d^2 R(t)}{dt^2} \\ &= \frac{K_2 + 2K_3 t}{K} + 2C_2 K_3 \end{aligned}$$

Khi $t \rightarrow \infty \Rightarrow e(t) \rightarrow \infty$

Ví dụ 3 : Hệ vô sai cấp 2

$$F_0(p) = \frac{K \prod_{i=1}^m (1 + T_i' p)}{p^2 \prod_{k=1}^n (1 + T_k p)} \quad (1.2.14)$$

Xác định hàm sai lệch $e(t)$?

Lời giải:

Hàm truyền đạt hệ kín

$$\begin{aligned} F(p) &= \frac{C(p)}{R(p)} = \frac{F_o(p)}{1 + F_o(p)} = \frac{K \prod_{i=1}^m (1 + T_i' p)}{p^2 \prod_{k=1}^n (1 + T_k p) + K \prod_{i=1}^m (1 + T_i' p)} \\ &= \frac{K \left[1 + (\sum T_i') p + (\sum T_i' T_j') p^2 + \dots \right]}{K \left[1 + (\sum T_i') p + (\sum T_i' T_j') p^2 + \dots \right] + p^2 \left[1 + (\sum T_i) p + (\sum T_i T_j) p^2 + \dots \right]} \\ &= \frac{1 + (\sum T_i') p + (\sum T_i' T_j') p^2 + \dots}{1 + (\sum T_i') p + \frac{1 + (\sum T_i' T_j')}{K} p^2 + \dots} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow b_0 = 1; \quad b_1 = \sum T_i'; \quad b_2 = \sum T_i' T_j'$$

$$a_0 = \sum T_i'; \quad a_1 = \frac{1 + K \sum T_i' T_j'}{K} = \frac{1}{K} + \sum T_i' T_j'$$

$$\Rightarrow C_0 = 1 - b_0 = 1 - 1 = 0$$

$$C_1 = a_1 - b_1 - C_0 a_1 = \sum T_i' - 0 - \sum T_i' = 0$$

$$C_2 = a_2 - C_1 a_1 - C_0 a_2 - b_2 = \frac{1}{K} + \sum T_i' T_j' - 0 - 0 - \sum T_i' T_j' = \frac{1}{K}$$

* Nếu $R(t) = K_I = \text{const}$, ta có:

$$e(t) = C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + \dots = 0$$

* Nếu $R(t) = K_I + K_2 t$, ta có:

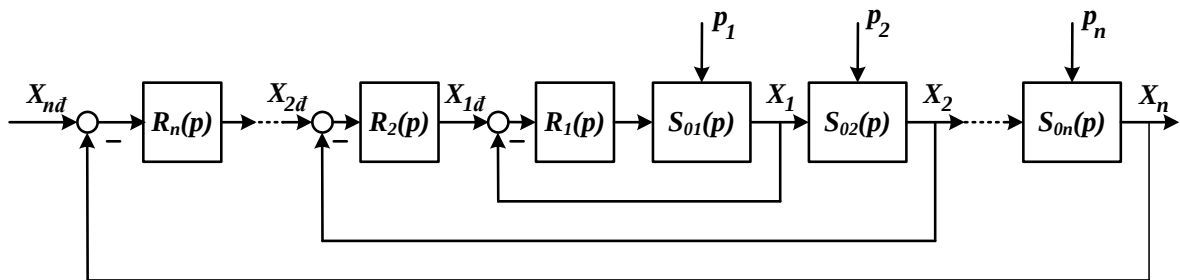
$$e(t) = C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + \dots = 0$$

* Nếu $R(t) = K_I + K_2 t + K_3 t^2$, ta có:

$$e(t) = C_0 R(t) + C_1 \frac{dR(t)}{dt} + C_2 \frac{d^2 R(t)}{dt^2} + \dots = 0 + 0 + \frac{1}{K} \frac{d^2 [K_I + K_2 t + K_3 t^2]}{dt^2} = \frac{2K_3}{K}$$

* Nếu $R(t)$ có thành phần $K_4 t^3 \Rightarrow$ khi $t \rightarrow \infty \Rightarrow e(t) \rightarrow \infty$

1.3. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh kiểu nối cấp theo phương pháp các hàm chuẩn



Hình 1.5. Hệ truyền động có các bộ điều chỉnh nối theo cấp

Xét hệ thống có : n thông số X ; n bộ điều chỉnh $R(p)$ của n đối tượng $S(p)$; n nhiễu loạn chính $p_1, \dots, p_n$.

Nhận xét :

Ưu thế của cấu trúc nối cấp các bộ điều chỉnh là : mỗi giá trị của lượng đặt X_{id} được hạn chế bởi đoạn bão hòa của đặc tính của bộ điều chỉnh R_{i+1} , giá trị này có thể là hằng số hoặc là thay đổi được.

Mỗi mạch vòng điều chỉnh có một bộ điều chỉnh và hệ thống được điều chỉnh bao gồm đối tượng điều chỉnh S_o và mạch vòng phụ.

$$F_1(p) = \frac{R_1(p)S_{o1}(p)}{R_1(p)S_{o1}(p) + 1} \quad (1.3.1)$$

$$F_{o2}(p) = S_{o2}(p)F_1(p)$$

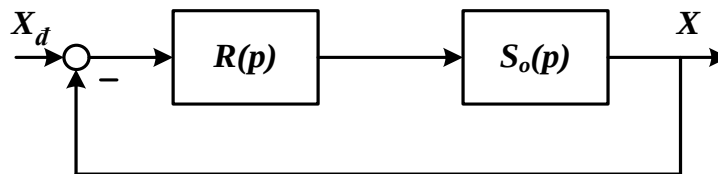
$$F_{oi}(p) = S_{oi}(p)F_{i-1}(p)$$

Các phương pháp tổng hợp mạch vòng điều chỉnh

- Phương pháp dùng tiêu chuẩn sai lệch, bù sai lệch
- Phương pháp đồ thị bode diagram
- Phương pháp Nicoln – Zigler
- Phương pháp gán hàm chuẩn

Việc tổng hợp các bộ điều chỉnh được thực hiện theo từng mạch vòng, từ mạch vòng đầu tiên đến mạch vòng thứ n. Trong hệ thống truyền động điện điều chỉnh, thường sử dụng các phương pháp hàm chuẩn tối ưu để tổng hợp thông số các bộ điều chỉnh cho các mạch vòng.

1.3.1. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh theo tiêu chuẩn module tối ưu



Hình 1.6. Cấu trúc hệ truyền động điện

Module tối ưu là một phương pháp hàm chuẩn

Hàm truyền đạt của hệ kín

$$F(p) = \frac{R(p)S_o(p)}{1 + R(p)S_o(p)} = F_{CH} \quad (1.3.2)$$

Bài toán: Giả thiết hàm truyền đạt đối tượng $S_o(p)$ đã biết, tìm bộ điều khiển $R(p)$ để hệ tối ưu (bám theo giá trị đặt và khử được nhiễu).

Dùng phép biến đổi $p \rightarrow j\omega$ (miền tần số), ta có $F(p) \rightarrow F(j\omega)$

Đối với một hệ thống kín, khi tần số tiến đến vô hạn thì module của đặc tính tần số - biên độ phải tiến đến 0. Vì vậy đối với dải tần thấp nhất, hàm truyền phải đạt được điều kiện:

$$|F(j\omega)|=1 \quad (1.3.3)$$

⇒ Hàm chuẩn theo tiêu chuẩn module tối ưu là hàm có dạng:

$$F_{CH}(p) = \frac{1}{1 + 2\tau_\sigma p + 2\tau_\sigma^2 p^2} \quad (1.3.4)$$

Chú ý: tiêu chuẩn module tối ưu chỉnh lại đặc tính tần số chỉ ở vùng tần số thấp và trung bình, không đảm bảo trước được tính ổn định của hệ thống. Do đó sau khi ứng dụng tiêu chuẩn module tối ưu cần phải kiểm tra sự ổn định của hệ.

Ví dụ:

Xét cấu trúc hệ truyền động điện như hình 1.6

Giả sử hàm truyền đạt của đối tượng

$$S_o(p) = \frac{K_s}{(1 + \tau_\sigma p)(1 + Tp)} \quad (1.3.5)$$

và bộ điều chỉnh dạng PI

$$R(p) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_R p} \right); \quad K_R = \frac{T}{2K_s \tau_\sigma}; \quad T_R = T \quad (1.3.6)$$

với τ_σ hằng số thời gian nhỏ

Tìm F_{CH} ?

Lời giải:

Hàm truyền đạt hệ hở

$$F_o(p) = R(p)S_o(p) = \frac{T}{2K_s \tau_\sigma} \left(1 + \frac{1}{Tp} \right) \frac{K_s}{(1 + \tau_\sigma p)(1 + Tp)} = \frac{1}{2\tau_\sigma p(1 + \tau_\sigma p)}$$

Hàm truyền đạt hệ kín

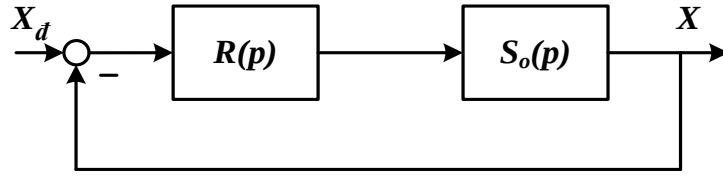
$$F(p) = \frac{F_o(p)}{1 + F_o(p)} = \frac{\frac{1}{2\tau_\sigma p(1 + \tau_\sigma p)}}{1 + \frac{1}{2\tau_\sigma p(1 + \tau_\sigma p)}} = \frac{1}{1 + 2\tau_\sigma p + 2\tau_\sigma^2 p^2} = F_{CH}$$

1.3.2. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng

Hàm chuẩn tối ưu đối xứng có dạng:

$$F_{CH}(p) = \frac{1 + 4\tau_\sigma p}{1 + 4\tau_\sigma p + 8\tau_\sigma^2 p^2 + 8\tau_\sigma^3 p^3} \quad (1.3.7)$$

Ví dụ:



Hình 1.7. Cấu trúc hệ thống

Với S_o có dạng vô sai cấp 1 và bộ điều khiển kiểu PI

$$S_o(p) = \frac{K_1}{pT_1(1+T_s p)} \quad (1.3.8)$$

$$R(p) = \frac{1+T_0 p}{KT_0 p}$$

Với T_s có thể là tổng các hằng số thời gian nhỏ

Xác định hàm chuẩn F_{CH} ?

Lời giải:

Hàm truyền đạt hệ hở

$$F_o(p) = R(p)S_o(p) = \frac{1+T_0 p}{KT_0 p} \frac{K_1}{pT_1(1+T_s p)} = \frac{K_1(1+T_0 p)}{KT_0 T_1 p^2 + KT_0 T_1 T_s p^3} \quad (1.3.9)$$

Hàm truyền đạt hệ kín

$$F(p) = \frac{F_o(p)}{1+F_o(p)} = \frac{\frac{K_1(1+T_0 p)}{KT_0 T_1 p^2 + KT_0 T_1 T_s p^3}}{1 + \frac{K_1(1+T_0 p)}{KT_0 T_1 p^2 + KT_0 T_1 T_s p^3}} = \frac{K_1(1+T_0 p)}{KT_0 T_1 T_s p^3 + KT_0 T_1 p^2 + K_1 T_0 p + K_1} \quad (1.3.10)$$

Đặt $a_0 = KT_0 T_1 T_s$; $a_1 = KT_0 T_1$; $a_2 = K_1 T_0$; $a_3 = K_1$, ta có:

$$F(p) = \frac{a_2 p + a_3}{a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3}$$

$$\Rightarrow F(j\omega) = \frac{a_2 j\omega + a_3}{a_0 (j\omega)^3 + a_1 (j\omega)^2 + a_2 j\omega + a_3} = \frac{a_2 j\omega + a_3}{(a_3 - a_1 \omega^2) + j\omega(a_2 - a_0 \omega^3)}$$

Với dải tần số thấp, hàm truyền hệ kín cần thỏa mãn điều kiện

$$|F(j\omega)| \approx 1 \Leftrightarrow |F(j\omega)|^2 \approx 1$$

$$|F(j\omega)|^2 = \frac{a_3^2 + a_2^2 \omega^2}{a_3^2 + (a_2^2 - 2a_1 a_3) \omega^2 + (a_1^2 - 2a_0 a_2) \omega^4 + a_0^2 \omega^6}$$

Để $|F(j\omega)| \approx 1$ thì cần bỏ qua số hạng $a_2^2 \omega^2$ trong tử số và số hạng $a_0^2 \omega^6$ ở mẫu số (đây là bất đắc dĩ), và cần thỏa mãn điều kiện sau:

$$\begin{cases} a_2^2 - 2a_1a_3 = 0 \\ a_1^2 - 2a_0a_2 = 0 \end{cases} \quad (1.3.11)$$

Ta có:

$$\begin{cases} (K_1T_0)^2 - 2KT_0TK_1 = 0 \\ (KT_0T)^2 - 2KT_0^2T_1T_sK_1 = 0 \end{cases}$$

Giải hệ phương trình trên ta có

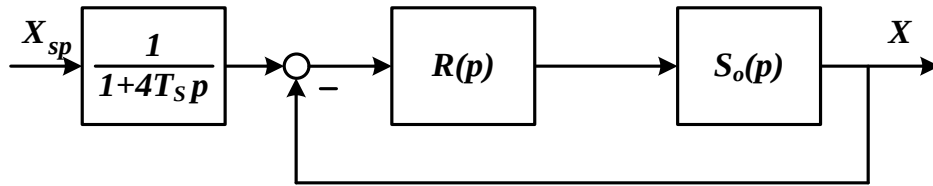
$$K = \frac{2T_sK_1}{T_1}; \quad T_0 = 4T_s \quad (1.3.12)$$

Thay (1.3.12) vào (1.3.10), ta có

$$F(p) = \frac{1 + 4T_s p}{1 + 4T_s p + 8T_s^2 p^2 + 8T_s^3 p^3} \quad (1.3.13)$$

Đây là hàm truyền dạng tối ưu đối xứng với $\tau_\sigma = T_s$.

Nhận xét: Dễ thấy ở tử số của hàm chuẩn tối ưu đối xứng có thành phần đạo hàm $\Rightarrow$ độ quá điều chỉnh của đặc tính quá độ là lớn (43%). Vì vậy thường thêm một khâu quán tính với hằng số thời gian là $4T_s \Rightarrow$ đặc tính có độ quá điều chỉnh giảm xuống còn 8,1%.



Hình 1.8. Sơ đồ giảm độ quá điều chỉnh của bộ điều chỉnh

Hàm truyền đạt của mạch điều chỉnh sẽ là:

$$F(p) = \frac{X(p)}{X_{sp}(p)} = \frac{1}{1 + 4T_s p + 8T_s^2 p^2 + 8T_s^3 p^3} \quad (1.3.14)$$

1.4. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh số của TĐĐ

1.4.1. Khái niệm

Nhiệm vụ đặt ra khi tổng hợp một hệ điều chỉnh tự động truyền động điện có dạng điều khiển số gồm:

- Xác định chu kỳ lấy mẫu T.
- Xác định hàm truyền số của bộ điều chỉnh $D(z)$.
- Lập chương trình tính để thực hiện $D(z)$.