

GS.TSKH. ĐỖ SANH

Động lực học máy



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

GS.TSKH. ĐỖ SANH

ĐỘNG LỰC HỌC MÁY

(Giáo trình cho sinh viên cơ khí các trường đại học)

In lần thứ nhất



Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật

HÀ NỘI - 2004

LỜI NÓI ĐẦU

Sự phát triển của ngành chế tạo máy yếu cầu không ngừng nâng cao chất lượng của máy, trong đó một vấn đề quan trọng là nâng cao tốc độ và giảm trọng lượng máy. Điều này làm xuất hiện nhiều bài toán mới và phức tạp về động lực. Nếu trước đây việc tính toán và thiết kế máy chủ trọng nhiều về bài toán tổng hợp động học thì ngày nay do các yêu cầu nêu trên, đặc biệt yêu cầu về sản xuất linh hoạt thì vấn đề động lực máy càng được chú trọng.

Nội dung cuốn sách này tập trung vào việc xây dựng mô hình động lực của máy: mô hình máy cứng (động cơ nối cứng với bộ phận cơ khí được gọi tắt là bộ phận cơ) và mô hình máy mềm (động cơ nối với bộ phận cơ bằng cơ cấu truyền động có kể đến đàn tính, nhưng khối lượng của nó được bỏ qua). Máy như vậy được gọi là máy tổ hợp. Việc khảo sát nhằm mô phỏng các tính chất động lực (các đặc tuyến) của các bộ phận, tương tác giữa các bộ phận và trạng thái chịu tải của chúng trong quá trình vận hành của máy tổ hợp: quá trình chuyển tiếp (mở máy và tắt máy), quá trình bình ổn (quá trình công tác).

Ngoài ra cuốn sách cũng đề cập trong mức độ "nhập môn" một phần hiện đại của động lực học máy: chuyển động máy được điều khiển chương trình và tối ưu hoá chuyển động của máy.

Sách được dùng cho sinh viên các ngành cơ khí của các trường đại học và cũng là tài liệu tham khảo hữu ích cho các kỹ sư làm việc trong các nhà máy.

Tác giả xin cảm ơn thạc sĩ Nguyễn Quang Hoàng, cử nhân Nguyễn Việt Hà đã giúp đỡ trong việc hoàn thiện bản thảo.

Tác giả xin cảm ơn các đồng nghiệp trong bộ môn Cơ học Ứng dụng, trường Đại học Bách khoa Hà Nội về những trao đổi rất bổ ích cho nội dung của cuốn sách.

Đặc biệt, tác giả xin cảm ơn sự hỗ trợ của Chương trình Nghiên cứu Cơ bản trong Cơ học.

Để cuốn sách được hoàn thiện hơn trong lần tái bản sau tác giả xin trân trọng cảm ơn và mong nhận được các ý kiến đóng góp của các độc giả.

Các ý kiến đóng góp xin gửi về địa chỉ sau:

GS. TSKH. Đỗ Sanh

Bộ môn Cơ học ứng dụng, trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

Email: dosanh@mail.bk.hut.edu.vn

Tel: (04). 8 680469

Hà Nội, tháng 04 năm 2004

Tác giả

CHƯƠNG 1

CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ ĐỊNH NGHĨA

1. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC, MÁY VÀ MÔ HÌNH CẤU TRÚC MÁY

1.1 Quá trình công tác

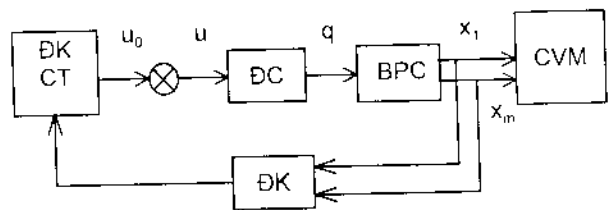
Trong sản xuất cần thực hiện các công việc khác nhau. Các công việc này được gọi là quá trình công tác. Đó là quá trình công nghệ nhằm biến các nguyên vật liệu thành bán thành phẩm; quá trình vận chuyển để di chuyển các nguyên vật liệu và bán thành phẩm đến địa điểm gia công tiếp theo; các thành phẩm đến nơi tiêu thụ; quá trình biến đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác; quá trình thông tin (tư liệu, tài liệu kỹ thuật, bản vẽ...); quá trình điều khiển. Các quá trình này được thực hiện nhờ các chuyển động cơ học bằng tay (thủ công) hoặc bằng máy.

1.2 Máy

Máy là một hệ thống dùng để thực hiện các chuyển động cơ học của quá trình công tác. Tùy thuộc đặc thù của quá trình công tác, máy được chia thành máy công nghệ, máy vận chuyển, máy năng lượng, máy thông tin, v...v. Trong sản xuất công nghiệp có những máy thực hiện các quá trình công tác, nhưng không liên quan trực tiếp với chuyển động cơ học (ví dụ, các quá trình hoá, nhiệt...). Đối tượng khảo sát trong cuốn sách không bao gồm các máy loại sau cùng này.

1.3 Mô hình của các bộ phận cấu thành máy

Máy là một hệ thống phức tạp bao gồm nhiều hệ con như động cơ, cơ cấu truyền động, bộ phận cơ học, hệ thống điều khiển... Máy có thể gồm tổ hợp các hệ thống được gọi là máy tổ hợp. Có loại máy tổ hợp một động cơ (hình 1.1), có loại máy tổ hợp nhiều động cơ (hình 1.2). Chuyển động cơ học của máy luôn luôn kèm theo sự biến đổi dạng năng lượng. Việc biến đổi được thực hiện nhờ chuyển động.



Hình 1.1 Sơ đồ máy một động cơ

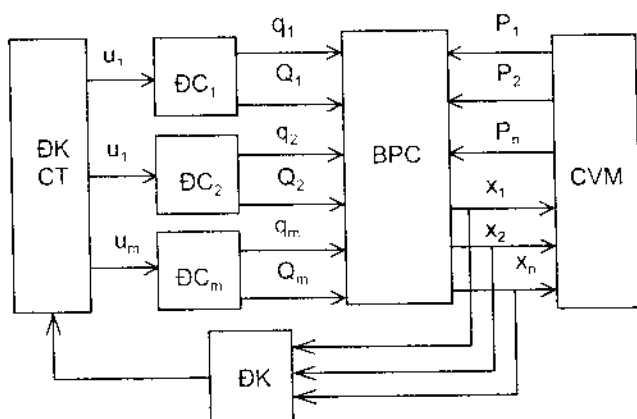
ĐC - Động cơ, BPC - Bộ phận cơ

CVM - Công việc máy

ĐK - Hệ điều khiển

ĐKCT - Điều khiển chương trình

Tuỳ thuộc vào dạng năng lượng được biến đổi mà có các loại động cơ khác nhau: động cơ điện, động cơ nhiệt, động cơ thuỷ lực, động cơ khí nén,.... Các chuyển động cơ học của máy được thực hiện nhờ bộ phận cơ học. Đó là



Hình 1.2 Sơ đồ máy nhiều động cơ

một hệ cơ học gồm các vật thể (các phần tử rắn, biến dạng, thuỷ khí) nối với nhau. Bộ phận cơ được nối với động cơ bằng cơ cấu truyền động, nó có nhiệm vụ tạo ra các tốc độ làm việc thích hợp của máy.

Để có thể thích ứng với các quá trình công tác khác nhau của máy hoặc với các biến động của quá trình công tác do các tác nhân khác nhau (có thể tiền định hoặc ngẫu nhiên) người ta sử dụng các hệ thống điều khiển và điều chỉnh. Các hệ thống này hoạt động nhờ các tham số điều khiển u_i ($i = 1, 2, \dots, n$), tạo nên các chuyển động chương trình, làm giảm các sai số hoặc làm ổn định hoá các quá trình chuyển động của máy. Máy không điều khiển hoạt động ứng với giá trị hằng của các tham số điều khiển $u_i = u_i^0 = \text{const}$. Các bộ phận chủ yếu của máy không điều khiển là động cơ, bộ phận cơ được nối với nhau bằng cơ cấu truyền động, được gọi tắt là cơ cấu truyền.

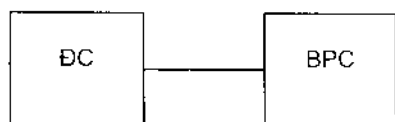
2. MÔ HÌNH MÁY HAI KHỐI LƯỢNG

Ở đây sẽ khảo sát khảo sát máy trong mô hình đơn giản nhất nhưng rất cơ bản đó là máy hai khối lượng. Nó là một hệ thống gồm hai phần tử có quán tính là động cơ và bộ phận cơ học (gọi tắt là bộ phận cơ hoặc cơ cấu chấp hành) được nối với nhau. Nói khác đi, để xây dựng mô hình này cần bỏ qua quán tính của cơ cấu truyền. Cơ cấu truyền chỉ có nhiệm vụ tạo cho cơ cấu chấp hành có tốc độ theo yêu cầu. Do đó cơ cấu truyền cần được cấu trúc gọn nhẹ nhất, nên giả thiết bỏ qua quán tính của cơ cấu truyền, trong việc mô phỏng máy trong gần đúng thứ nhất là hợp lý.

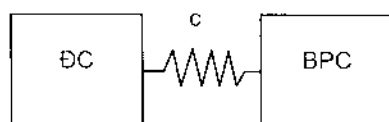
Có thể xem cơ cấu truyền là phần tử không quán tính và không bị biến dạng. Trường hợp này máy được xây dựng trong mô hình là máy có

hai khối lượng được gắn cứng với nhau. Mô hình như vậy được gọi là máy cứng hai khối lượng (hình 1.3). Trong trường hợp không thể bỏ qua độ biến dạng của cơ cấu truyền, tức là trong trường hợp độ biến dạng của cơ cấu truyền ảnh hưởng đến chuyển động của máy thì cần xây dựng máy trong mô hình hai vật cứng có quán tính được nối với nhau bằng yếu tố có tính đàn hồi, nhưng có thể bỏ qua quán tính của yếu tố đàn hồi này. Máy trong mô hình như vậy được gọi là máy hai khối lượng với cơ cấu truyền đàn hồi, nó được gọi tắt là máy mềm hai khối lượng (hình 1.4). Phần tử đàn hồi được xây dựng trong mô hình tuyến tính.

Máy được xây dựng theo mô hình nào tùy thuộc vào yêu cầu của bài toán thực tế. Thông thường để phục vụ cho thiết kế và tính toán sơ bộ, máy được xây dựng trong mô hình máy cứng hai khối lượng. Ta sẽ đi sâu vào việc xây dựng mô hình từng bộ phận của máy.



Hình 1.3 Máy cứng hai khối lượng



Hình 1.4 Máy mềm hai khối lượng

2.1 Động cơ

Động cơ là bộ phận dùng để biến đổi các dạng năng lượng thành cơ năng như động cơ điện, động cơ nhiệt, động cơ thủy lực, động cơ khí nén... Quá trình biến đổi là nhờ các tham số điều khiển. Đối với động cơ điện, tham số điều khiển là thế hiệu (đối với động cơ điện một chiều), tần số của thế hiệu (đối với động cơ điện xoay chiều), lưu lượng (đối với động cơ thủy lực), lượng nhiên liệu (đối với động cơ nhiệt)... Thông số ra của động cơ thường là toạ độ khâu ra của động cơ : khâu quay hoặc khâu tịnh tiến.

Mô hình động lực của động cơ được xác lập dựa theo mối quan hệ giữa các thông số đầu ra của động cơ (toạ độ q và \dot{q} vận tốc) và lực do động cơ tạo nên và truyền đi Q . Lực Q được gọi là lực phát động của động cơ (có thứ nguyên của lực khi khâu ra là tịnh tiến và thứ nguyên của ngẫu lực khi khâu ra là khâu quay). Mối quan hệ giữa các thông số động học và động lực của đầu ra của động cơ được gọi là các đặc tuyến của động cơ.

Xét bốn mô hình cơ bản sau [5], [15].

a. Động cơ với đặc tuyến động học lý tưởng

Đối với động cơ thuộc loại này quan hệ giữa thông số đầu vào và đầu ra có dạng:

$$\dot{q} = f(u) \quad (1.1)$$

trong đó: f - một hàm xác định.

Mô hình này thích hợp với loại động cơ mà vận tốc của đầu ra phụ thuộc rất ít vào tải, ví dụ như động cơ có công suất rất lớn.

b. Động cơ với đặc tuyến động lực lý tưởng

Khi lực suy rộng của lực phát động không phụ thuộc vào chuyển động của khâu ra của động cơ và được xác định chỉ theo các giá trị của thông số vào của động cơ, ta có đặc tuyến động lực lý tưởng:

$$Q = Q(u) \quad (1.2)$$

Đặc tuyến loại này thích hợp với các động cơ có lực suy rộng của lực phát động phụ thuộc chủ yếu vào vận tốc, ví dụ, loại động cơ đốt trong.

Các đặc tuyến lý tưởng của động cơ thường được sử dụng trong giai đoạn đầu của việc thiết kế máy khi chỉ cần biết loại động cơ và cần xác định công suất yêu cầu.

Đối với loại động cơ không điều khiển, tức $u = u_0 = \text{const}$, đối với trường hợp đặc tuyến động học lý tưởng thì:

$$\dot{q} = f_0(u_0) = \text{const} = \dot{q}_0 \quad (1.3)$$

Tức là, khâu ra của động cơ có chuyển động quán tính, ví dụ, quay đều đối với động cơ điện.

Trong trường hợp đặc tuyến động lực lý tưởng sẽ có:

$$Q = Q(u_0) = Q_0 = \text{const} \quad (1.4)$$

Tức là lực suy rộng của lực phát động không đổi.

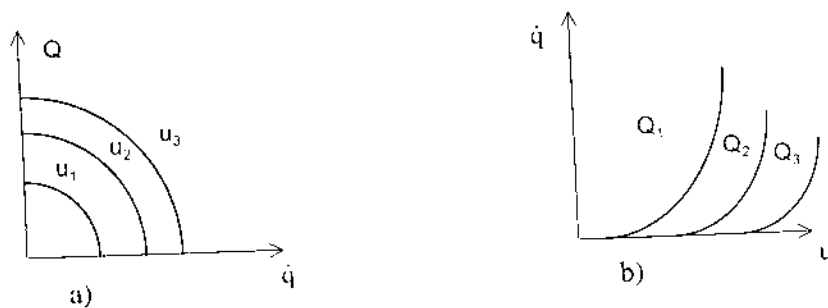
Nếu các tham số điều khiển không thể khống chế được một cách chặt chẽ ở chế độ không đổi u_0 , tức tham số điều khiển bị lệch đối với chế độ hàng u_0 với lượng rất bé thì có thể sử dụng quan hệ gần đúng, ví dụ, trong gần đúng thứ nhất có:

$$\dot{q} = f_0(u_0) + \frac{df_0}{du}(u_0)(u - u_0) \quad (1.5)$$

$$Q = Q(u_0) + \frac{dQ}{du}(u_0)(u - u_0) \quad (1.6)$$

Các phương trình (1.5), (1.6) được gọi là các dạng tuyến tính hoá của (1.1) và (1.2). Dạng tuyến tính hoá chính là phần đường cong của đặc tuyến tại lân cận điểm (u_0, ω_0) hoặc (u_0, Q_0) được thay bằng một phần của tiếp tuyến của đặc tuyến qua các điểm này.

c. Động cơ có đặc tuyến tính



Hình 1.5 Các đường đặc tuyến của động cơ

Nếu hệ thức giữa thông số động học \dot{q} và lực suy rộng Q của lực phát động ở đầu ra của động cơ có dạng:

$$\dot{q} = f_1(u, Q) \quad (1.7)$$

hoặc trong dạng tương đương:

$$Q = Q(u, \dot{q}) \quad (1.8)$$

trong đó u - tham số điều khiển.

\dot{q} - vận tốc của khâu ra động cơ.

Q - lực phát động của động cơ.

thì động cơ có được gọi là làm việc với đặc tuyến tính. Các đặc tuyến (1.7) và (1.8) thường là phi tuyến.

Trong trường hợp động cơ không điều khiển, tức $u = u_0 = \text{const}$, thì:

$$\dot{q} = f_1(u_0, Q) \quad (1.9)$$

$$\text{hoặc} \quad Q = Q(u_0, \dot{q}) \quad (1.10)$$

Trong trường hợp tổng quát, lực suy rộng của lực phát động phụ thuộc cả vào toạ độ và vận tốc của khâu ra động cơ, cả vào tham số điều khiển, tức:

$$Q = Q(u, \dot{q}, q) \quad (1.11)$$

Các quan hệ trên có thể được cho trong dạng giải tích hoặc trong dạng đồ thị. Trên hình 1.5 là đồ thị biểu diễn mối quan hệ (1.7), (1.8) và các đường cong này được gọi là đặc tuyến của động cơ.

Trong thực tế, máy thường làm việc ở chế độ rất gần với chế độ có các thông số không đổi ($u \approx u_0 = \text{const}$, $\dot{q} \approx \omega_0 = \text{const}$, $Q \approx Q_0 = \text{const}$). Trong trường hợp như vậy có thể sử dụng dạng tuyến tính hóa của chúng:

$$\begin{aligned} \dot{q} &= f_1(u_0, Q_0) + \frac{\partial f_1}{\partial u}(u_0, Q_0)(u - u_0) + \frac{\partial f_1}{\partial Q}(u_0, Q_0)(Q - Q_0) \\ &= \omega_0 + \gamma(u - u_0) - \frac{1}{s}(Q - Q_0) \end{aligned} \quad (1.12)$$

trong đó: $\omega_0 \equiv f_1(u_0, Q_0) = \text{const}$; $\gamma = \frac{\partial f_1}{\partial u}(u_0, Q_0) = \text{const}$

$$s^{-1} = -\frac{\partial f_1}{\partial Q}(u_0, Q_0) = \text{const} \quad (1.13)$$

Tương tự như vậy nhận được:

$$\begin{aligned} Q &= Q(u_0, \omega_0) + \frac{\partial Q}{\partial u}(u_0, \omega_0)(u - u_0) + \frac{\partial Q}{\partial \dot{q}}(u_0, \omega_0)(\dot{q} - \omega_0) = \\ &= Q_0 + r(u - u_0) - s(\dot{q} - \omega_0) \end{aligned} \quad (1.14)$$

trong đó

$$\begin{aligned} Q_0 &= Q(u_0, \omega_0) = \text{const}; \quad r = \frac{\partial Q}{\partial u}(u_0, \omega_0) = \text{const}, \\ s &= -\frac{\partial Q}{\partial \dot{q}}(u_0, \omega_0) = \text{const} \end{aligned} \quad (1.15)$$

Hệ số s được gọi là độ cong của đặc tuyến tĩnh của động cơ tại điểm làm việc (u_0, ω_0) của động cơ (còn được gọi là độ cứng tĩnh của nó). Thông thường việc tăng tốc độ sẽ làm giảm lực suy rộng của lực phát

động của động cơ, nên $\partial Q / \partial \dot{q}$ thường lấy giá trị âm. Do đó s có các giá trị dương.

Đối với máy không điều khiển $u = u_0 = \text{const}$, ta có:

$$\dot{q} = \omega_0 - \frac{1}{s}(Q - Q_0) \quad (1.16)$$

$$Q = Q_0 - s(\dot{q} - \omega_0) \quad (1.17)$$

d. Động cơ có đặc tuyến động lực

Đặc tuyến tĩnh phản ánh chế độ làm việc tĩnh của động cơ, trong đó các thông số u , \dot{q} , Q hoặc có giá trị không đổi hoặc thay đổi rất chậm. Trong thực tế vận tốc khâu ra của động cơ phụ thuộc không những vào lực suy rộng của lực phát động mà còn phụ thuộc vào tốc độ thay đổi của nó. Trong gần đúng thứ nhất có quan hệ sau:

$$\dot{q} = f_2(u, Q + \tau \dot{Q}, q) \quad (1.18)$$

Từ đây có thể nhận được quan hệ sau:

$$\tau \dot{Q} + Q = Q_1(u, q, \dot{q}) \quad (1.19)$$

Trong đó: $Q_1(u, q, \dot{q})$ - lực suy rộng của lực phát động trong chế độ tĩnh.

τ - hằng số riêng thời gian của động cơ.

Nếu đặc tuyến tĩnh không phụ thuộc vào tọa độ q thì đặc tuyến động lực có dạng sau:

$$\dot{q} = f_2(u, Q + \tau \dot{Q}) \quad (1.20)$$

$$\text{hoặc } \tau \dot{Q} + Q = Q_1(u, \dot{q}) \quad (1.21)$$

Các đặc tuyến dạng (1.18) ÷ (1.21) đối với một số loại động cơ phản ánh tương đối đầy đủ chế độ động lực của chúng. Có những loại động cơ đại lượng \dot{q} thay đổi trong giới hạn hẹp thì chế độ động lực của chúng không phù hợp với các quan hệ được nêu ở trên. Trong những trường hợp như vậy cần xây dựng các đặc tuyến có dạng phù hợp khác.

e. Đặc tuyến của một số loại động cơ được sử dụng trong các máy hiện đại

- Động cơ điện một chiều với kích động độc lập

Chuyển động quay của khâu ra (rôto) của động cơ do tương tác của dòng điện trong cuộn dây và từ trường được tạo ra do cuộn dây kích động (hình 1.6).

Khi rôto quay trong cuộn dây sinh ra suất điện động, được tính theo công thức sau:

$$E = k\phi\dot{q} \quad (1.22)$$

Trong đó ϕ - từ thông của cuộn dây kích động,
 k - hệ số tỷ lệ.

Khi không có sự mất mát thế hiệu trong cuộn dây của lõi thì:

$$U = E = k\phi\dot{q}$$

Từ đây
$$\dot{q} = \frac{1}{k\phi} U \quad (1.23)$$

Công thức (1.23) là đặc tuyến động học lý tưởng của động cơ. Khi không có tải ($Q = 0$), tức, trong hành trình chạy trơn, đặc tuyến thực được xem như trùng với đặc tuyến lý tưởng. Khi đặt tải với mômen hằng Q lên rôto, trong cuộn dây của nó sinh ra dòng điện không đổi I , theo định luật Ampe, I được tính theo công thức sau:

$$I = \frac{1}{k\phi} Q \quad (1.24)$$

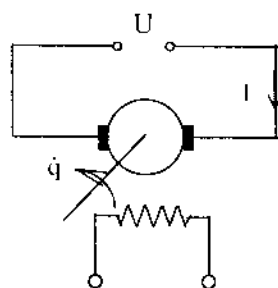
Ký hiệu R là điện trở của cuộn dây của lõi, phương trình của mạch điện, được viết như sau: $U = E + IR = k\phi\dot{q} + \frac{R}{k\phi} Q$

Từ đây nhận được
$$\dot{q} = \frac{1}{k\phi} U - \frac{R}{k^2\phi^2} Q \quad (1.25)$$

Công thức (1.25) có dạng đặc tuyến tĩnh.

Trong trường hợp mômen phát động là hàm của thời gian, $Q = Q(t)$, dòng điện trong lõi cũng sẽ thay đổi. Ký hiệu L là từ cảm của lõi, phương trình mạch điện sẽ là

$$U = E + IR + \dot{I}L = k\phi\dot{q} + \frac{R}{k\phi} (Q + \frac{L}{R} \dot{Q})$$



Hình 1.6 Động cơ điện

Trong trường hợp này nhận được đặc tuyến động lực như sau:

$$\tau \dot{Q} + Q = \frac{k\phi}{R} U - \frac{k^2 \phi^2}{R} \dot{q} \quad (1.26)$$

với τ - hằng số riêng thời gian (điện từ) của động cơ, $\tau = LR^{-1}$.

Như vậy đặc tuyến của động cơ điện một chiều với kích động độc lập có dạng tuyến tính với $r = k\phi R^{-1}$; $s = k^2 \phi^2 R^{-1}$; $\tau = LR^{-1}$.

Các thông số k , ϕ , R , L được cho trong sổ tay về động cơ điện một chiều.

Một đặc trưng quan trọng của động cơ là hiệu suất, đó là tỉ số giữa công suất khâu ra và công suất của nguồn năng lượng.

Công suất ở khâu ra W_r :

$$W_r = Q\dot{q}$$

Công suất của nguồn năng lượng với đặc tuyến tĩnh:

$$W_{ng} = UI = \frac{1}{k\phi} Q(k\phi\dot{q} + \frac{R}{k\phi} Q) = Q\dot{q} + \frac{R}{k^2 \phi^2} Q^2 = Q\dot{q} + s^{-1} Q^2$$

Vậy hiệu suất η sẽ là:

$$\eta = \frac{W_r}{W_{ng}} = \frac{Q\dot{q}}{Q\dot{q} + s^{-1} Q^2} = [1 + \frac{Q}{s\dot{q}}]^{-1}$$

Từ đây có thể thấy trong các giá trị cho trước của lực phát động và vận tốc góc của rôto trong chế độ tĩnh, hiệu suất tăng cùng với sự tăng của độ cong của đặc tuyến động cơ. Đặc tuyến dạng (1.25) có thể viết trong dạng sau:

$$\dot{q} = \omega^* - s^{-1} Q \quad (1.27)$$

trong đó ω^* là vận tốc góc của hành trình chạy trơn, $\omega^* = \dot{q}|_{Q=0}$

Hiệu suất có thể được viết theo công thức

$$\eta = \frac{\dot{q}}{\omega^*} \quad (1.28)$$

- Động cơ điện không đồng bộ

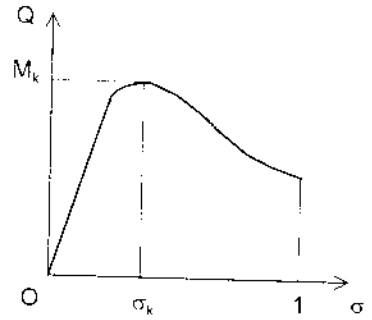
Quá trình vật lý xảy ra trong các động cơ điện không đồng bộ rất phức tạp. Ở đây chỉ xây dựng đặc tuyến của chế độ tĩnh và chế độ động

lực gắn tĩnh. Hoạt động của động cơ điện không đồng bộ là do từ trường có vectơ cường độ quay với vận tốc góc bằng tỷ số của tần số ν của dòng điện xoay chiều sinh ra trong cuộn dây stato và số đôi cực p_c của nó. Trong hành trình chạy trơn ($Q = 0$) dưới ảnh hưởng của từ trường này rôto quay cùng với vận tốc góc của hành trình chạy trơn:

$$\omega^* = \frac{\nu}{p_c} \quad (1.29)$$

Nếu coi ν là thông số vào của động cơ thì hệ thức này biểu diễn đặc trưng động học lý tưởng. Trong trường hợp có tải, rôto sẽ quay chậm hơn so với từ trường quay được đặc trưng bằng hệ số trượt σ :

$$\sigma = 1 - \frac{\dot{q}}{\omega^*} \quad (1.30)$$



Hình 1.7 Đặc tuyến tĩnh của động cơ điện không đồng bộ

Đặc tuyến biểu thị quan hệ giữa tải và hệ số trượt cho trong công thức chính xác Klossa [4]:

$$Q = \frac{2M_k(1 + a\sigma_k)}{\sigma_k\sigma^{-1} + \sigma\sigma_k^{-1} + 2a\sigma_k} \quad (1.31)$$

Trong đó: M_k - mômen cực đại (tối hạn),

σ_k - hệ số trượt ứng với mômen cực đại,

a - tỷ số trở kháng trong stato và rôto.

Các đại lượng a , σ_k , M_k được cho trong sổ tay tra cứu về động cơ điện không đồng bộ. Phần làm việc của động cơ ứng với đặc tuyến tĩnh ở trong miền các giá trị $\sigma < 0,5\sigma_k$, (hình 1.7).

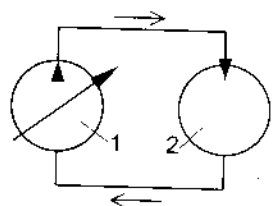
Trong chế độ động lực nếu các giá trị của σ không vượt ra khỏi miền này thì có thể sử dụng đặc tuyến động lực tuyến tính dạng:

$$\tau\dot{Q} + Q = \frac{2M_k}{\sigma_k} \left(1 - \frac{p_c}{\nu} \dot{q}\right) \quad (1.32)$$

trong đó $\tau = (\nu\sigma_k)^{-1}$ là hằng số thời gian điện từ của động cơ.

- Động cơ thủy lực điều chỉnh khối.

Động cơ gồm có bơm 1 để điều chỉnh lưu lượng và mô tơ thủy lực 2. Thông số vào của mô tơ thủy lực là lưu lượng của bơm, trong gần đúng thứ nhất được xem là không phụ thuộc vào độ hạ áp p_d (hình 1.8).



Hình 1.8 Động cơ thủy lực điều chỉnh khối

Trong hành trình chạy trơn ($Q = 0$) vận tốc góc của mô tơ thủy lực tỷ lệ với lưu lượng

$$\dot{q} = \frac{W_b}{k_d} \quad (1.33)$$

trong đó k_d - hệ số đặc trưng khối của mô tơ thủy lực.

Hệ thức (1.33) chính là đặc tuyến động học lý tưởng. Trong trường hợp có tải Q sẽ xảy ra hiện tượng hạ áp giữa đầu vào và đầu ra của mô tơ thủy lực:

$$p_d = \frac{Q}{k_d}$$

Hạ áp gây nên sự rò rỉ khối chất lỏng làm việc. Do đó có sự tổn hao lưu lượng do rò rỉ:

$$W_r = g_r p_d$$

trong đó : g_r - hệ số rò rỉ,

W_r - lưu lượng bị rò rỉ.

Công thức (1.33) bây giờ sẽ là:

$$\dot{q} = \frac{W_b - W_r}{k_d} = \frac{1}{k_d} W_b - \frac{g_r}{k_d^2} Q \quad (1.34)$$

Từ đây nhận được: $Q = g_r^{-1} k_d W_b - k_d^2 g_r^{-1} \dot{q} \quad (1.35)$

Nó có dạng (1.14) với $r = g_r^{-1} k_d$; $s = -k_d^2 g_r^{-1}$.

Vậy (1.35) là đặc tuyến tĩnh của động cơ thủy lực. Nếu kể đến độ thay đổi của tải Q theo thời gian (tức \dot{Q}) và lượng hạ áp (\dot{p}_d) thì cần tính đến cả sự nén của chất lỏng. Trong trường hợp này lưu lượng mất mát tỷ lệ với \dot{p}_d :

$$W_n = \frac{V_0}{E} \dot{p}_d = \frac{V_0}{Ek_d} \dot{Q}$$

trong đó : W_n - lưu lượng bị mất do chất lỏng bị nén,

E - môđun đàn hồi thể tích của chất lỏng,

V_0 - thể tích bên trong của đường ống dẫn áp lực cao kể cả bơm và mô tơ thủy lực mắc vào nó.

Trong trường hợp này (1.33) được viết như sau:

$$\dot{Q} = \frac{1}{k_d} (W_b - W_r - W_n) = \frac{1}{k_d} W_b - \frac{g_r}{k_d^2} Q - \frac{V_0}{Ek_d^2} \dot{Q}$$

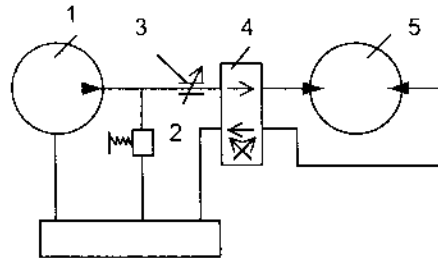
nó có dạng (1.21) với $\tau = \frac{V_0}{Ek_d^2}$ và $\dot{Q}_t = rW_b - s\dot{Q}$.

Nói cách khác, đặc tuyến động lực của động cơ thủy lực có dạng:

$$\frac{V_0}{Eg_r} \dot{Q} + Q = rW_b - s\dot{Q} \quad (1.36)$$

- Động cơ thủy lực loại van bướm (van tiết lưu)

Sơ đồ của động cơ thủy lực van tiết lưu được cho trên hình 1.9. Thông số vào u của động cơ là thông số định vị của van điều tiết 3 có nhiệm vụ điều chỉnh lưu lượng qua van nhờ đó điều chỉnh được vận tốc của khâu ra của động cơ. Bộ phận điều tiết áp lực 2 có nhiệm vụ giữ không đổi áp lực qua van do bơm 1 tạo nên. Buồng phân phối chất lỏng 4 thực hiện chuyển động đảo chiều của mô tơ thủy lực loại rôto hoặc pittông 5.



Hình 1.9 Động cơ thủy lực van tiết lưu

Đặc tuyến tĩnh của truyền động thủy lực tiết lưu được xây dựng dựa trên định luật dòng chảy qua van. Lượng nước qua van tỷ lệ với căn bậc hai của độ hạ áp qua van nên

$$W_d = \mu f(\mu) \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{p_b - p_d}$$

trong đó: μ - hệ số lưu lượng qua van, phụ thuộc vào hình dáng tiết diện;

$f(\mu)$ - hàm đặc trưng, phụ thuộc của diện tích lỗ, vào thông số vào u , tức vị trí của van;

ρ - mật độ khối của chất lỏng làm việc;

p_b - áp suất vào van tiết lưu, được giả thiết là hằng số;

p_d - áp suất trong buồng làm việc của động cơ thủy lực.

Vận tốc suy rộng \dot{q} của khâu ra (vận tốc góc của rôto hoặc vận tốc dài của pittông) được tính theo công thức:

$$\dot{q} = \frac{1}{k_d} (W_d - W_r)$$

trong đó: W_r - lưu lượng bị rò rỉ trong động cơ thủy lực;

k_d - dung tích đặc trưng.

Khi thay $p_d = \frac{1}{k_d} Q$; $W_r = g_r p_d$ vào biểu thức \dot{q} ta nhận được đặc tuyến tĩnh của động cơ thủy lực:

$$\dot{q} = \mu f(\mu) \frac{1}{k_d} \sqrt{\frac{2}{\rho} p_b - \frac{Q}{k_d}} - g_r \frac{1}{k_d^2} Q \quad (1.37)$$

Khi $Q = 0$ nhận được đặc tuyến động học lý tưởng:

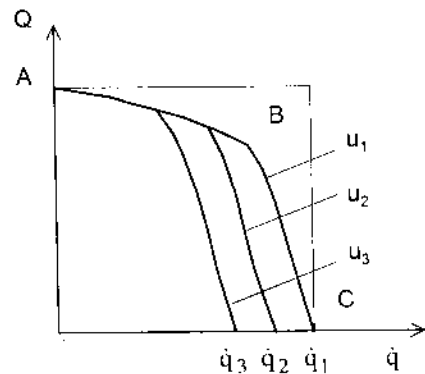
$$\dot{q} = \mu f(\mu) \frac{1}{k_d} \sqrt{\frac{2}{\rho} p_b} \quad (1.38)$$

Đối với chế độ tĩnh ($u \approx u_0 = \text{const}$, $Q \approx Q_0 = \text{const}$, $\dot{q} \approx \omega_0 = \text{const}$) có thể sử dụng đặc tuyến động lực tuyến tính

$$\tau \dot{Q} + \Delta Q = r \Delta u - s \Delta \dot{q} \quad (1.39)$$

trong đó

$$\Delta Q = Q - Q_0; \Delta u = u - u_0; \Delta \dot{q} = \dot{q} - \omega_0$$



Hình 1.10 Các đặc tuyến tĩnh

$$\tau = \sqrt{2} \frac{V_0}{E \mu f(u_0)} \sqrt{\rho(p_b - \frac{Q_0}{k_d})}$$

$$r = 2k_d \frac{df}{du}(u_0) \frac{1}{f(u_0)} (p_b - \frac{Q_0}{k_d})$$

$$s = \frac{\sqrt{2}k_d^2}{\mu f(u_0)} \sqrt{\rho(p_b - \frac{Q_0}{k_d})}$$

Trong đó: V_0 - thể tích bên trong đường ống sau van kể cả phần lấp vào động cơ thủy lực,

E - môđun đàn hồi của chất lỏng.

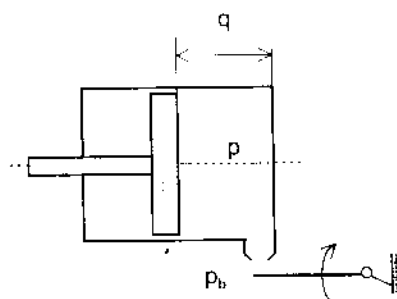
Các đặc tuyến (1.36) ÷ (1.39) đúng với các giá trị của Q không vượt giá trị giới hạn được xác định do thiết bị điều tiết áp suất. Giá trị giới hạn này phụ thuộc yếu vào q .

Nói chung ở các đặc tuyến tĩnh có dạng được chỉ trên hình 1.10, có phần BC ứng với công thức (1.36), phần AB được xác định do sự điều chỉnh của thiết bị điều tiết áp suất.

- Động cơ khí nén.

Trong các động cơ khí nén sử dụng không khí bị nén. Do tính nén của không khí đáng kể nên rất khó thực hiện các chuyển động chương trình của cơ cấu làm việc. Thông thường các truyền dẫn khí nén được sử dụng để tạo lực, chúng tác dụng lên cơ cấu chấp hành (thí dụ pittông) các lực theo yêu cầu, giá trị của nó được xác định nhờ áp suất trong buồng làm việc của xylanh.

Trên hình 1.11 là sơ đồ của động cơ khí nén đơn giản nhất với một buồng làm việc. Các thông số vào là tọa độ của thiết bị (van kéo, van điều tiết), điều khiển việc nạp không khí nén vào buồng làm việc. Theo các giả thiết về đặc trưng của các quá trình nhiệt động lực, khi bổ sung khí vào buồng làm việc lưu lượng khối của không khí qua lỗ được tính theo công thức sau:



Hình 1.11 Sơ đồ động cơ khí nén đơn

$$G = \mu f(\mu) g \sqrt{2 p_b \rho_b F\left(\frac{p}{p_b}\right)} \quad (1.40)$$

trong đó: μ - hệ số lưu lượng, giá trị của nó phụ thuộc vào cấu trúc của van tiết lưu, có thể thay đổi trong khoảng 0,75÷0,9;

$f(u)$ - diện tích của tiết diện;

ρ_b - mật độ khí trong đường ống chính dẫn khí;

p_b - áp suất cung cấp; p - áp suất trong buồng làm việc.

$$F\left(\frac{p}{p_b}\right) = \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_b}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_b}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right] \quad \text{khí } \frac{p}{p_b} > 0,528$$

$$F\left(\frac{p}{p_b}\right) = \frac{k}{k+1} \left(\frac{2k}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \quad \text{khí } \frac{p}{p_b} \leq 0,528$$

Trong đó k - tỷ số giữa nhiệt dung trong điều kiện áp suất hằng với nhiệt dung trong điều kiện thể tích hằng (đối với không khí $k = 1,4$).

Khi $p/p_b > 0,528$ luồng khí qua cửa van tiết lưu là trước tới hạn, còn khi $p/p_b \leq 0,528$ - trên tới hạn.

Các đặc tuyến của động cơ khí nén là phi tuyến. Tuyến tính hoá chúng lân cận chế độ dừng nào đó, thí dụ, $u = u_0$, $p = p_0$, $q = h_0$ (hình 1.11) có thể nhận được đặc tuyến động lực dạng:

$$\tau \Delta \dot{Q} + \Delta Q = ru - sq \quad (1.41)$$

$$\text{ở đây } \Delta Q = Q - Q_0 = Q - sp_0; \quad \tau = \frac{Sh\mu g}{RT} \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_0$$

$$r = -S \frac{\partial G}{\partial u} \bigg|_0 \cdot \left[\frac{\partial G}{\partial p} \bigg|_0 \right]^{-1}; \quad s = -\frac{S^2 \mu g p_0}{RT} \left[\frac{\partial G}{\partial p} \bigg|_0 \right]^{-1} \quad (1.42)$$

trong đó: S - diện tích của pittông;

R - hằng số khí vạn năng;

T - nhiệt độ tuyệt đối;

$$\frac{\partial G}{\partial u} \bigg|_0 \quad \text{và} \quad \frac{\partial G}{\partial p} \bigg|_0 \quad \text{được xác định từ (1.39) khi thay } u = u_0; p = p_0.$$

2.2 Mô hình động lực của bộ phận cơ

Phần cơ là một hệ cơ học gồm các vật thể liên kết với nhau có nhiệm vụ thực hiện các chuyển động cơ học theo yêu cầu. Các khâu của bộ phận này hầu hết là các vật thể rắn (vật rắn tuyệt đối) và vật thể biến dạng bé thành thoảng có khâu mềm (biến dạng lớn) như đai truyền, xích,..., và các khâu lỏng trong các truyền động thủy lực.

Xây dựng mô hình động lực của phần cơ là mô hình hoá các khâu và các khớp thuộc bộ phận này, nó thường được xây dựng theo hai mô hình sau :

a. Cơ cấu với khâu cứng

Mô hình này được xây dựng dựa trên các giả thiết cơ bản sau:

1) Các khâu thể rắn được xem là vật rắn tuyệt đối, các khâu mềm được xem là không bị dãn, các khâu lỏng được xem là không bị nén.

2) Các khớp thực hiện chính xác các phương trình liên kết, không có khe hở, mặt tiếp xúc các khớp cấp cao không bị biến dạng. Nói khác đi, các khớp động là các liên kết hơlônôm và giữ.

Máy mà bộ phận cơ gồm các cơ cấu với các khâu cứng được gọi là máy cứng. Trong máy cứng số bậc tự do của máy trùng với số bậc động. Trong trường hợp riêng của máy cứng một động cơ, các tọa độ Đề các của các chất điểm của nó đều có thể biểu diễn là hàm của một tọa độ suy rộng, tức là:

$$x_k = x_k(q) \quad y_k = y_k(q) \quad z_k = z_k(q) \quad \text{với } k = 1, 2, \dots, N$$

b. Cơ cấu với khâu đàn hồi

Mô hình máy cứng trong nhiều trường hợp không đáp ứng được các yêu cầu của kỹ thuật như trong việc tính toán độ bền, độ cứng vững (dao động) của máy. Đặc biệt trong các máy hiện đại, các biến dạng và gắn liền với chúng là các chấn động (dao động đàn hồi) có ý nghĩa rất quan trọng đối với độ chính xác, tuổi thọ của máy. Trong trường hợp như vậy, cần thiết phải xây dựng mô hình phức tạp hơn, ví dụ, cần phải kể đến biến dạng của các khâu hoặc một số khâu. Máy được xây dựng theo mô hình như vậy được gọi là máy với khâu đàn hồi và gọi tắt là máy mềm. Nếu máy gồm có các khâu cứng và các phần tử đàn hồi không quán tính

thì có mô hình rời rạc, còn trong trường hợp không bỏ qua được quán tính của các phần tử đàn hồi thì có mô hình với các thông số phân bố.

Việc xây dựng máy theo mô hình nào là vấn đề rất phức tạp, trước nhất nó phụ thuộc vào yêu cầu của kỹ thuật và tiếp theo phụ thuộc vào kinh nghiệm của việc khảo sát các loại máy tương tự và sau cùng phụ thuộc vào khả năng và kinh nghiệm tích lũy của kỹ sư chọn mô hình.

Thông thường việc chọn mô hình được tiến hành qua nhiều bước, trong giai đoạn tính toán, thiết kế sơ bộ thường sử dụng mô hình máy cứng. Cơ sở vào đó tính được công suất động cơ, các phản lực tại các khớp động. Mô hình máy mềm được đề cập khi cần phải quan tâm đến các quá trình động lực như chấn động của các phần tử, các quá trình chu kỳ với tần số thấp. Dao động với các tần số cao thường được tính đối với các khâu riêng biệt. Lễ dĩ nhiên tiêu chuẩn để khẳng định mức độ đúng đắn của mô hình được xây dựng là thực nghiệm và thực tế.

3. CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC

Để thực hiện các quá trình công tác của máy, ví dụ, các quá trình công nghệ, các động lực phát động cần phải thắng các động lực cản, chính chúng đặc trưng cho quá trình công tác. Các động lực cản là các tải làm việc, các lực cản vô ích như các lực ma sát và cả trọng lực đặt lên các khâu của máy.

3.1 Tải làm việc

Khi thực hiện quá trình công tác của máy sẽ phát sinh các động lực được gọi là các tải làm việc. Đó là các lực (ngẫu lực) tác dụng lên các bộ phận máy. Chúng thường là hàm của thời gian, các thông số định vị và cả đạo hàm theo thời gian của các thông số định vị:

$$P_s = P_s(t, x_1, x_2, \dots, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots) \quad s = 1, 2, \dots \quad (1.43)$$

Chúng được gọi là các đặc tuyến của quá trình công tác. Việc nghiên cứu các đặc tuyến của từng quá trình công tác thuộc các môn chuyên sâu như: nghiên cứu đặc tuyến của lực cắt khi gia công kim loại trong máy công cụ được đề cập trong lý thuyết cắt; đặc tuyến của lực tác dụng trên rôto máy phát - trong lý thuyết máy điện....ở đây chúng ta sẽ khảo sát đặc tuyến vài loại máy.

a. Máy nâng hạ

Trong trường hợp này tải làm việc chính là trọng lực vật cần nâng. Lực này có giá trị hằng trong cả quá trình nâng. Như vậy:

$$P = P_0 = \text{const} \quad (1.44)$$

b. Quạt thông gió

Tải làm việc là mômen M_c của các lực khí động tác dụng lên cánh quạt, ngẫu lực này phụ thuộc vào vận tốc góc của rôto, nó có thể biểu diễn (gần đúng) trong dạng sau:

$$M_c = -(a + b|\omega| + c\omega^2)\text{sign}\omega \quad (1.45)$$

Ở đây $a, b, c > 0$ $\text{sign}\omega = \frac{\omega}{|\omega|}$

trong đó: ω - vận tốc góc của rôto, thành phần đầu do ma sát khô tác dụng trên ổ trục, $\text{sign}\omega$ - phản ánh việc thay đổi chiều quay.

Các đặc tuyến của máy bơm ly tâm và một số máy cũng có dạng tương tự.

Xét một lớp các máy có đặc tuyến quá trình công tác tổng quát hơn:

$$M_c = -F(|\omega|)\text{sign}\omega \quad (F(|\omega|) > 0) \quad (1.46)$$

Công suất của lực cản trong qui luật của chuyển động tùy ý luôn luôn âm.

Thực vậy

$$W_c = M_c \omega = -F(|\omega|)\text{sign}\omega \cdot \omega = -F(|\omega|) \frac{\omega}{|\omega|} \omega = -F(|\omega|) \cdot |\omega| < 0$$

Công suất âm chỉ ra rằng quá trình công tác yêu cầu chuyển liên tục năng lượng cho đối tượng cần gia công. Đó là đặc trưng rõ nhất của máy công nghệ, ví dụ, quá trình cắt gọt kim loại.

c. Máy phát điện một chiều với kích động độc lập làm việc với trở kháng ngoài không đổi (hình 1.12)

Như đã biết suất điện động tỷ lệ với vận tốc góc của rôto:

$$E = k\phi\omega = I(R_l + R) \quad (1.47)$$

trong đó: ϕ - từ thông của kích động,

I - dòng điện trong lõi, k -hệ số tỷ lệ,

R_l - điện trở của cuộn dây lõi.

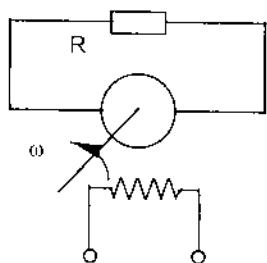
Mặt khác theo định luật Ampe thì:

$$M_C = k\phi I \quad (1.48)$$

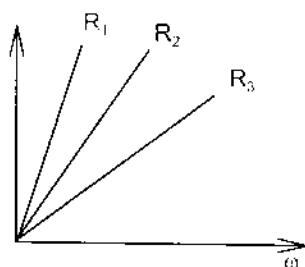
Khi thay (1.46) vào (1.47) ta nhận được:

$$M_C = k^2\phi^2(R_l + R)^{-1}\omega \quad (1.49)$$

Các đặc tuyến của máy phát ứng với các giá trị khác nhau của R được cho trên hình 1.13. Dễ dàng thấy rằng các đặc tuyến này có dạng (1.45).



Hình 1.12 Sơ đồ máy phát điện một chiều

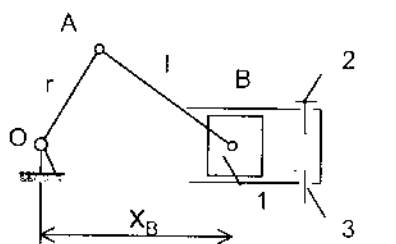


Hình 1.13 Các đặc tuyến của máy phát ứng với R_l

d. Máy nén khí

Sơ đồ máy nén khí cho trên hình 1.14.

Pittông 1 thực hiện chuyển động tịnh tiến đổi chiều. Khi pittông chuyển sang phải, không khí trong xy lanh bị nén làm cho áp suất tăng lên cho đến khi van xả 2 chưa được mở. Sau đó không khí được nạp vào và áp suất trong buồng khí được giữ gần như không đổi. Trong hành trình ngược lại không khí được hút qua van 3, ở đó áp suất thấp hơn áp suất khí quyển. Giản đồ chỉ thị thiết lập quan hệ giữa áp suất và cả lực P tác dụng lên pittông (bằng tích của áp suất và diện tích pittông) theo vị trí x_B của pittông (hình 1.14).

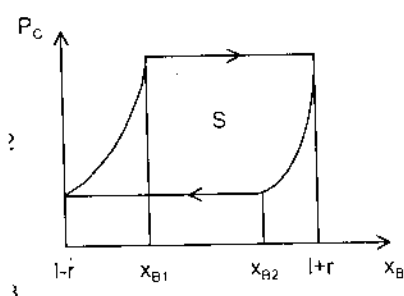


Hình 1.14 Giản đồ máy nén khí

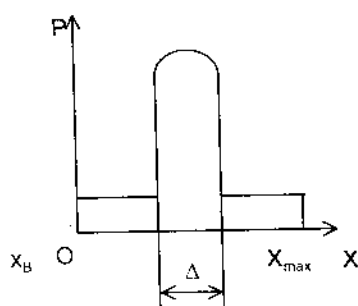
$$P_C = P_C(x_B, \text{sign} \dot{x}_B)$$

Đối với trường hợp $\dot{x}_B > 0$, $\text{sign}(\dot{x}_B) = 1$ ứng với nhánh phía trên của đặc tuyến, khi $\dot{x}_B < 0$, $\text{sign} \dot{x}_B = -1$ ứng với nhánh phía dưới. Diện tích S được giới hạn bởi đặc tuyến (theo tỷ lệ xích cho) là công của lực P_C (hình 1.15).

$$S = \oint P_C dx_B$$



Hình 1.15 Đặc tuyến của máy nén khí



Hình 1.16 Đặc tuyến của máy xung

e. Máy làm việc theo tác dụng xung (ví dụ, máy búa rèn, đập, đóng cọc...)

Quá trình công tác của máy này có đặc trưng va chạm. Đặc tuyến của các quá trình như vậy được cho trên hình 1.16.

3.2 Lực ma sát

Lực ma sát là lực cản sinh ra trong các khớp động. Thông thường bỏ qua các lực ma sát trong khi khảo sát động lực máy, tức là xem cơ cấu là các hệ với liên kết lý tưởng. Tuy nhiên có những cơ cấu trong đó lực ma sát đóng vai trò và có ảnh hưởng quan trọng đến các đặc trưng động lực của cơ hệ, ví dụ, trong công nghệ mài. Trong những trường hợp như vậy không thể bỏ qua các lực ma sát và máy được xem như cơ hệ không lý tưởng.

3.3 Trọng lực

Trong khảo sát động lực cần thiết phải chú ý đến trọng lực các khâu mà trong chuyển động của máy, trọng tâm của các khâu di chuyển. Loại lực này thuộc loại lực có thế và trong quá trình chuyển động của máy có thể sinh công dương trong giai đoạn này của chuyển động và sinh công âm trong giai đoạn khác của chuyển động.

CHƯƠNG 2

CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY CỨNG MỘT BẬC ĐỘNG

1. MÔ HÌNH MÁY CỨNG MỘT BẬC ĐỘNG

Trong trường hợp cơ cấu truyền động đủ cứng, có thể mô hình của nó là trong dạng phân tử cứng tuyệt đối không khối lượng. Trong điều kiện như vậy có thể xây dựng máy trong mô hình máy hai khối lượng : động cơ và bộ phận cơ nối cứng với nhau (hình 1.3). Để xác định ta khảo sát trường hợp động cơ có khâu ra là khâu quay, toạ độ của nó được ký hiệu qua q . Gọi T là động năng của máy, biểu diễn qua toạ độ và vận tốc khâu ra, tức $T = T(q, \dot{q})$ và Q - lực suy rộng của các lực tác dụng lên máy ứng với toạ độ suy rộng q , nó thường có dạng $Q = Q(t, q, \dot{q})$.

Phương trình chuyển động của máy được viết dưới dạng phương trình Lagrange loại 2:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = Q \quad (2.1)$$

Để triển khai phương trình này cần thiết phải tính các biểu thức động năng của máy và lực suy rộng Q .

1.1 Biểu thức động năng của máy

a. Biểu thức của mômen quán tính thu gọn

Biểu thức động năng của máy được tính theo công thức:

$$T = \frac{1}{2} \sum m_k v_k^2 = \frac{1}{2} \sum m_k (\dot{x}_k^2 + \dot{y}_k^2 + \dot{z}_k^2)$$

trong đó: m_k - khối lượng của phần tử M_k
 v_k - vận tốc của nó
 x_k, y_k, z_k - toạ độ của phần tử này.

Vì máy là cơ hệ có một bậc tự do nên toạ độ các phần tử đều biểu diễn được qua toạ độ suy rộng, tức là:

$$x_k = x_k(q); y_k = y_k(q); z_k = z_k(q)$$

Từ đó
$$\dot{x}_k = \frac{dx_k(q)}{dt} = \frac{dx_k}{dq} \frac{dq}{dt} = \frac{dx_k}{dq}(q) \dot{q}$$

Một cách tương tự ta có:

$$\dot{y}_k = \frac{dy_k}{dq}(q)\dot{q}; \quad \dot{z}_k = \frac{dz_k}{dq}(q)\dot{q}$$

Biểu thức động năng của máy được viết như sau

$$T = \frac{1}{2} \sum m_k \left[\left(\frac{dx_k}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dy_k}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dz_k}{dq} \right)^2 \right] \dot{q}^2 = \frac{1}{2} J(q) \dot{q}^2 \quad (2.2)$$

$$\text{Đại lượng} \quad J(q) = \sum m_k \left[\left(\frac{dx_k}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dy_k}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dz_k}{dq} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

được gọi là mômen quán tính khối lượng của máy thu về khâu ra của động cơ, được gọi tắt là mômen quán tính khối lượng thu gọn. Đó là hàm của của toạ độ của khâu ra của động cơ và là hàm tuần hoàn đối với q , vì sau khi trục động cơ quay được một số vòng thì các khâu của máy trở về vị trí xuất phát. Giả thiết rằng chu kỳ của máy ứng với một vòng quay của động cơ. Để thuận tiện mômen quán tính khối lượng thu gọn của máy được viết trong dạng sau:

$$J(q) = J_0 + \tilde{J} \quad (2.4)$$

$$\text{trong đó} \quad J_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} J(q) dq \quad (2.5)$$

được gọi là giá trị trung bình của mômen quán tính thu gọn của máy trong một chu kỳ, nó là thành phần không đổi của mômen quán tính thu gọn của máy, còn

$$\tilde{J} = J(q) - J_0 = J(q) - \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} J(q) dq \quad (2.6)$$

là độ lệch của mômen quán tính thu gọn của máy đối với giá trị trung bình của nó. Đây là thành phần biến đổi của mômen quán tính thu gọn của máy.

Vì rằng

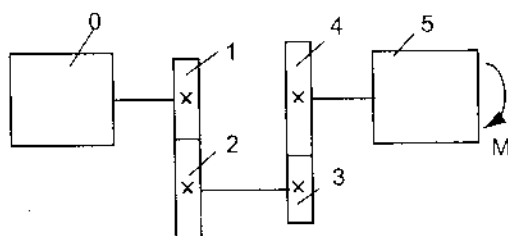
$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \tilde{J}(q) dq = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} J(q) dq - J_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} J(q) dq - \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} J(q) dq = 0$$

nên giá trị trung bình trong một chu kỳ của thành phần biến đổi của mômen quán tính thu gọn của máy bằng không.

Dưới đây khảo sát một số thí dụ.

Thí dụ 2.1:

Khảo sát một máy gồm các khâu cứng được cho trên hình 2.1.



Hình 2.1 Sơ đồ máy cho thí dụ 2.1

Giả sử động cơ có mômen quán tính khối lượng đối với trục quay riêng của nó là J_0 , nối với các bộ phận công tác 5 nhờ các bánh răng 1, 2, 3, 4. Chúng có mômen quán tính đối với trục quay riêng của mình lần lượt là J_1, J_2, J_3, J_4 . Cơ cấu chấp hành 5 có mômen quán tính đối với trục quay riêng của nó là J_5 .

Cho các tỉ số truyền động:

$$i_{12} \equiv \frac{\dot{q}}{\omega_2}; \quad i_{34} \equiv \frac{\omega_3}{\omega_4}$$

Động năng của máy được tính theo công thức sau:

$$T = \frac{1}{2} J_0 \omega_0^2 + \frac{1}{2} J_1 \omega_1^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2 + \frac{1}{2} J_3 \omega_3^2 + \frac{1}{2} J_4 \omega_4^2 + \frac{1}{2} J_5 \omega_5^2$$

trong đó $\omega_0 \equiv \dot{q}$

Chú ý rằng:

$$\omega_2 = \frac{\omega_0}{i_{12}} \quad \omega_3 \equiv \omega_2 = \frac{\omega_0}{i_{12}}$$

$$\frac{\omega_3}{\omega_4} = i_{34} \rightarrow \omega_4 = \frac{\omega_3}{i_{34}} = \frac{\omega_2}{i_{34}} = \frac{\dot{q}}{i_{12} i_{34}} \quad \omega_5 \equiv \omega_4 = \frac{\dot{q}}{i_{12} i_{34}}$$

Từ đó ta nhận được:

$$T = \frac{1}{2} \left[J_0 + J_1 + \frac{J_2}{i_{12}^2} + \frac{J_3}{i_{12}^2} + \frac{J_4}{i_{12}^2 i_{34}^2} + \frac{J_5}{i_{12}^2 i_{34}^2} \right] \dot{q}^2$$

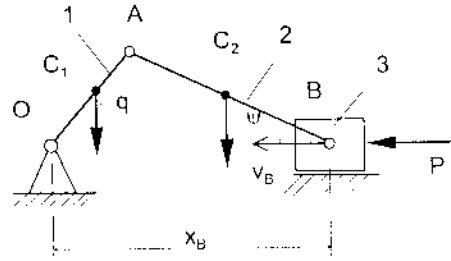
Vậy mômen quán tính thu gọn khối lượng của máy là:

$$J(q) = J_0 + J_1 + (J_2 + J_3) \frac{1}{i_{12}^2} + (J_4 + J_5) \frac{1}{i_{12}^2 i_{34}^2} = \text{const}$$

Thí dụ 2.2:

Tính mômen quán tính thu gọn về tay quay của cơ cấu tay quay-con trượt. Hình 2.2 cho biết mômen quán tính của tay quay đối với trục O là J_1 , mômen quán tính của thanh truyền đối với khối tâm C của nó là J_2 và khối lượng của nó là m_2 , khối lượng của con trượt là m_3 .

Khối tâm của tay quay do được cân bằng nên nằm tại O, khối tâm C của thanh truyền nằm cách A một khoảng bằng a , $OA = r$, $AB = l$.



Hình 2.2 Cơ cấu tay quay -con trượt.

Động năng của cơ cấu bằng tổng động năng của các bộ phận của nó, tức là:

$$T = T_{OA} + T_{AB} + T_B$$

trong đó: T_{OA} - động năng của tay quay OA, $T_{OA} = \frac{1}{2} J_1 \dot{q}^2$

T_{AB} - động năng của thanh truyền AB, $T_{AB} = \frac{1}{2} m_2 v_C^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_S^2$

T_B - động năng của con trượt B, $T_B = \frac{1}{2} m_3 v_B^2$

Dễ dàng chỉ ra rằng:

$$v_B = \frac{dx_B}{dq} \dot{q}; \quad v_C^2 = \dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2 = \left[\left(\frac{dx_C}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dy_C}{dq} \right)^2 \right] \dot{q}^2$$

$$\omega_S = \dot{\psi} = \frac{d\psi}{dq} \dot{q} \quad (\psi - \text{góc định vị của thanh truyền AB so}$$

với đường trượt của con trượt).

Biểu thức động năng của cơ cấu được viết trong dạng sau:

$$T = \frac{1}{2} \left\{ J_1 + m_2 \left[\left(\frac{dx_C}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dy_C}{dq} \right)^2 \right] + J_2 \left(\frac{d\psi}{dq} \right)^2 + m_3 \left(\frac{dx_B}{dq} \right)^2 \right\} \dot{q}^2$$

$$\text{Do đó } J(q) = J_1 + m_2 \left[\left(\frac{dx_C}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dy_C}{dq} \right)^2 \right] + J_2 \left(\frac{d\psi}{dq} \right)^2 + m_3 \left(\frac{dx_B}{dq} \right)^2$$

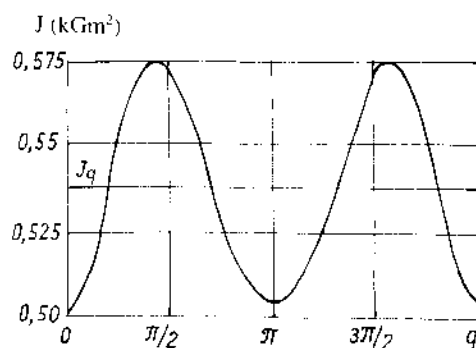
Từ hình 2.2 ta có:

$$x_B = r \cos q + \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 q}$$

$$\psi = \arcsin\left(\frac{r}{l} \sin q\right)$$

$$x_C = r \cos q + \frac{a}{l} \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 q}$$

$$y_C = r\left(1 - \frac{a}{l}\right) \sin q$$



Hình 2.3 Mômen quán tính của cơ cấu hình 2.2

Vì vậy

$$\frac{dx_B}{dq} = -r \sin q \left(1 + \frac{r \cos q}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 q}} \right); \quad \frac{d\psi}{dq} = \frac{r \cos q}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 q}}$$

$$\frac{dx_C}{dq} = -r \sin q \left(1 + \frac{ar}{l} \frac{\cos q}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 q}} \right); \quad \frac{dy_C}{dq} = r\left(1 - \frac{a}{l}\right) \cos q$$

Trên hình 2.3 cho đồ thị $J(q)$ với các thông số của cơ cấu như sau:

$$r = 0,065\text{m}; l = 0,26\text{m}; a = 0,091\text{m}; J_1 = 0,5\text{kGm}^2$$

$$m_2 = 1,8\text{kg}; J_2 = 0,0138\text{kGm}^2$$

b. Cấu trúc của mômen quán tính thu gọn

Trong trường hợp tổng quát mômen quán tính thu gọn của máy là hàm phi tuyến đối với toạ độ của khâu ra của động cơ như trên hình 2.4.

Để có thể nhận rõ ảnh hưởng quán tính của từng bộ phận, cụ thể là của động cơ và của bộ phận cơ, biểu thức mômen quán tính thu gọn được viết trong dạng

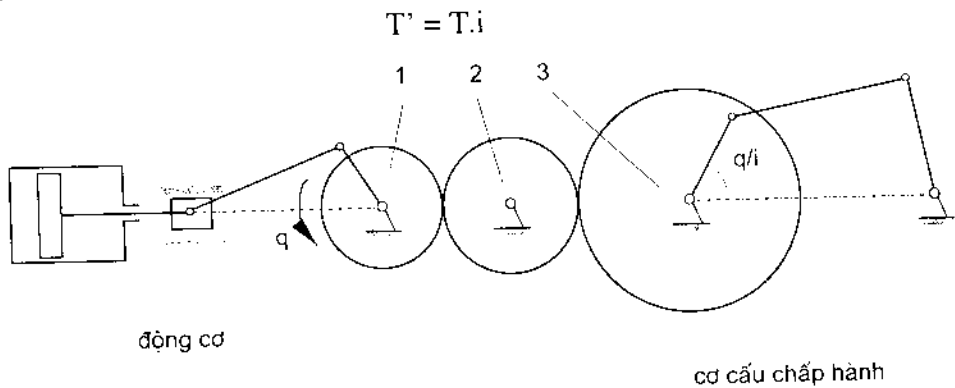
$$J(q) = J_d(q) + J_c(q) \quad (2.7)$$

ở đây $J_d(q)$ - mômen quán tính của động cơ thu về khâu ra của nó,

$J_c(q)$ - mômen quán tính của các bộ phận của máy trừ động cơ.

Nói chung các thành phần $J_d(q)$ và $J_c(q)$ là những hàm phi tuyến và tuần hoàn đối với toạ độ q .

Giả sử khâu ra của động cơ có chu kỳ 2π , tức sau khi trục động cơ quay được một góc 2π thì tất cả các khâu khác của máy trở về vị trí xuất phát. Nếu tỉ số truyền động từ khâu ra của động cơ đến khâu vào của bộ phận cơ là i thì



Hình 2.4 Động cơ và cơ cấu chấp hành của máy

Trong đó T và T' là chu kỳ khâu ra của động cơ và khâu vào của bộ phận cơ tương ứng. Do đó nếu chu kỳ khâu ra của động cơ là 2π thì chu kỳ T' khâu vào của bộ phận cơ là $2\pi i$. Như vậy nếu $J_d(q)$ là hàm có chu kỳ đối với q là 2π thì $J_C(q)$ là hàm có chu kỳ $2\pi i$. Do tính chu kỳ của chúng nên các hàm này có thể viết trong dạng sau:

$$J_d(q) = J_{d0} + \tilde{J}_d; \quad J_C(q) = J_{C0} + \tilde{J}_C \quad (2.8)$$

trong đó

$$J_{d0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} J_d(q) dq = \text{const}; \quad J_{C0} = \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi i} J_C(q) dq = \text{const} \quad (2.9)$$

$$\tilde{J}_d = J_d(q) - J_{d0} = J_d(q) - \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} J_d(q) dq$$

$$\tilde{J}_C = J_C(q) - J_{C0} = J_C(q) - \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi i} J_C(q) dq$$

J_{d0} và J_{C0} là các giá trị trung bình trong một chu kỳ của mômen quán tính thu gọn của động cơ và của bộ phận cơ, chúng có giá trị không đổi, còn \tilde{J}_d và \tilde{J}_C là các độ lệch của mômen quán tính thu gọn của động cơ và của bộ phận cơ đối với giá trị trung bình J_0 của nó:

$$J_0 = J_{d0} + J_{C0} \quad (2.10)$$

J_0 được gọi là giá trị trung bình mômen quán tính thu gọn của máy.

1.2 Lực suy rộng

Các lực áp vào máy (lực hoạt động) gồm các lực phát động, các lực cản có ích và lực cản vô ích (bao gồm cả các trọng lực). Lực phát động đặt ở khâu ra động cơ, các lực cản có ích đặt trên cơ cấu chấp hành. Các lực cản vô ích và trọng lực đặt lên cả động cơ và hệ cơ (trong đó kể cả cơ cấu chấp hành). Các trọng lực trong nhiều trường hợp đóng vai trò cả lực cản có ích và lực cản vô ích.

Lực suy rộng trong phương trình (2.1) được tính theo công thức sau:

$$Q = \sum \bar{F}_k \frac{\partial \bar{r}_k}{\partial q} = \sum \bar{F}_k \frac{d\bar{r}_k}{dq} \quad (2.11)$$

Vì rằng $\dot{\bar{r}}_k = \frac{d\bar{r}_k}{dq} \dot{q}$ nên $\frac{d\bar{r}_k}{dq} = \dot{q}^{-1} \dot{\bar{r}}_k$

Biểu thức lực suy rộng Q có thể được viết như sau

$$Q = \dot{q}^{-1} \sum \bar{F}_k \dot{\bar{r}}_k = \dot{q}^{-1} W \quad (2.12)$$

ở đây W là tổng công suất của các lực tác dụng lên máy.

Biểu thức lực suy rộng Q có thể viết

$$Q = Q_d + Q_c \quad (2.13)$$

ở đó Q_d - lực suy rộng của lực phát động. Nếu động cơ có khâu ra là khâu quay thì $Q_d = M_d$ (M_d là mômen động cơ).

Q_c - lực suy rộng của các lực tác dụng lên bộ phận cơ gồm các lực cản có ích, lực cản vô ích và cả các trọng lực. Trong trường hợp khâu ra của động cơ là khâu quay thì Q_c là ngẫu lực suy rộng của các lực cản thu về khâu quay. Chú ý rằng nếu tọa độ suy rộng có thứ nguyên độ dài (thí dụ, khâu ra của động cơ là khâu tịnh tiến) thì các lực suy rộng có thứ nguyên lực.

Giả sử rằng khâu ra của động cơ là khâu quay và các lực suy rộng của chúng là các ngẫu lực thu gọn.

Để thí dụ ta tính ngẫu lực suy rộng của các lực cản trong thí dụ 2.1. Tính lực suy rộng ứng với ngẫu lực cản M đặt lên khâu ra của cơ cấu, ngược với hướng quay của khâu này.

Vì vận tốc góc ω của cơ cấu chấp hành là:

$$\omega = \frac{\dot{q}}{i_{12}i_{34}} \quad \text{nên} \quad W = M\omega = \frac{M\dot{q}}{i_{12}i_{34}}$$

$$\text{Theo công thức (2.12) tính được} \quad M_c = \frac{W}{\dot{q}} = \frac{M}{i_{12}i_{34}}$$

Trong thí dụ 2.2 để tính mômen thu gọn của các lực cản (gồm các trọng lực \vec{G}_1, \vec{G}_2 và lực \vec{P}) ta tính như sau:

$$W = -G_1 \dot{y}_{C_1} - G_2 \dot{y}_{C_2} - P \dot{x}_B = -(G_1 \frac{dy_{C_1}}{dq} + G_2 \frac{dy_{C_2}}{dq} + P \frac{dx_B}{dq}) \dot{q}$$

$$\text{Do đó} \quad M_c = \frac{W}{\dot{q}} = -(G_1 \frac{dy_{C_1}}{dq} + G_2 \frac{dy_{C_2}}{dq} + P \frac{dx_B}{dq})$$

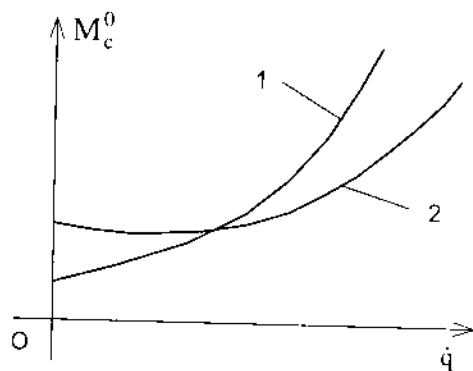
Dựa vào hình 2.2, dễ dàng tính được:

$$M_c = - \left[\frac{G_1}{2} + G_2 \left(1 - \frac{a}{l}\right) - P \left(1 + \frac{r \cos q}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 q}}\right) \right] r \sin q$$

Từ các thí dụ trên có nhận xét rằng : ngẫu lực cản thu gọn là hàm phi tuyến của tọa độ suy rộng. Trong trường hợp tổng quát, ngẫu lực cản thu gọn là hàm phi tuyến của tọa độ, vận tốc, gia tốc thu gọn và thời gian t. Tuy nhiên một cách phổ biến, ngẫu lực cản suy rộng là hàm phi tuyến của tọa độ và vận tốc suy rộng, tức

$$M_c = M_c(q, \dot{q}) \quad (2.14)$$

Giả sử rằng các lực cản đều tác dụng lên khâu quay của cơ cấu chấp hành, còn q là góc quay của khâu ra của động cơ. Trong trường hợp như vậy nếu khâu ra của động cơ có chu kỳ là 2π thì ngẫu lực cản là hàm tuần hoàn chu kỳ 2π , trong đó i là tỉ số truyền động.



Hình 2.5 Mômen cản thu gọn M_c^0

Tương tự với (2.4), (2.5) và (2.6) ta có thể viết:

$$M_c(q, \dot{q}) = M_c^0(\dot{q}) + \tilde{M}_c(q, \dot{q}) \quad (2.15)$$

$$\text{ở đây } M_c^0(\dot{q}) = \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi i} M_C(q, \dot{q}) d\dot{q} \quad (2.16)$$

được gọi là giá trị trung bình của mômen cản thu gọn và

$$\tilde{M}_C(q, \dot{q}) = M_C(q, \dot{q}) - \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi i} M_C(q, \dot{q}) d\dot{q} \quad (2.17)$$

được gọi là độ lệch của mômen cản thu gọn đối với giá trị trung bình.

Thông thường nếu tăng vận tốc thì giá trị trung bình của mômen cản thu gọn $M_c^0(\dot{q})$ sẽ tăng như trên hình 2.5 (đường cong 1). Nhưng cũng có trường hợp khi tăng vận tốc thì giá trị trung bình của mômen cản thu gọn $M_c^0(\dot{q})$ giảm, sau đó mới tăng theo cùng với sự tăng vận tốc như trên đường cong 2.

Điều này được giải thích như sau: lực ma sát tĩnh lớn hơn nhiều so với lực ma sát động nên trong giai đoạn đầu việc tăng vận tốc gây nên việc giảm lực ma sát do đó làm giảm cả mômen cản thu gọn.

2. CÁC CHẾ ĐỘ CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY

2.1 Phương trình chuyển động của máy

Để viết phương trình chuyển động của máy, ở đây sử dụng phương trình Lagrange loại II. Động năng có biểu thức (2.2) còn lực suy rộng có biểu thức (2.13), trong đó $Q_d = M_d$ và $Q_C = M_C$, (M_d - mômen phát động của động cơ, M_C - mômen các lực cản).

Phương trình chuyển động của máy sẽ là:

$$J(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{d}{dq} J(q)\dot{q}^2 = M_d + M_C(q, \dot{q}) \quad (2.18)$$

Phương trình này sẽ mô tả hoàn toàn chuyển động của máy nếu biết được qui luật thay đổi của mômen phát động M_d , nó được tạo ra do các quá trình vật lý xảy ra trong động cơ, mà quá trình này trong trường hợp tổng quát lại phụ thuộc vào quá trình công tác của máy.

Như đã biết, quá trình vật lý xảy ra trong động cơ được mô phỏng qua biểu thức mômen phát động M_d , được gọi là đặc tuyến của động cơ. Ở đây khảo sát máy làm việc với các loại động cơ có các đặc tuyến sau:

a. Đặc tuyến động học lý tưởng:

$$\dot{q} = f(u)$$

b. Đặc tuyến tĩnh:

$$M_d = M_{dt}(u, q, \dot{q})$$

trong đó $M_{dt}(u, q, \dot{q})$ là hàm đã biết của các thông số u, q, \dot{q} , nó có thể được biểu diễn trong dạng giải tích, nhưng thông thường được cho bằng đồ thị.

c. Đặc tuyến động lực:

$$\tau \dot{M}_d + M_d = M_{dt}(u, q, \dot{q})$$

Trong trường hợp này M_d thoả mãn một phương trình vi phân với hằng số thời gian τ của động cơ đã biết và hàm $M_{dt}(u, q, \dot{q})$ đã được xác định. Rõ ràng nếu không kể đến tốc độ biến đổi của mômen động cơ (loại động cơ có mômen động cơ biến đổi rất chậm, ít nhất trong một chu kỳ) thì:

$$M_d = M_{dt}(u, q, \dot{q})$$

Như vậy đặc tuyến tĩnh của động cơ ứng với quá trình mà trong đó mômen động cơ thay đổi chậm. Hàm M_{dt} trong một số trường hợp không phụ thuộc vào tọa độ q (thí dụ, động cơ điện rôto) và trong một số trường hợp là hàm chu kỳ đối với góc quay, chu kỳ của nó phụ thuộc vào chu kỳ của động cơ.

Chọn q sao cho ứng với một chu trình của động cơ q thay đổi một góc 2π . Như vậy hàm M_{dt} có chu kỳ 2π . Ví dụ, động cơ đốt trong 4 thì, trong một chu trình ứng với hai vòng quay của trục khuỷu nên chọn q bằng nửa góc quay của khâu ra.

Vì M_{dt} là hàm chu kỳ nên có thể viết:

$$M_{dt}(u, q, \dot{q}) = M_{dt}^0(u, \dot{q}) + \tilde{M}_{dt}(u, q, \dot{q}) \quad (2.19)$$

$$\text{ở đây} \quad M_{dt}^0(\dot{q}) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M_{dt}(u, q, \dot{q}) dq \quad (2.20)$$

được gọi là giá trị trung bình của mômen phát động và

$$\tilde{M}_{dt}(u, q, \dot{q}) = M_{dt}(u, q, \dot{q}) - \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M_{dt}(u, q, \dot{q}) dq \quad (2.21)$$

được gọi là độ lệch của mômen tĩnh của động cơ đối với giá trị trung bình.

$$\text{Đối với các loại động cơ rôto: } M_{dt}(u, q, \dot{q}) = M_{dt}^0(u, \dot{q}) \quad (2.22)$$

$$\text{tức là: } \tilde{M}_{dt}(u, q, \dot{q}) = 0$$

2.2 Phương trình chuyển động của máy đối với từng loại đặc tuyến

a. Trường hợp máy với động cơ có đặc tuyến động học lý tưởng

Trong trường hợp này $\dot{q} = f(u)$ nên chuyển động của máy ứng với quy luật điều khiển xác định $u=u(t)$ được xác định trực tiếp qua phương trình:

$$q(t) = \int_0^t \dot{q} dt + q(0) = \int_0^t f(u) dt + q(0) \quad (2.23)$$

Vì chuyển động của máy đã được xác định từ (2.23) nên từ (2.18) có thể tính được mômen phát động của động cơ cần thiết để duy trì chế độ (1.1):

$$M_d(t) = J[q(t)]\ddot{q}(t) + \frac{1}{2} \frac{dJ}{dq}[q(t)]\dot{q}^2(t) - M_c[q(t), \dot{q}(t)] \quad (2.24)$$

b. Trường hợp máy với động cơ có đặc tuyến tĩnh

Phương trình chuyển động của máy phù hợp với (2.18) sẽ là

$$J(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{d}{dq} J(q)\dot{q}^2 = M_{dt}(u, q, \dot{q}) + M_c(q, \dot{q}) \quad (2.25)$$

Với qui luật điều khiển xác định $u = u(t)$ thì phương trình (2.25) trong điều kiện cho ban đầu, sẽ cho nghiệm dạng:

$$q = q(q_0, \dot{q}_0, t); \quad \dot{q} = \dot{q}(q_0, \dot{q}_0, t) \quad (2.26)$$

nó mô tả chuyển động của máy.

c. Trường hợp máy với động cơ có đặc tuyến động lực

Chuyển động của máy được mô tả bởi hệ phương trình vi phân :

$$J(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{d}{dq} J(q)\dot{q}^2 = M_d + M_c(q, \dot{q}) \quad (2.27)$$

$$\tau \dot{M}_d + M_d = M_{dt}(q, \dot{q}) \quad (2.28)$$

Giải hệ phương trình này trong điều kiện ban đầu cho trước sẽ tìm được:

$$q = q(t) \quad \dot{q} = \dot{q}(t) \quad M_c = M_{c0}(t) \quad (2.29)$$

tức xác định được chuyển động của máy và mômen phát động cần thiết để duy trì chế độ chuyển động này.

2.3. Các chế độ chuyển động của máy

Khảo sát động lực máy trước hết cần tìm và phân tích các nghiệm riêng của phương trình vi phân chuyển động của máy, chúng phụ thuộc vào các chế độ chuyển động của máy. Quá trình làm việc của máy thông thường qua ba giai đoạn.

a. Quá trình mở máy

Máy từ trạng thái đứng yên được đưa vào làm việc. Quá trình này tương ứng với sự thay đổi vận tốc góc từ $\omega = 0$ đến giá trị $\omega = \omega_0$ (nếu chế độ làm việc là quay đều). Quá trình này xảy ra trong khoảng thời gian rất ngắn. Việc rút ngắn thời gian mở máy là một trong các biện pháp để tăng năng suất của máy. Tuy khoảng thời gian mở máy rất ngắn nhưng trong quá trình này thường xảy ra các hiệu ứng động lực xấu.

b. Quá trình bình ổn

Đây là quá trình máy thực hiện các yêu cầu của quá trình công tác của máy. Quá trình này chiếm khoảng thời gian dài nhất trong chu trình làm việc của máy.

c. Quá trình tắt máy

Quá trình này là đưa máy từ trạng thái làm việc bình ổn về trạng thái yên nghỉ. Quá trình này ứng với sự thay đổi vận tốc góc từ giá trị của nó trong chế độ bình ổn về giá trị không. Quá trình này cũng xảy ra trong khoảng thời gian ngắn.

Quá trình mở máy và tắt máy thuộc quá trình chuyển tiếp là quá trình trong đó các tham số trạng thái thay đổi đáng kể trong khoảng thời gian ngắn. Quá trình bình ổn là quá trình làm việc của máy trong khoảng thời gian dài, trong đó các tham số trạng thái hoặc không thay đổi hoặc thay đổi ít. Đây là quá trình quan trọng nhất trong chu kỳ làm việc của máy. Đặc tính của quá trình bình ổn là :

+ Các tham số điều khiển nhận được các giá trị xác định:

$$u_i = u_i^0 = \text{const}$$

$$+ \omega = \omega_0 = \text{const} \quad \text{hoặc} \quad \omega = \omega_0 + \psi \quad \text{với} \quad |\psi| \ll \omega_0 = \text{const}$$

Cần lưu ý rằng có những loại máy không có sự phân biệt rõ các giai đoạn, (ví dụ như máy nâng hạ) hoặc các giai đoạn lồng vào nhau do các tương tác ngẫu nhiên của các quá trình chuyển tiếp xảy ra chính trong quá trình bình ổn.

CHƯƠNG 3

ĐỘNG LỰC CỦA QUÁ TRÌNH BÌNH ỔN

1. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI ĐỘNG CƠ CÓ ĐẶC TUYẾN ĐỘNG HỌC LÝ TƯỞNG

Khảo sát trường hợp động cơ của máy làm việc với đặc tuyến động học lý tưởng:

$$\dot{q} = f(u)$$

Đối với máy không điều khiển $u = u_0$, vận tốc góc của khâu ra của động cơ sẽ có giá trị không đổi:

$$\omega = \dot{q} = f(u_0) = \omega_0; \quad \ddot{q} = 0 \quad (3.1)$$

$$\text{Với điều kiện đầu } q(0) = 0 \text{ thì } q = \omega_0 t \quad (3.2)$$

Mômen phát động của động cơ có biểu thức:

$$M_d(t) = \frac{1}{2} \frac{dJ}{dq} (\omega_0 t) \omega_0^2 - M_c(\omega_0 t, \omega_0)$$

Khi sử dụng (2-15) ta nhận được:

$$M_d(t) = -M_c^0(\omega_0) + \frac{1}{2} \frac{dJ}{dq} (\omega_0 t) \omega_0^2 - \tilde{M}_c(\omega_0 t, \omega_0)$$

Từ đây ta nhận được giá trị trung bình của mômen phát động:

$$M_d^0(t) = -M_c^0(\omega_0)$$

và độ lệch của mômen phát động đối với giá trị trung bình:

$$\tilde{M}_d(t) = \frac{1}{2} \frac{dJ}{dq} (\omega_0 t) \omega_0^2 - \tilde{M}_c(\omega_0 t, \omega_0) \equiv -L(t)$$

được gọi là thành phần động lực của mômen phát động.

Trong trường hợp động cơ rôto, $L(t)$ là hàm có chu kỳ $2\pi i/\omega_0$ và do $\tilde{J}_d \equiv 0$ nên $\frac{dJ}{dq} = \frac{d\tilde{J}_c}{dq}$, \tilde{J}_c và $\tilde{M}_c(q, \dot{q})$ đều có chu kỳ $2\pi i$ đối với q , là chu kỳ của khâu vào của bộ phận cơ.

Mômen động lực truyền vào cơ cấu truyền, trong đó thường bao gồm các truyền động bánh răng rất nhạy đối với các tải động lực. Vì vậy việc xác định mômen động lực $L(t)$ là rất quan trọng để tính toán độ bền của truyền động bánh răng. Điều quan trọng là giá trị cực đại của mômen động lực không được vượt quá giá trị trung bình của mômen trong cơ cấu truyền: $M_c^0(\omega_0)$, tức cần thực hiện điều kiện:

$$L(t) < -M_c^0(\omega_0)$$

$$\text{do đó} \quad M_d(t) = -M_c^0(\omega_0) - L(t) > 0 \quad (3.3)$$

Nếu $M_d(t)$ thay đổi dấu sẽ dẫn đến thay đổi hướng truyền của mômen được truyền qua các bánh răng và do đó gây ra sự sắp xếp lại khe hở trong truyền động bánh răng: lúc mặt răng này, lúc mặt răng kia làm việc. Điều này làm giảm khả năng làm việc của truyền động.

2. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI ĐỘNG CƠ CÓ ĐẶC Tuyến tính

2.1 Xác định chế độ chuyển động bình ổn

Dựa vào (2-7), (2-8), (2-9), (2-10) và (2-11) ta có:

$$J(q) = J_0 + \tilde{J}_d(q) + \tilde{J}_c(q)$$

trong đó: J_0 , $\tilde{J}_d(q)$, $\tilde{J}_c(q)$ được tính theo (2-9) và (2-10).

Phương trình chuyển động của máy (2-18) được viết trong dạng sau:

$$\begin{aligned} [J_0 + \tilde{J}_d(q) + \tilde{J}_c(q)]\ddot{q} + \frac{1}{2} \left[\frac{d}{dq} \tilde{J}_d(q) + \frac{d}{dq} \tilde{J}_c(q) \right] \dot{q}^2 \\ = M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) + M_c^0(\dot{q}) + \tilde{M}_{dt}(u_0, q, \dot{q}) + \tilde{M}_c(q, \dot{q}) \end{aligned}$$

Từ đây ta nhận được:

$$\begin{aligned} J_0 \ddot{q} = M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) + M_c^0(\dot{q}) - [\tilde{J}_d(q) + \tilde{J}_c(q)]\ddot{q} + \tilde{M}_{dt}(u_0, q, \dot{q}) + \\ + \tilde{M}_c(q, \dot{q}) - \frac{1}{2} \left[\frac{d}{dq} \tilde{J}_d(q) + \frac{d}{dq} \tilde{J}_c(q) \right] \dot{q}^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Đề dàng thấy rằng nếu không có bốn số hạng cuối trong vế phải của (3.4), tức nếu mômen quán tính của máy không đổi và văng các mômen \tilde{M}_{dt} , \tilde{M}_c thì máy có thể có chế độ quay đều với vận tốc góc $\dot{q} = \omega_0$.

Thực vậy, phương trình

$$J_0 \ddot{q} = M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) + M_c^0(\dot{q}) \quad (3.5)$$

Có thể có một nghiệm riêng dạng:

$$\dot{q} = \omega_0 = \text{const}; \quad q = \omega_0 t \quad (3.6)$$

Với ω_0 thoả mãn phương trình sau:

$$M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) + M_c^0(\dot{q}) = 0 \quad (3.7)$$

Vậy nếu máy có phương trình chuyển động (3.5) thì nó có thể chuyển động bình ổn ứng với (3.6) được tìm từ (3.7).

Như vậy chính bốn số hạng sau cùng trong vế phải của phương trình (3.4) làm cho máy chuyển động lệch đối với trạng thái quay đều với ω_0 là nghiệm của phương trình đại số (3.7). Bốn số hạng sau cùng trong vế phải của phương trình (3.4) là không lớn nên trong gần đúng thứ nhất có thể bỏ qua và xem máy chuyển động với chế độ (3.6).

Tuy nhiên, trong thực tế tồn tại bốn số hạng sau cùng trong vế phải của phương trình (3.4) dù là bé, ảnh hưởng của chúng là làm máy chuyển động với vận tốc góc $\omega \neq \omega_0$ nhưng rất gần ω_0 . Do đó có thể xem ω_0 là nghiệm gần đúng bậc "0" của phương trình (3.4), (3.6) là chế độ bình ổn bậc "0" của chuyển động của máy. Từ đó hy vọng rằng tìm nghiệm gần đúng tiếp theo của phương trình (3.4) sẽ cho chuyển động bình ổn có độ chính xác tốt hơn. Để tìm các nghiệm gần đúng tốt hơn của (3.4) ta sử dụng phương pháp gần đúng liên tiếp.

Kí hiệu $q^{(i)}$ là nghiệm gần đúng bậc "i" và $q^{(0)}$ là nghiệm gần đúng bậc "0"

$$q^{(0)} = \omega_0 t; \quad \dot{q}^{(0)} = \omega_0; \quad \ddot{q}^{(0)} = 0 \quad (3.8)$$

Để tìm nghiệm gần đúng bậc "1", ký hiệu $q^{(1)}, \dot{q}^{(1)}, \ddot{q}^{(1)}$ ta thay $q = \omega_0 t$, $\dot{q} = \omega_0$, $\ddot{q} = 0$ vào vế phải của phương trình (3.4), nó là hàm của t và được ký hiệu $L_0(t)$:

$$\begin{aligned} L_0(t) = & \left[-\frac{1}{2} \frac{d}{dq} \tilde{J}_d(\omega_0 t) \omega_0^2 + \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0) \right] + \\ & + \left[-\frac{1}{2} \frac{d}{dq} \tilde{J}_c(\omega_0 t) \omega_0^2 + \tilde{M}_c(\omega_0 t, \omega_0) \right] \end{aligned} \quad (3.9)$$

Nghiem gần đúng bậc "1" là nghiệm của phương trình sau:

$$J_0 \ddot{q} - M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) - M_c^0(\dot{q}) = L_0(t) \quad (3.10)$$

Giả sử phương trình này cho nghiệm dạng:

$$q^{(1)} \equiv q^{(1)}(t), \dot{q}^{(1)} \equiv \dot{q}^{(1)}(t), \ddot{q}^{(1)} \equiv \ddot{q}^{(1)}(t) \quad (3.11)$$

Để tìm nghiệm gần đúng tiếp theo ta thay (3.11) vào vế phải của phương trình (3.4). Ta nhận được phương trình:

$$\begin{aligned} J_0 \ddot{q} - M_{dt}^0(u, \dot{q}) - M_c^0(\dot{q}) = & -\left\{ \tilde{J}_d[q^{(1)}(t)] + \tilde{J}_c[\dot{q}^{(1)}(t)] \right\} \ddot{q}^{(1)}(t) \\ & - \frac{1}{2} \left\{ \frac{d\tilde{J}_d}{dq}[q^{(1)}(t)] + \frac{d\tilde{J}_c}{dq}[\dot{q}^{(1)}(t)] \right\} \left[\dot{q}^{(1)}(t) \right]^2 \\ & + \tilde{M}_{dt}[u_0, q^{(1)}(t), \dot{q}^{(1)}(t)] + \tilde{M}_{dt}[q^{(1)}(t), \dot{q}^{(1)}(t)] \end{aligned} \quad (3.12)$$

Nghiệm của phương trình (3.12) được xem là gần đúng bậc hai. Nếu quá trình lặp hội tụ, tức cùng với sự tăng của bước tính toán mà $q^{(s)}(t) - q^{(s-1)}(t)$ tiến đến không với mọi t thì có thể nhận được nghiệm chính xác của phương trình (3.4).

Tuy nhiên trong thực tế, nghiệm gần đúng thứ nhất trong số lớn trường hợp có độ chính xác thoả mãn các yêu cầu của bài toán kỹ thuật.

2.2 Sự ổn định của các nghiệm trong gần đúng bậc "0"

Chuyển động bình ổn của máy trong gần đúng bậc "0" ứng với nghiệm của phương trình đại số (3.7).

Phương trình đại số này, trong trường hợp tổng quát là phi tuyến có thể có một số nghiệm. Tuy nhiên trong thực tế chỉ xảy ra chế độ chuyển động bình ổn, nó ứng với nghiệm ổn định của phương trình (3.7). Khái niệm về ổn định của chuyển động được trình bày trong nhiều chuyên khảo [7, 10, 12]. Ở đây chỉ nêu ra một cách vắn tắt ý cơ bản của khái niệm này.

Giả sử máy đang quay đều với vận tốc góc ω_0 , do một tác nhân nào đó tại thời điểm xác định, thí dụ, sau thời gian t_1 máy chuyển sang chế độ chuyển động với vận tốc góc ω_1 gần với ω_0 , tức $\Delta\omega = |\omega_1 - \omega_0| \ll \omega_0$. Lúc đó:

- Chế độ chuyển động ω_0 được gọi là ổn định (tiệm cận) nếu sau thời gian t_1 máy xác lập lại chế độ chuyển động với vận tốc góc ω_0 .

- Chế độ chuyển động ω_0 được gọi là ổn định (nhưng không tiệm cận) nếu sau thời gian t_1 máy xác lập chế độ chuyển động với vận tốc góc ω gần, nhưng không đồng nhất với ω_0 .

- Chế độ chuyển động ω_0 được gọi là không ổn định, nếu sau thời gian t_1 máy xác lập chế độ chuyển động khác xa với chế độ chuyển động ω_0 .

Để khảo sát sự ổn định của chế độ chuyển động bình ổn ứng với ω_0 là một nghiệm nào đó của (3.7) ta có thể dựa trên phương pháp đồ thị hoặc biểu thức giải tích của nghiệm.

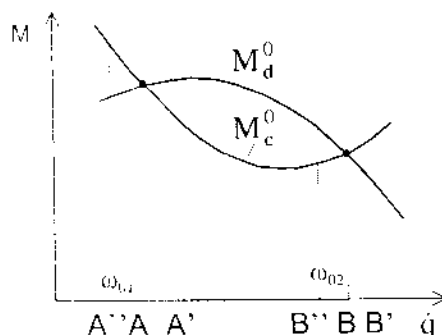
a. Khảo sát sự ổn định của nghiệm của phương trình (3.7) bằng phương pháp đồ thị (hình 3.1)

Để khảo sát sự ổn định của nghiệm ω_0 của phương trình (3.7) ta viết lại phương trình (3.5) trong dạng

$$J_0 \frac{d\bar{\omega}}{dt} = M_{dt}^0 + M_c^0 \quad (3.13)$$

Vậy vận tốc góc $\bar{\omega}$ tăng ($d\bar{\omega} > 0$) hay giảm ($d\bar{\omega} < 0$) là tùy thuộc vào mômen phát động M_{dt}^0 lớn hơn hay bé hơn mômen

cản M_c^0 . Giả sử phương trình (3.7) có hai nghiệm ứng với các điểm cắt nhau của hai đường biểu diễn $M_{dt}^0(u_0, \dot{q})$ và $M_c^0(\dot{q})$ (xem hình 3.1).



Hình 3.1 Nghiệm ω_0 của (3.7).

Đầu tiên khảo sát tính ổn định của nghiệm ω_{01} (ứng với điểm A trên hình 3.1).

Giả sử do một tác nhân nào đó máy chuyển từ chế độ quay đều ω_{01} sang chế độ chuyển động ứng với ω_1 (ứng với điểm A' về phía phải) rất gần với ω_{01} . Tại điểm A' ta có $M_{dt}^0 > -M_c^0$, tức $\Delta\bar{\omega} > 0$. Do đó $\bar{\omega}$ sẽ tăng và điểm A' tiếp tục rời xa A về phía phải. Nếu máy chuyển sang chế độ chuyển động ứng với ω_1'' rất gần ω_{01} (ứng với điểm A'' ở bên trái của A) thì tại A'' ta có $M_{dt}^0 < -M_c^0$, tức $\Delta\bar{\omega} < 0$. Do đó $\bar{\omega}$ sẽ giảm và điểm A'' tiếp tục rời xa A về phía trái. Như vậy dù kích động khá bé, chỉ đủ để chuyển động của máy sai lệch rất ít với chế độ chuyển động ω_{01} , thì chuyển động của máy ngày càng lệch xa với chế độ chuyển động ω_{01} . Vậy nghiệm ω_{01} là không ổn định.

Ngược lại tình hình sẽ hoàn toàn khác với chế độ chuyển động ứng với ω_{02} (ứng với điểm B trên hình 3.1). Rõ ràng khi máy chuyển sang chế độ ứng với ω_2' (ứng với điểm B' nằm bên phải điểm B), tại điểm B' ta có $M_{dt}^0 < M_c^0$, tức $\Delta \bar{\omega} < 0$ và do đó $\bar{\omega}$ sẽ giảm và điểm B' tiến lại gần điểm B. Nếu máy chuyển sang chế độ chuyển động ứng với ω_2'' (ứng với điểm B'' ở bên trái của B) thì tại B'' ta có $M_{dt}^0 > M_c^0$, tức $\Delta \bar{\omega} > 0$. Do đó $\bar{\omega}$ sẽ tăng và điểm B'' tiến gần đến B. Máy sẽ lập lại chuyển động ngày càng gần chế độ chuyển động ω_{02} . Nói khác đi ω_{02} là nghiệm ổn định. Như vậy máy sẽ làm việc với chế độ bình ổn ω_{02} .

b. Điều kiện giải tích của ổn định của nghiệm của phương trình (3.13)

Đưa vào đại lượng $v(t)$ đặc trưng cho độ lệch của chuyển động đối với chế độ bình ổn $\omega_0 = \text{const}$.

$$\dot{q}(t) = \omega_0 + v(t) \quad (3.14)$$

Như vậy $v(t)$ là biến phân của nghiệm.

Từ (3.14) ta có $\ddot{q} = \dot{v}$

Phương trình (3.13) trong gần đúng thứ nhất (tức bỏ qua các số hạng từ bình phương trở lên) có dạng:

$$\begin{aligned} J_0 \dot{v} &= M_{dt}^0(u_0, \omega_0 + v) + M_c^0(\omega_0 + v) \\ &= M_{dt}^0(u_0, \omega_0) + \frac{dM_{dt}^0}{dq}(u_0, \omega_0)v + M_c^0(\omega_0) + \frac{dM_c^0}{dq}(\omega_0)v \end{aligned}$$

Vì ω_0 là nghiệm của phương trình (3.7) nên ta có:

$$J_0 \dot{v} = \left[\frac{dM_{dt}^0}{dq}(u_0, \omega_0) + \frac{dM_c^0}{dq}(\omega_0) \right] v \quad (3.15)$$

Theo (1-15)

$$s = -\frac{dM_d^0}{dq}(u_0, \omega_0) \quad (3.16)$$

s là độ cong của đặc tuyến động cơ khi $\dot{q} = \omega_0$.

$$v = -\frac{dM_c^0}{dq}(\omega_0) \quad (3.17)$$

v là độ cong của đặc tuyến của mômen cân trung bình khi $\dot{q} = \omega_0$.
Do đó phương trình (3.15) có thể viết như sau

$$J_0 \dot{v} + (s + v)v = 0 \quad (3.18)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình (3.18) có dạng

$$v = C e^{\sigma t} \quad \text{với } \sigma = (s + v)/J_0 \quad (3.19)$$

Nếu $\sigma < 0$ thì $v \rightarrow 0$ khi t tăng, tức nghiệm $\dot{q} = \omega_0$ không ổn định.

Nếu $\sigma > 0$ thì $v \rightarrow \infty$ khi t tăng. Vậy $\dot{q} = \omega_0$ là nghiệm ổn định.

Do đó điều kiện để chế độ chuyển động bình ổn ứng với $\dot{q} = \omega_0$ ổn định sẽ là:

$$s + v > 0 \quad (3.20)$$

2.3 Độ nhảy của quá trình bình ổn

Để đánh giá sự thay đổi của ω_0 khi các lực cản thay đổi người ta đưa vào hệ số nhảy α được xác định như sau

$$\alpha = \lim_{\Delta M \rightarrow 0} - \frac{\Delta \omega_0}{\Delta M} \quad (3.21)$$

ở đây $\Delta \omega_0$ là gia số của vận tốc góc ω_0 ứng với gia số ΔM của lực cản.

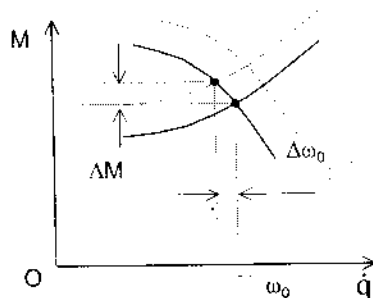
Với cùng một lượng thay đổi tải ΔM , nếu độ nhảy lớn thì biến đổi vận tốc góc lớn. Máy có độ nhảy bé thì độ ổn định của chuyển động bình ổn được xét càng tốt. Do đó độ nhảy là một trong các chỉ số quan trọng nhất để đánh giá chất lượng của chế độ chuyển động bình ổn.

Từ hình 3.2 dễ dàng nhận được:

$$\Delta \omega_0 \approx - \Delta M / (s + v)$$

$$\text{Do đó} \quad \alpha = \lim_{\Delta M \rightarrow 0} - \frac{\Delta \omega_0}{\Delta M} = \frac{1}{s + v} \quad (3.22)$$

Hệ số nhảy α còn được gọi là độ nhảy do tải thay đổi của chế độ bình ổn được khảo sát.



Hình 3.2 Xác định độ nhảy α

Một trong những biện pháp để giảm độ nhảy là dùng bộ điều tốc: khi tải thay đổi làm giảm vận tốc góc thì bộ điều tốc sẽ làm tăng giá trị thông số đầu vào động cơ và do đó làm thay đổi đặc tuyến của nó (ứng với đường nét đứt trên hình 3.2). Nhờ đó khôi phục được giá trị yêu cầu của vận tốc góc.

Một biện pháp khác làm giảm độ nhảy là lắp vào động cơ một hộp tốc độ. Khi tăng mômen cản thì tỉ số truyền tăng và làm tăng mômen phát động ở trục ra của cơ cấu truyền.

2.4 Xây dựng nghiệm trong gần đúng thứ nhất

Giả sử ω_0 là nghiệm gần đúng bậc "0" ổn định, bằng việc thay $\dot{\varphi} = \omega_0 t$, $\ddot{\varphi} = \omega_0$, $\ddot{\varphi} = 0$ vào vế phải của phương trình (3.4) ta nhận được biểu thức $L(t)$ dạng (3.9). Đại lượng này như đã biết, nếu triệt tiêu thì máy quay đều. Như vậy đại lượng này là kích động gây nên chuyển động không quay đều của máy.

Phân tích đại lượng này thành 2 thành phần :

+ Thành phần gây nên do tham số và quá trình hoạt động của động cơ:

$$L_d(t) = -\frac{1}{2} \frac{d}{dq} \tilde{J}_d(\omega_0 t) \omega_0^2 + \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0) \quad (3.23)$$

+ Thành phần gây nên do cơ cấu chấp hành và quá trình công tác:

$$L_c(t) = -\frac{1}{2} \frac{d}{dq} \tilde{J}_c(\omega_0 t) \omega_0^2 + \tilde{M}_c(\omega_0 t, \omega_0) \quad (3.24)$$

Trong trường hợp động cơ rôto thì $L_d(t) \equiv 0$, còn trong trường hợp tổng quát $L_d(t)$ là hàm tuần hoàn với chu kỳ $T = 2\pi/\omega_0$ không chứa thành phần hằng. Trong trường hợp này nó có thể được biểu diễn trong dạng chuỗi Fourier:

$$L_d(t) = \sum_{r=1}^{\infty} L_{dr} \cos(r\omega_0 t + \alpha_r) \quad (3.25)$$

Hàm $L_c(t)$ là hàm tuần hoàn có chu kỳ $T' = 2\pi/v$, ở đây v - vận tốc góc của khâu vào của cơ cấu chấp hành. Dễ dàng chỉ ra rằng

$$T' = T.i \quad (3.26)$$

trong đó $i = \omega_0/v$ là tỉ số truyền động.

Hàm $L_c(t)$ cũng có thể được biểu diễn trong dạng chuỗi Fourier

$$L_c(t) = \sum_{l=1}^{\infty} L_{cl} \cos(l\omega_0 t + \beta_l) \quad (3.27)$$

Giả thiết rằng chuyển động quay không đều được khảo sát khác rất ít so với chuyển động quay đều ω_0 , tức \dot{q} thay đổi lân cận ω_0 . Trong trường hợp như vậy, ta có

$$\begin{aligned} M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) &\approx M_{dt}^0(u_0, \omega_0) + \frac{dM_{dt}^0}{d\dot{q}}(u_0, \omega_0)(\dot{q} - \omega_0) = \\ &= M_{dt}^0(u_0, \omega_0) - s(\dot{q} - \omega_0) \end{aligned} \quad (3.28)$$

$$\begin{aligned} M_c^0(\dot{q}) &\approx M_c^0(\omega_0) + \frac{dM_c^0}{d\dot{q}}(\omega_0)(\dot{q} - \omega_0) = \\ &= M_c^0(\omega_0) - v(\dot{q} - \omega_0) \end{aligned} \quad (3.29)$$

Các biểu thức (3.28), (3.29) là biểu thức tuyến tính hoá của mômen phát động và mômen cản. Điều đó tương đương với việc thay thế các đặc tuyến của động cơ và của mômen cản trung bình tại ω_0 bằng các đoạn thẳng tiếp tuyến với các đặc tuyến tại ω_0 .

Phương trình chuyển động của máy (3.10) bây giờ được viết trong dạng:

$$\begin{aligned} J_0 \ddot{q} - M_{dt}^0(u_0, \omega_0) + s(\dot{q} - \omega_0) - M_{dt}^0(u_0, \omega_0) + v(\dot{q} - \omega_0) = \\ = L_d(t) + L_c(t) \end{aligned} \quad (3.30)$$

Để đánh giá độ lệch của chuyển động khảo sát so với chuyển động quay đều ω_0 ta đưa vào biến mới ψ

$$\psi = q - \omega_0 t \quad \dot{\psi} = \dot{q} - \omega_0 \quad \ddot{\psi} = \ddot{q} \quad (3.31)$$

Nếu xem chuyển động quay đều ω_0 là chuyển động chương trình thì ψ được xem là sai số động lực theo góc quay, còn $\dot{\psi}$ được xem là sai số động lực theo vận tốc góc. Khi chú ý rằng ω_0 là nghiệm của phương trình (3.7) nên (3.30) lấy dạng:

$$J_0 \ddot{\psi} + (s + v)\dot{\psi} = L_d(t) + L_c(t) \quad (3.32)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình (3.32) gồm tổng của nghiệm tổng quát của phương trình không vế phải và nghiệm riêng của phương

trình có vẻ phải. Vì ω_0 là nghiệm ổn định nên có (3.20) và do đó nghiệm tổng quát của phương trình không vẻ phải tắt dần theo thời gian.

Để tìm nghiệm riêng của phương trình (3.32) ta sử dụng phương pháp toán tử Laplace. Trong dạng toán tử, phương trình (3.32) có thể viết:

$$[J_0 p^2 + (s + v)p]\psi = L_d(t) + L_c(t) \quad (3.33)$$

ở đây $p \equiv \frac{d}{dt}$ và $p^2 \equiv \frac{d^2}{dt^2}$.

Từ (3.33) ta tìm được

$$\psi(p) = W_\psi [L_d(t) + L_c(t)] \quad (3.34)$$

$$W_\psi(p) = \frac{1}{J_0 p^2 + (s + v)p} \quad (3.35)$$

$W_\psi(p)$ được gọi là hàm truyền.

Vì vẻ phải của phương trình (3.33) có thể được viết trong dạng (3.25) và (3.27) nên có thể tìm nghiệm của nó trong dạng chuỗi các hàm điều hoà, ứng với một thành phần điều hoà có tần số ω , nghiệm được tìm trong dạng:

$$\psi = A_\psi \sin \varphi \quad (3.36)$$

trong đó

$$|W_\psi(j\omega)| = \left| \frac{1}{-J_0 \omega^2 + (s + v)j\omega} \right| = \frac{1}{\omega \sqrt{J_0^2 \omega^2 + (s + v)^2}} \quad (3.37)$$

còn

$$\varphi = \omega t + \alpha_\psi; \quad \alpha_\psi = \arg W_\psi(j\omega)$$

Để dàng nhận được:

$$\alpha_\psi(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{s + v}{\sqrt{J_0^2 \omega^2 + (s + v)^2}} \quad (3.38)$$

Vậy nghiệm của (3.32) là:

$$\psi = \sum_{r=1}^{\infty} \frac{L_{dr} \cos(r\omega_0 t + \gamma_r)}{r\omega_0 \sqrt{J_0^2 r^2 \omega_0^2 + (s + v)^2}} + \sum_{r=1}^{\infty} \frac{L_{cr} \cos(lvt + \delta_1)}{lv \sqrt{J_0^2 l^2 v^2 + (s + v)^2}} \quad (3.39)$$

ở đây

$$\gamma_r = \alpha_r + \arg W_\psi(jr\omega_0); \quad \delta_1 = \beta_1 + \arg W_\psi(jlv) \quad (3.40)$$

Như vậy nghiệm trong xấp xỉ thứ nhất sẽ là:

$$q^{(1)} = \omega_0 t + \psi(t) \quad (3.41)$$

Trong nhiều trường hợp (3.41) thoả mãn yêu cầu của kỹ thuật.

2.5 Sai số động lực

Đại lượng ψ theo (3.39) có thể được xem là sai số động lực của góc định vị đối với chế độ quay đều ω_0 . Còn sai số động lực về vận tốc góc sẽ là

$$\dot{\psi} = - \sum_{r=1}^{\infty} \frac{L_{dr} \sin(r\omega_0 t + \gamma_r)}{\sqrt{J_0^2 r^2 \omega_0^2 + (s+v)^2}} - \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl} \sin(lvt + \delta_l)}{\sqrt{J_0^2 l^2 v^2 + (s+v)^2}} \quad (3.42)$$

Các sai số động lực được tính theo (3.39) và (3.42) mặc dù được tính theo xấp xỉ thứ nhất nhưng trong thực tế kỹ thuật chúng được xem là đủ chính xác. Do đó không cần phải tính theo xấp xỉ thứ hai vì các chuỗi Fourier trong (3.39) và (3.42) hội tụ rất nhanh do các đại lượng L_{dr} và L_{cl} giảm khi các chỉ số r và l tăng. Hơn nữa trong mẫu số của các biểu thức của (3.39) và (3.42) chứa các chỉ số r và l .

Trong một số trường hợp trong các biểu thức (3.39) và (3.42) chỉ cần giữ lại các điều hoà đầu tiên hoặc chỉ hai điều hoà đầu tiên.

Trong kỹ thuật cần thiết phải khống chế các sai số động lực. Nhằm mục đích này người ta đưa ra hệ số không đều cho phép

$$\eta = \frac{\dot{\psi}_{\max} - \dot{\psi}_{\min}}{\omega_0} \quad (3.43)$$

Trong trường hợp nguồn kích động chỉ do cơ cấu chấp hành $[L_d(t) = 0]$ và trong (3.42) chỉ giữ lại điều hoà đầu tiên, tức

$$\dot{\psi}(t) = - \frac{L_{cl} \sin(vt + \delta_1)}{\sqrt{J_0^2 v^2 + (s+v)^2}}$$

$$\text{thì} \quad \eta = \frac{2L_{cl}}{\omega_0 \sqrt{J_0^2 v^2 + (s+v)^2}} \quad (3.44)$$

Từ (3.44) tính được mômen quán tính J_0 cần thiết ứng với hệ số không đều cho phép η :

$$J_0 \geq \frac{1}{v} \sqrt{\frac{4L_{\text{đ}}^2}{\omega_0^2 \eta^2} - (s+v)^2} \quad (3.45)$$

Trong trường hợp tổng quát việc xác định hệ số không đều trong chuyển động bình ổn của máy là rất phức tạp do các lệch pha γ_i và δ_i . Để tránh điều này người ta đưa ra chỉ số khác để đánh giá độ không đều của chuyển động không phụ thuộc vào pha, ví dụ, tỉ số giữa giá trị bình phương trung bình của ψ và ω_0 .

Thực tế tính toán cho thấy rằng độ chính xác của nghiệm trong xấp xỉ thứ nhất được đảm bảo với các giá trị của hệ số không đều không vượt quá 0,2-0,25. Sai số tương đối của hệ số không đều gần bằng giá trị của hệ số này. Ví dụ, trong gần đúng thứ nhất tính được $\eta = 0,2$ thì có thể chấp nhận trong thực tế có thể lấy η trong phạm vi từ $\eta = (0,2 - 0,2, 0,2) = 0,16$ đến $\eta = (0,2 + 0,2, 0,2) = 0,24$.

Thực tế cũng cho thấy rằng chỉ trong trường hợp lực cản có ích có đặc trưng xung (trong máy ép, máy búa...) thì mới cần thiết kể đến các điều hoà bậc cao (bắt đầu từ bậc 4).

Để giảm sai số động lực về vận tốc có thể tăng thành phần không đổi J_0 của mômen quán tính của máy bằng cách lắp vô lăng ở trục ra của động cơ, ví dụ theo công thức (3.45). Cũng có thể giảm sai số động lực về vận tốc góc bằng con đường giảm độ nhạy $\alpha = (s+v)^{-1}$ của máy, ví dụ tăng độ cong của đặc tuyến động cơ.

Cần vạch thêm rằng độ không đều của khâu ra động cơ không ảnh hưởng đến các máy làm việc có chu kỳ. Ảnh hưởng quan trọng của nó là gây nên tải thay đổi trong cơ cấu, mà nguy hiểm nhất là đối với cơ cấu truyền. Ngoài ra nó có ảnh hưởng xấu đến chế độ làm việc của động cơ vì nó gây nên thành phần biến thiên của mômen phát động, làm giảm hiệu suất của động cơ. Độ quay không đều của rôto của động cơ và chuyển động quay của vô lăng lắp trên trục động cơ có thể làm tăng các thành phần biến đổi của mômen tác dụng lên vỏ và nền. Vì vậy dùng biện pháp nào để giảm độ không đều cần phải dựa trên hiệu quả của phương pháp đối với việc giảm thành phần biến thiên của mômen động cơ và của cơ cấu truyền.

2.6 Xác định mômen phát động lớn nhất

Đối với máy không điều khiển ($u = u_0 = \text{const}$) biểu thức của mômen động cơ (2-19) kết hợp với (3.28) có thể được viết trong dạng

$$\begin{aligned} M_d(t) &= M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) + \tilde{M}_{dt}(u_0, q, \dot{q}) \approx \\ &\approx M_{dt}^0(u_0, \omega_0) + s\dot{\psi} + \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0) \\ &\approx M_{dt}^0(u_0, \omega_0) + s \left[\sum_{r=1}^{\infty} \frac{L_{dr} \sin(r\omega_0 t + \gamma_r)}{\sqrt{J_0^2 r^2 \omega_0^2 + (s+v)^2}} + \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl} \sin(lvt + \delta_l)}{\sqrt{J_0^2 l^2 v^2 + (s+v)^2}} \right] + \\ &+ \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0) \end{aligned} \quad (3.46)$$

Vậy

$$M_d(t) = M_0 + \tilde{M}_d(t) \quad (3.47)$$

ở đây $M_0 \equiv M_{dt}^0(u_0, \omega_0) \quad (3.48)$

$$\begin{aligned} \tilde{M}_d &\equiv s \left[\sum_{r=1}^{\infty} \frac{L_{dr} \sin(r\omega_0 t + \gamma_r)}{\sqrt{J_0^2 r^2 \omega_0^2 + (s+v)^2}} + \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl} \sin(lvt + \delta_l)}{\sqrt{J_0^2 l^2 v^2 + (s+v)^2}} \right] + \\ &+ \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0) \end{aligned} \quad (3.49)$$

Như vậy mômen phát động gồm thành phần hằng M_0 có biểu thức (3.48) và thành phần biến thiên (3.49). Việc làm giảm thành phần biến thiên (3.49) là điều rất quan trọng đối với động cơ rôto, đặc biệt đối với động cơ điện. Trong trường hợp $L_{dr} \equiv 0$, $\tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0) \equiv 0$, ta có

$$\tilde{M}_d = s\dot{\psi} = s \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl} \sin(lvt + \delta_l)}{\sqrt{J_0^2 l^2 v^2 + (s+v)^2}} \quad (3.50)$$

Từ (3.50) nhận thấy rằng việc tăng J_0 dẫn đến việc giảm thành phần biến thiên của mômen phát động và do đó làm tốt lên chế độ làm việc của động cơ. Còn việc tăng độ cong s của đặc tuyến động cơ sẽ làm tăng thành phần biến thiên của mômen phát động và sẽ làm xấu đi chế độ làm việc của động cơ.

Trong các lý lịch của động cơ có cho các đại lượng như mômen phát động định mức và cho phép. Nếu xuất phát từ mômen định mức và lấy mômen định mức là $M_0 \equiv M_{dt}^0(u_0, \omega_0)$ và yêu cầu quá tải không được lớn hơn hai lần mômen định mức thì cần phải thực hiện điều kiện

$$\left| \tilde{M}_d \right|_{\max} \leq M_{dt}^0(u_0, \omega_0) \quad (3.51)$$

2.7 Ảnh hưởng của độ không đều của chuyển động quay đối với việc tiêu hao công suất của động cơ

Xét trường hợp động cơ điện rôto của dòng điện một chiều với kích động độc lập. Đối với trường hợp này theo (1-24) ta có:

$$I = \frac{M_d}{k\phi} = \frac{1}{k\phi} [M_{dt}^0 + \tilde{M}_{dt}(t)]$$

Vậy công suất trung bình tiêu hao trong một chu trình là:

$$\begin{aligned} (\tilde{W}_{th})_{tb} &= \frac{1}{T} \int_0^T RI^2 dt = \frac{v}{2\pi} \int_0^{2\pi/v} RI^2 dt = \frac{R}{k^2 \phi^2} \frac{v}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi/v} M_d^2 dt = \\ &= \frac{1}{s} \left\{ [M_{dt}^0(u_0, \omega_0)]^2 + 2M_{dt}^0 \frac{v}{2\pi} \int_0^{2\pi/v} \tilde{M}_{dt}(t) dt + \frac{v}{2\pi} \int_0^{2\pi/v} \tilde{M}_{dt}^2(t) dt \right\} \end{aligned}$$

Số hạng đầu $\frac{1}{s} [M_{dt}^0(u_0, \omega_0)]^2$ là công suất tiêu hao cho chế độ quay đều của rôto, số hạng thứ hai bị triệt tiêu do nó không chứa thành phần hằng. Khi thay $\tilde{M}_d(t)$ bằng biểu thức (3.50) ta nhận được

$$(\tilde{W}_{th})_{tb} = \frac{1}{s} \frac{v}{2\pi} \int_0^{2\pi/v} \tilde{M}_{dt}^2 dt = s \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl}^2}{2[J_0^2 l^2 v^2 + (s + v)^2]} \quad (3.52)$$

Công suất động cơ được cấp sẽ bằng:

$$W_c = M_{dt}^0 \omega_k$$

ở đây ω_k - vận tốc góc của hành trình không tải của động cơ.

Vậy hệ số tổn thất sẽ là:

$$\tilde{\xi} = \frac{(\tilde{W}_{th})_{tb}}{W_c} = \frac{(\tilde{W}_{th})_{tb}}{M_{dt}^0 \omega_k} \quad (3.53)$$

Trong trường hợp kích động do cơ cấu chấp hành là hàm điều hoà ($L = L_{cl} \cos vt$) thì:

$$\tilde{\xi} = \frac{s \eta^2 \omega_0^2}{M_{dt}^0 \omega_k} = \eta^2 \frac{(1 - \xi_0)^2}{\xi_0} \quad (3.54)$$

ở đây ξ_0 - hệ số mất mát trong chế độ quay đều với vận tốc góc ω_0 ,

η - hệ số không đều.

Nếu $\eta = 0,1$; $\xi_0 = 0,1$ thì $\tilde{\xi}$ có thể đạt đến giá trị 0,08 tức là lượng mất mát công suất do chế độ quay không đều có thể bỏ qua được.

2.8 Tải trọng động trong cơ cấu truyền động

a. Xác định mômen động lực

Mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền M_{tr} sẽ có giá trị bằng và ngược chiều lại mômen động lực mà cơ cấu truyền tác dụng lên động cơ.

Viết phương trình vi phân chuyển động của cụm động cơ ta có

$$J_d(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{d}{dq} J_d(q)\dot{q}^2 = M_{dt}(u_0, q, \dot{q}) - M_{tr} \quad (3.55)$$

Sử dụng (2-8) và (2-9), phương trình (3.55) được viết như sau:

$$J_d^0\ddot{q} - M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) + M_{tr} = -\tilde{J}_d(q)\ddot{q} - \frac{1}{2} \frac{d\tilde{J}_d}{dq}(q)\dot{q}^2 + \tilde{M}_{dt}(u_0, q, \dot{q}) \quad (3.56)$$

Giả sử ω_0 là chế độ bình ổn ổn định. Sử dụng kết quả tuyến tính hoá biểu thức $M_{dt}^0(u_0, \dot{q})$ và trong vế phải của (3.56) thay $q = \omega_0 t$, $\dot{q} = \omega_0$, $\ddot{q} = 0$, còn trong vế trái của nó thay $\ddot{q} = \ddot{\psi}$, $\dot{q} = \omega_0 + \dot{\psi}$, phương trình (3.56) có dạng:

$$J_d^0\ddot{\psi} - M_{dt}^0(u_0, \omega_0) + s\dot{\psi} + M_{tr} = -\frac{1}{2} \frac{d\tilde{J}_d}{dq}(\omega_0 t)\omega_0^2 + \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0) \equiv L_d(t) \quad (3.57)$$

Từ đây tìm được

$$M_{tr} = M_{dt}^0(u_0, \omega_0) - J_d^0\ddot{\psi} - s\dot{\psi} + L_d(t) \quad (3.58)$$

Số hạng đầu tiên trong (3.58) là thành phần hằng của mômen truyền, nó bằng giá trị trung bình của mômen cản thu gọn (xem (3.7)), tức là:

$$M_{tr}^0 = M_{dt}^0(u_0, \omega_0) = -M_c^0(\omega_0) \quad (3.59)$$

Số hạng còn lại là thành phần biến thiên của mômen phát động tác dụng lên cơ cấu truyền. Vậy

$$\tilde{M}_{tr} = -J_d^0\ddot{\psi} - s\dot{\psi} + L_d(t) \quad (3.60)$$

Khi chú ý đến (3-34): $\psi(p) = \frac{L_d + L_c}{J_0 p^2 + (s + v)p}$

$$\dot{\psi}(p) = \frac{L_d + L_c}{J_0 p + (s + v)}; \ddot{\psi}(p) = \frac{p(L_d + L_c)}{J_0 p + (s + v)} \quad (3.61)$$

ta có

$$\begin{aligned} \tilde{M}_{tr}(p) &= -\frac{s(L_d + L_c)}{J_0 p + (s + v)} - \frac{J_{d0} p(L_d + L_c)}{J_0 p + (s + v)} + L_d(t) \\ &= \frac{v + J_{c0} p}{s + v + J_0 p} L_d - \frac{s + J_{d0} p}{s + v + J_0 p} L_c \end{aligned} \quad (3.62)$$

Vậy các hàm truyền có dạng:

$$W_{ld}(p) = \frac{v + J_{c0} p}{s + v + J_0 p}; W_{lc} = -\frac{s + J_{d0} p}{s + v + J_0 p} \quad (3.63)$$

Chúng cho biết ảnh hưởng riêng rẽ của các kích động do động cơ và cơ cấu chấp hành lên mômen truyền.

Vậy thành phần biến đổi $\tilde{M}_{tr}(t)$ của mômen truyền có dạng:

$$\begin{aligned} \tilde{M}_{tr}(t) &= \sum_{r=1}^{\infty} L_{dr} \frac{\sqrt{v^2 + J_{c0}^2 r^2 \omega_0^2}}{\sqrt{(s + v)^2 + J_0^2 r^2 \omega_0^2}} \cos(r\omega_0 t + \varepsilon_r) - \\ &- \sum_{r=1}^{\infty} L_{cl} \frac{\sqrt{s^2 + J_{d0}^2 l^2 v^2}}{\sqrt{(s + v)^2 + J_0^2 l^2 v^2}} \cos(lvt + \xi_l) \end{aligned} \quad (3.64)$$

trong đó

$$\varepsilon_r = \alpha_r + \arg W_{ld}(j\omega_0 r); \xi_l = \beta_l + \arg W_{lc}(jvl) \quad (3.65)$$

b. Ảnh hưởng của vô lăng đối với tải trọng động trong cơ cấu truyền

Từ (3.64) cho thấy khi tăng J_{d0} (cùng với lắp thêm vô lăng trên trục động cơ) sẽ giảm được thành phần của mômen truyền gây nên do kích động của động cơ.

Thực vậy từ (3.64) ta xét một thành phần điều hoà ứng với tần số ω nào đó:

$$|W_{ld}(j\omega)| = \frac{\sqrt{v^2 + J_{c0}^2 \omega^2}}{\sqrt{(s + v)^2 + J_0^2 \omega^2}} = \frac{\sqrt{v^2 + J_{c0}^2 \omega^2}}{\sqrt{(s + v)^2 + (J_{d0} + J_{c0})^2 \omega^2}} \quad (3.66)$$

sẽ giảm khi tăng J_{d0} .

Tuy nhiên cần chú ý rằng khi đó thành phần gây nên do cụm cơ cấu chấp hành trong mômen truyền có thể tăng. Thực vậy, ta xét thành phần điều hoà

$$|W_{ic}(j\omega)| = \frac{\sqrt{s^2 + J_{d0}^2 \omega^2}}{\sqrt{(s+v)^2 + (J_{d0} + J_{c0})^2 \omega^2}} \quad (3.67)$$

sẽ đạt được cực tiểu khi

$$J_{d0}^* = \frac{1}{2J_{c0}\omega^2} \left[-(2sv + v^2 + J_{c0}^2 \omega^2) + \sqrt{(2sv + v^2 + J_{c0}^2 \omega^2)^2 + 4J_{c0}^2 s^2 \omega^2} \right] \quad (3.68)$$

Trong trường hợp $v = 0$, ta có

$$J_{d0}^* = -\frac{J_{c0}}{2} + \sqrt{\frac{J_{c0}^2}{4} + \frac{s^2}{\omega^2}} \quad (3.69)$$

Như vậy khi tăng J_{d0} mà vượt quá J_{d0}^* thì mômen truyền sẽ tăng lên.

Có thể giảm thành phần gây nên do kích động của cơ cấu chấp hành trong mômen truyền bằng cách tăng J_{c0} (tức lắp thêm vô lăng trên trục ra của cơ cấu truyền). Tuy nhiên biện pháp này không hợp lý, vì trục ra của cơ cấu truyền thường rất mảnh. Hơn nữa muốn lắp trên trục ra của cơ cấu truyền vô lăng có mômen quán tính khối lượng thu gọn về trục động cơ J_{c0} thì trên trục ra của cơ cấu truyền phải lắp vô lăng có mômen quán tính khối lượng bằng $i^2 J_{c0}$ (ở đây i là tỉ số truyền).

c. Ảnh hưởng của độ cong của đặc tuyến đến mômen truyền

Đễ dàng nhận thấy rằng khi s tăng thì thành phần (3.66) trong mômen truyền sẽ giảm. Thành phần (3.67) đạt cực tiểu tại

$$s^* = \frac{1}{2v} \left\{ - \left[(v^2 + \omega^2 (J_0^2 - J_{d0}^2)) \right] + \sqrt{\left[(v^2 + \omega^2 (J_0^2 - J_{d0}^2)) \right]^2 + 4J_{d0}^2 v^2 \omega^2} \right\} \quad (3.70)$$

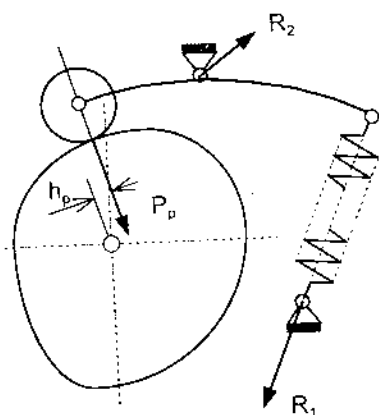
Do đó khi chọn động cơ có đặc tuyến mà độ cong của nó lớn hơn s^* thì mômen truyền sẽ tăng cùng với s . Có thể giảm mômen truyền bằng cách tăng độ cong của đặc tuyến của mômen cản. Tuy nhiên biện pháp như vậy không có ý nghĩa thực tế vì đặc tuyến của mômen cản phụ thuộc vào quá trình công tác của máy.

Như vậy việc giảm độ không đều của chuyển động trục ra của động cơ bằng biện pháp thay đổi các tham số J_0, s, \dots , cần phải chú ý đến việc đảm bảo điều kiện làm việc của cơ cấu truyền. Việc tăng tải lên cơ cấu truyền làm tăng biến dạng và kéo theo làm tăng độ không đều của chuyển động quay. Vì vậy cần chú ý đến các giá trị tối ưu J_{d0}^* và s^* được xác định theo các công thức (3.68), (3.70). Tuy nhiên các giá trị này phụ thuộc vào ω , tức phụ thuộc vào các số hạng điều hoà kích động.

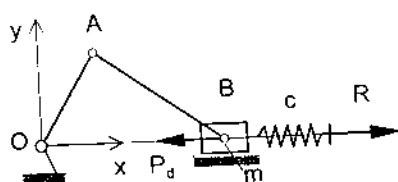
2.9 Các biện pháp làm giảm các kích động (biên độ)

Việc giảm các biên độ kích động L_{dr} và L_{cl} sẽ làm giảm các sai số động lực theo góc, vận tốc góc và cũng làm giảm tải động lực trong cơ cấu truyền. Vì vậy phương pháp này được xem là có hiệu quả nhất để cải thiện các đặc trưng động lực của máy trong chế độ bình ổn.

Theo (3.23) và (3.24) việc giảm các mômen kích động có thể đạt được bằng cách giảm thành phần biến thiên của mômen quán tính (tức $\tilde{J}_d(q), \tilde{J}_c(q)$) và của các ngẫu lực thu gọn tức $\tilde{M}_{dt}(u, q, \dot{q})$ và $\tilde{M}_c(q, \dot{q})$. Để giảm $\tilde{J}_d(q), \tilde{J}_c(q)$ cần phải giảm các khối lượng động, còn để giảm các thành phần biến thiên của các mômen lực thu gọn tức $\tilde{M}_{dt}(u, q, \dot{q})$, $\tilde{M}_c(q, \dot{q})$ có thể vượt thẳng các đặc tuyến, ví dụ, bằng con đường sử dụng động cơ nhiều kỳ. Ngoài ra có thể sử dụng các thiết bị đặc biệt. Sau đây sẽ trình bày ba trong số các thiết bị như vậy:



Hình 3.3 Cơ cấu cam



Hình 3.4 Sơ đồ đệm đàn hồi

a. Cơ cấu cam

Để giảm kích động $L_c(t)$ gây ra do vận tốc góc $\dot{\varphi}$ khâu vào của cơ cấu chấp hành ta lắp cơ cấu cam trên trục của nó. Cần hãm cơ cấu cam tạo ra ngẫu lực có mômen $M_p = P_p \cdot h_p$ được tạo nên do lò xo để cân bằng với $L_c(t)$. Bằng cách như vậy thành phần biến thiên mômen tổng sẽ triệt tiêu (hình 3.3).

b. Đệm đàn hồi

Trên hình (3.4) đưa ra một sơ đồ đệm đàn hồi. Lò xo được nối trực tiếp vào con trượt của cơ cấu tay quay - con trượt OAB. Phương trình chuyển động của pittông B sẽ là

$$x_B(t) = \sum_{l=0}^{\infty} a_l \cos(l\omega t + \alpha_l)$$

Ở đây a_l và α_l lần lượt là biên độ và pha của điều hoà thứ l .

Bỏ qua phản lực của thanh truyền AB tác dụng lên pittông, ta có

$$m\ddot{x}_B = -cx_B$$

Từ đây ta nhận được

$$ca_0 \cos \alpha_0 + \sum_{l=1}^{\infty} (c - mv^2 l^2) a_l \cos(lvt + \alpha_l) = 0$$

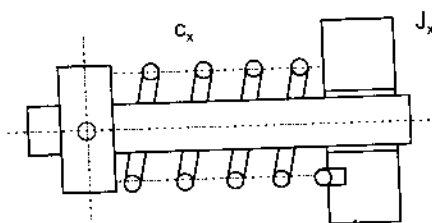
Như vậy lò xo đã tạo nên lực đỡ tải

$$P_p = c \sum_{l=0}^{\infty} a_l \cos(lvt + \alpha_l)$$

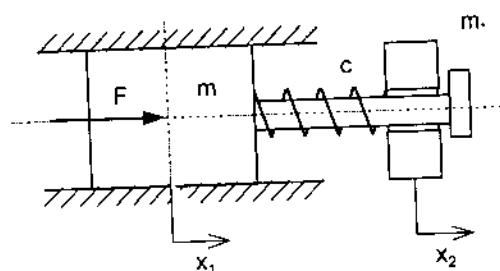
Bằng cách chọn lò xo có độ cứng $c = mv^2 l^2$, với l là một số nguyên nào đó, có thể khử thành phần điều hoà thứ l . Thông thường chỉ cần khử thành phần điều hoà đầu tiên $l = 1$, tức chọn $c = mv^2$.

c. Bộ tắt chấn động lực

Việc sử dụng giảm tải bằng cơ cấu cam và đệm đàn hồi có thể làm tăng tải truyền lên vỏ máy. Để khắc phục điều này có thể sử dụng bộ tắt chấn gồm khối lượng phụ lắp vào khâu ra của cơ cấu truyền và lò xo có độ cứng c_p . Trong trường hợp khâu quay thì lắp khối lượng quay có mômen quán tính J_x và lò xo xoắn có độ cứng c_x , còn đối với khâu tịnh tiến thì lắp khối lượng phụ m_p và lò xo thẳng có độ cứng c .



Hình 3.5 Khâu quay



Hình 3.6 Khâu tịnh tiến

Đầu tiên khảo sát trường hợp khâu quay (hình 3.5). Phương trình chuyển động của máy bây giờ sẽ là:

$$J_0 \ddot{\psi} + (s + v) \dot{\psi} = L_d(t) + L_c(t) + c_x \theta \quad (3.71)$$

ở đây θ là góc xoay của khối lượng phụ đối với trục ra của cơ cấu truyền.

Phương trình chuyển động của khối lượng phụ có dạng

$$J_x (\ddot{\psi} + \ddot{\theta}) = -c_x \theta \quad (3.72)$$

Các phương trình (3.71) và (3.72) được viết trong dạng toán tử như sau

$$\begin{aligned} [J_0 p^2 + (s + v)p]\psi - c_x \theta &= L_d(t) + L_c(t) = L(t) \\ J_x p^2 \psi + (J_x p^2 + c_x)\theta &= 0 \end{aligned}$$

Biểu thức sai số động lực về góc trong dạng toán tử có dạng

$$\psi(p) = \frac{J_x p^2 + c_x}{[J_0 p^2 + (s + v)p](J_x p^2 + c_x) + J_x c_x p^2} L = W_\psi^*(p) L$$

Để khử sai số động lực ψ ứng với điều hoà có tần số ω cần làm cho biên độ của nó triệt tiêu, tức

$$|W_\psi(j\omega)| = \frac{|c_x - J_x \omega^2|}{|[(s + v)j\omega - J_0 \omega^2](c_x - J_x \omega^2) - J_x c_x \omega^2 |} = 0$$

Điều này đạt được khi chọn $c_x = J_x \omega^2$. Như vậy nhờ tắt chấn động lực sẽ tắt được thành phần điều hoà ω của kích động. Lẽ tất nhiên bộ tắt chấn động lực không thể dập tắt hoàn toàn kích động động lực. Thậm chí khi bộ tắt chấn làm giảm đáng kể tải động lực tác dụng lên cơ cấu truyền thì lại có khả năng làm tăng dao động của bản thân nó.

Bộ tắt chấn động lực chỉ có hiệu quả chỉ khi có một thành phần điều hoà nào đó át hẳn các thành phần điều hoà khác.

Trong trường hợp khâu tịnh tiến (hình 3.6) dưới tác dụng của lực F ta có

$$m\ddot{x}_1 = F - c(x_1 - x_2) \quad (3.73)$$

$$m_p \ddot{x}_2 = c(x_1 - x_2) \quad (3.74)$$

Chúng có thể được viết trong dạng toán tử

$$(mp^2 + c)x_1 - cx_2 = F$$

$$cx_1 - (m_p p^2 + c)x_2 = 0$$

Từ đây

$$x_1 = \frac{(m_p p^2 + c)F}{mm_p p^4 + c(m + m_p)p^2}; x_2 = \frac{cF}{mm_p p^4 + c(m + m_p)p^2}$$

Vậy

$$F = \frac{mm_p p^4 + c(m + m_p)p^2}{m_p p^2 + c} x_1$$

Khi pittông chuyển động theo luật $x = a \cos \omega t$, ta chọn $\frac{c(m + m_p)}{mm_p} = \omega^2$ thì $F = 0$.

Chú ý:

+ Các biện pháp nêu trên có hiệu quả cao nhất chỉ khi vận tốc góc trung bình ω_0 là không đổi.

+ Do ma sát khi sử dụng các biện pháp trên có thể xuất hiện thêm các mômen cản ma sát và do đó làm tăng thêm tải đối với động cơ.

+ Cần phải đặt thiết bị giảm tải và tắt chấn động lực càng gần nguồn kích động càng tốt. Trong trường hợp ngược lại xích động nằm giữa nguồn kích động và thiết bị được lắp thêm chịu toàn bộ tải $L(t)$.

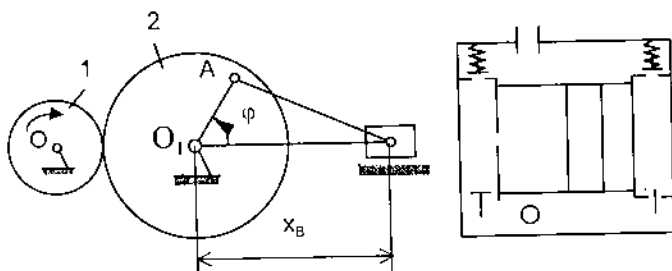
Thí dụ 3.1:

Tính toán các thông số đặc tuyến của quá trình bình ổn của một máy nén khí hai kỳ có sơ đồ cho trên hình vẽ 3.7.

Chuyển động của pittông 3 được truyền nhờ động cơ qua truyền động cặp bánh răng 1-2 có tỉ số truyền $i = 2$ và cơ cấu tay quay - con trượt O_1AB . Cơ cấu chấp hành có mômen quán tính khối lượng và mômen cản thu gọn về trục quay O_1 được tính theo công thức như sau:

$$J_c = 0,538 + 0,008 \cos \varphi \text{ kgm}^2; M_c = -90,58 - 17,41 \cos \varphi - 6,49 \sin \varphi \text{ Nm}$$

Các thông số của động cơ được cho như sau: công suất định mức $W_{dm} = 7000 \text{ W}$, tốc độ định mức $n_{dm} = 960 \text{ vòng/phút}$, tốc độ chạy trơn $n_* = 1000 \text{ vòng/phút}$.



Hình 3.7 Sơ đồ cho thí dụ 3.1

Mômen quán tính khối lượng của động cơ cùng với các chi tiết lắp trên nó là $J_{00} = 0,576 \text{ kGm}^2$.

Hãy xác định :

- Đặc tuyến tính của động cơ (dạng tuyến tính)
- Vận tốc góc của động cơ và tay quay O_1A trong chế độ bình ổn (xấp xỉ không)
- Sai số động lực trong gần đúng thứ nhất.
- Mômen động lực trong cơ cấu truyền động.

Đặc tuyến của động cơ

$$M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) = M_{dt}^0(u_0, \omega_{dm}) - s(\dot{q} - \omega_{dm})$$

trong đó $M_{dt}^0(u_0, \omega_{dm})$ là mômen định mức của động cơ.

Đầu tiên tính vận tốc góc định mức ω_{dm} và vận tốc góc không tải ω_* của động cơ

$$\omega_{dm} = \frac{\pi n_{dm}}{30} = 100,33s^{-1}; \omega_* = \frac{\pi n_*}{30} = 104,72s^{-1}$$

Từ đây tính được mômen định mức của động cơ

$$M_{dt}^0(u_0, \omega_{dm}) = \frac{W_{dm}}{\omega_{dm}} = 69,63Nm$$

Trong hành trình chạy không tải mômen động cơ bằng không. Do đó:

$$M_{dt}^0(u_0, \omega_{dm}) - s(\omega_* - \omega_{dm}) = 0$$

$$\text{Từ đây} \quad s = \frac{M_{dt}^0(u_0, \omega_{dm})}{\omega_* - \omega_{dm}} = \frac{69,63}{4,19} = 16,62Nms$$

Đặc tuyến tính của động cơ sẽ có dạng

$$M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) = 69,63 - 16,62(\dot{q} - 100,33)Nm$$

Vận tốc góc trung bình ω_0 của trục động cơ.

Dựa vào công thức (3.7), ta có:

$$M_{dt}^0(u_0, \omega_{dm}) - s(\dot{q} - \omega_{dm}) = \frac{M_c^0}{i}$$

$$\text{Từ đây } \omega_0 = \omega_{dm} + \frac{1}{s} \left[M_{dt}^0(u_0, \omega_{dm}) + \frac{M_c^0}{i} \right] = 102 s^{-1}$$

Vận tốc góc trung bình v của tay quay O_1A $v = \omega_0 i^{-1} = 51 s^{-1}$.

Mômen kích động

Theo công thức:

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{1}{i} \left[(M_{cl} - 0,5J_{cl}v^2) \cos vt + (M_{sl} + 0,5J_{cl}v^2) \sin vt \right] = \\ &= -8,705 \cos 51t + 85,84 \sin 51t = 86,27 \sin(51t - 0,101) \end{aligned}$$

Sai số động lực

Theo công thức:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \frac{L_{cl}}{v \sqrt{J_0^2 v^2 + s^2}} \cos(vt + \delta_1) = 0,029 \cos(51t - 0,10091) \\ \dot{\psi}_1 &= -\frac{L_{cl}}{\sqrt{J_0^2 v^2 + s^2}} \sin(vt + \delta_1) = -1,479 \sin(51t - 0,10091) \end{aligned}$$

Mômen động lực trong cơ cấu truyền

Theo công thức:

$$\tilde{M}_u = -\frac{\sqrt{J_{dt}^2 v^2 + s^2}}{\sqrt{J_0^2 v^2 + s^2}} L_{cl} \cos(vt + \xi_1) = -49,17 \cos(51t + 0,029)$$

3. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI ĐỘNG CƠ CÓ ĐẶC Tuyến ĐỘNG LỰC

3.1 Xác định chế độ bình ổn

Trong trường hợp không thể bỏ qua được tốc độ thay đổi theo thời gian của mômen động cơ, tức dM_e/dt có giá trị đáng kể thì cần sử dụng mô hình máy với động cơ có đặc tuyến động lực. Trường hợp này trong phương trình chuyển động của máy (2.18) mômen động cơ là đại lượng chưa có biểu thức xác định, chỉ biết nó thoả mãn phương trình (2.28).

Phương trình chuyển động của máy phù hợp với (2.27) và (2.28) bây giờ sẽ là :

$$\left[J_0 + \tilde{J}_d(q) + \tilde{J}_c(q) \right] \ddot{q} + \frac{1}{2} \left[\frac{d}{dq} \tilde{J}_d(q) + \frac{d}{dq} \tilde{J}_c(q) \right] \dot{q}^2 = M_d + M_c(q, \dot{q})$$

$$\tau \dot{M}_d + M_d = M_{dt}(u_0, q, \dot{q})$$

Ở đây $M_c(q, \dot{q})$ là mômen cản thu gọn về trục động cơ, nó có dạng (2.14) còn $M_{dt}(u_0, q, \dot{q})$ là mômen động cơ ứng với mô hình đặc tuyến tĩnh. Khi sử dụng (2.15), (2.16), (2.17), (2.19), (2.20), phương trình chuyển động của máy có thể được viết trong dạng:

$$\left. \begin{aligned} \left[J_0 + \tilde{J}_d(q) + \tilde{J}_c(q) \right] \ddot{q} + \frac{1}{2} \left[\frac{d}{dq} \tilde{J}_d(q) + \frac{d}{dq} \tilde{J}_c(q) \right] \dot{q}^2 &= M_d + M_c^0(\dot{q}) + \tilde{M}_c(q, \dot{q}) \\ \tau \dot{M}_d + M_d &= M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) + \tilde{M}_{dt}(u_0, q, \dot{q}) \end{aligned} \right\} \quad (3.75)$$

Giả sử chuyển động của rôto trong chuyển động bình ổn khác rất ít với chuyển động quay đều. Các tác nhân làm cho rôto quay không đều là các thành phần biến thiên trong biểu thức mômen quán tính, mômen cản và mômen động cơ (đặc tuyến tĩnh). Để làm rõ điều này ta viết (3.75) trong dạng sau:

$$\left. \begin{aligned} J_0 \ddot{q} - M_d - M_c^0(\dot{q}) &= - \left[\tilde{J}_d(q) + \tilde{J}_c(q) \right] \ddot{q} - \frac{1}{2} \left[\frac{d}{dq} \tilde{J}_d(q) + \frac{d}{dq} \tilde{J}_c(q) \right] \dot{q}^2 \\ + \tilde{M}_c(q, \dot{q}) + \tau \dot{M}_d + M_d - M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) &= \tilde{M}_{dt}(u_0, q, \dot{q}) \end{aligned} \right\} \quad (3.76)$$

Vì chuyển động bình ổn khác với chế độ quay đều rất ít, do đó các số hạng của vế phải của các phương trình (3.76) chỉ đóng vai trò thứ yếu được thể hiện qua các số hạng bổ sung trong việc xác định chế độ quay bình ổn.

Phù hợp với điều đã nói ta xét hệ phương trình sau

$$\left. \begin{aligned} J_0 \ddot{q} - M_d - M_c^0(\dot{q}) &= 0 \\ \tau \dot{M}_d + M_d - M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.77)$$

nghiệm của nó sẽ cho phép xác định thành phần chủ yếu trong biểu thức vận tốc góc của chế độ bình ổn.

Hệ phương trình (3.77) có nghiệm dạng

$$\dot{q} = \omega_0 = \text{const}, \quad q = \omega_0 t, \quad M_d = M_0 = \text{const} \quad (3.78)$$

và nó được gọi là nghiệm gần đúng bậc không của hệ phương trình (3.76), trong đó các đại lượng tương ứng với chế độ bình ổn được xác định từ hệ phương trình

$$\left. \begin{aligned} M_0 + M_c^0(\omega_0) &= 0 \\ M_0 - M_{dt}^0(u_0, \omega_0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.79)$$

Từ (3.79) dễ dàng tìm được

$$M_c^0(\omega_0) + M_{dt}^0(u_0, \omega_0) = 0$$

Nó trùng với phương trình (3.7) xác định chế độ quay đều trong trường hợp động cơ có đặc tuyến tĩnh. Như vậy vận tốc góc trung bình của rôto trong gần đúng bậc không không phụ thuộc vào hằng số thời gian τ của động cơ và có giá trị như trong trường hợp động cơ có đặc tuyến tĩnh. Do đó, để xác định nghiệm trong gần đúng bậc không đầu tiên ta xác định ω_0 từ phương trình (3.7) nhờ các phương pháp đã nêu trong 2 của chương 3, còn giá trị M_0 được xác định từ biểu thức sau:

$$M_0 = M_{dt}^0(u_0, \omega_0) = -M_c^0(\omega_0) \quad (3.80)$$

3.2 Sự ổn định của nghiệm gần đúng bậc "0"

Để khảo sát sự ổn định của nghiệm của hệ phương trình (3.79) cần xét các đại lượng nhiễu v và μ_d :

$$v = \dot{q} - \omega_0; \quad \mu_d = M_d - M_0$$

Khi thay các đại lượng này vào (3.77) và chú ý đến (3.79) ta nhận được sau khi bỏ đi các vô cùng bé từ bậc hai trở lên:

$$J_0 \dot{v} + vv - \mu_d = 0; \quad \tau \dot{\mu}_d + \mu_d + sv = 0$$

Định thức đặc trưng của hệ phương trình này là:

$$\begin{vmatrix} J_0 \lambda + v & -1 \\ s & \tau \lambda + 1 \end{vmatrix} = 0$$

và phương trình đặc trưng có dạng

$$J_0 \tau \lambda^2 + (J_0 + v\tau)\lambda + s + v = 0 \quad (3.81)$$

Điều kiện ổn định tiệm cận của nghiệm (M_0, ω_0) dựa vào điều kiện Hurwitz, là các nghiệm của phương trình (3.81) có phần thực âm. Từ đó ta nhận được

$$v + s > 0; \quad J_0 + v\tau > 0 \quad (3.82)$$

Điều kiện thứ nhất trùng với (3.20) là điều kiện ổn định khi động cơ làm việc với đặc tuyến tĩnh. Điều kiện thứ hai sẽ được tự thoả mãn khi $v > 0$. Chỉ trong trường hợp $v < 0$, thì ngoài điều kiện đã nhận được trong trường hợp đặc tuyến tĩnh, cần thêm điều kiện $J_0 > |v|\tau$.

3.3 Sai số động lực

Giả sử (M_0, ω_0) là nghiệm ổn định của (3.77) và là nghiệm gần đúng bậc không của (3.76). Giả sử nghiệm của (3.76) có dạng:

$$q = \omega_0 t + \psi(t); \quad M_d = M_0 + \mu_d(t)$$

nó được xác định nhờ phương pháp gần đúng liên tiếp đã được nêu trong 2 của chương 3.

Thay (3.78) vào vế phải của (3.76) và sử dụng dạng tuyến tính của các đặc tuyến (3.28), (3.29), ta nhận được:

$$J_0 \ddot{\psi} + v\dot{\psi} - \mu_d = -\frac{1}{2} \left[\frac{d}{dq} \tilde{J}_d(\omega_0 t) + \frac{d}{dq} \tilde{J}_c(\omega_0 t) \right] \omega_0^2 + \tilde{M}_c(\omega_0 t, \omega_0)$$

$$\tau \dot{\mu}_d + \mu_d + s\dot{\psi} = \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0)$$

Chúng được viết trong dạng toán tử như sau:

$$(J_0 p^2 + vp)\psi - \mu_d = -\frac{1}{2} \left[\frac{d}{dq} \tilde{J}_d(\omega_0 t) \right] \omega_0^2 + L_c(t) \quad (3.83)$$

$$sp\psi + (\tau p + 1)\mu_d = \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0)$$

Trong đó $L_c(t)$ được tính theo (3.24).

Từ đó tính được

$$\psi = W_{11}(p)(L'_d + L_c) + W_{12}L''_d \quad (3.84)$$

$$\mu_d = W_{21}(p)(L'_d + L_c) + W_{22}L''_d$$

ở đây
$$L'_d = -\frac{1}{2} \frac{d}{dq} \tilde{J}_d(\omega_0 t) \omega_0^2; \quad L''_d = \tilde{M}_{dt}(u_0, \omega_0 t, \omega_0)$$

$$W_{11}(p) = \frac{\tau p + 1}{(J_0 p^2 + vp)(\tau p + 1) + sp}; \quad W_{12}(p) = \frac{1}{(J_0 p^2 + vp)(\tau p + 1) + sp}$$

$$W_{21}(p) = \frac{-s}{(J_0 p + v)(\tau p + 1) + s}; \quad W_{22}(p) = \frac{J_0 p + v}{(J_0 p + v)(\tau p + 1) + s}$$

Xét trường hợp kích động chỉ từ bộ phận chấp hành (tức $L'_d = L''_d = 0$)

$$\left. \begin{aligned} \psi &= W_{11}(p)L_c = \frac{\tau p + 1}{(J_0 p^2 + \nu p)(\tau p + 1) + s p} L_c \\ \dot{\psi} &= p W_{11}(p)L_c = \frac{\tau p + 1}{(J_0 p + \nu)(\tau p + 1) + s} L_c \end{aligned} \right\} \quad (3.85)$$

Khi sử dụng biểu thức (3.27) của $L_c(t)$ ta nhận được

$$\begin{aligned} \psi(t) &= \sum_{l=1}^{\infty} \frac{\sqrt{1 + \tau^2 l^2 \nu^2} L_{cl} \cos[l\nu t + \beta_l + \arg W_{11}(j\nu)]}{l\nu \sqrt{(s + \nu - J_0 \tau l^2 \nu^2)^2 + (J_0 + \nu \tau)^2 l^2 \nu^2}} \\ \dot{\psi}(t) &= - \sum_{l=1}^{\infty} \frac{\sqrt{1 + \tau^2 l^2 \nu^2} L_{cl} \sin[l\nu t + \beta_l + \arg W_{11}(j\nu)]}{\sqrt{(s + \nu - J_0 \tau l^2 \nu^2)^2 + (J_0 + \nu \tau)^2 l^2 \nu^2}} \end{aligned}$$

3.4 Đặc trưng biên độ - tần số

Khảo sát chi tiết sai số động lực về vận tốc góc qua đặc trưng biên độ - tần số:

$$A(\omega) = |j\omega W_{11}(j\omega)| = \frac{\sqrt{1 + \tau^2 \omega^2}}{\sqrt{(s + \nu - J_0 \tau \omega^2)^2 + (J_0 + \nu \tau)^2 \omega^2}}$$

Đây là tỉ số giữa biên độ của $\psi(t)$ và biên độ của thành phần điều hoà tần số ω của kích động $L_c(t)$.

$$\text{Đưa vào thông số} \quad \tau_M = \frac{J_0}{s + \nu} \quad (3.86)$$

được gọi là hằng số thời gian cơ của máy, nó có thứ nguyên thời gian. Khi đó ta nhận được

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{1 + \tau^2 \omega^2}}{(s + \nu) \sqrt{(1 - \tau \tau_M \omega^2)^2 + [\tau_M + \nu \tau (s + \nu)^{-1}]^2 \omega^2}} \quad (3.87)$$

Thông thường $\nu \tau (s + \nu)^{-1} \ll \tau_M$ nên trong (3.87) thành phần $\nu \tau (s + \nu)^{-1}$ được bỏ qua.

Đồ thị của (3.87) phụ thuộc vào tỉ số τ/τ_M , dễ dàng thấy $A(\omega)$ đạt

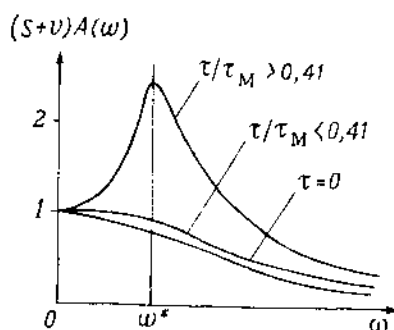
$$\text{cực trị tại: } (\omega^*)^2 = \frac{1}{\tau^2} \left(\sqrt{\frac{2\tau}{\tau_M} + \frac{\tau^2}{\tau_M^2}} - 1 \right)$$

Vì $(\omega^*)^2$ phải dương nên $\sqrt{\frac{2\tau}{\tau_M} + \frac{\tau^2}{\tau_M^2}} > 1$ tức

$$\frac{\tau}{\tau_M} > \sqrt{2} - 1 \approx 0,41$$

Trên hình 3.8 đồ thị biên độ tần số được xây dựng với các giá trị $\tau/\tau_M < 0,41$ và $\tau/\tau_M > 0,41$.

Với $\tau/\tau_M > 0,41$ các đường cong có cực đại tại $\omega = \omega^*$. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng cộng hưởng động cơ, nó chỉ có đối với đặc tuyến động lực. Có thể tính được



Hình 3.8 Biên độ tần số

$$[(s+v)A(\omega)]_{\max} = \frac{\tau_M}{\tau} \left[\left(2\sqrt{1 + 2\frac{\tau_M}{\tau}} - 2 - \frac{\tau_M}{\tau} \right) \right]^{-1/2}$$

Các giá trị $[(s+v)A(\omega)]_{\max}$ và $\omega^*\tau$ ứng với các giá trị khác nhau của τ/τ_M cho trong bảng 3.1.

Bảng 3.1

τ/τ_M	0,41	0,5	1	2	4
$\omega^*\tau$	0	0,343	0,856	1,352	1,975
$[(s+v)A(\omega)]_{\max}$	1	1,029	1,468	2,468	4,478

Sự phụ thuộc của $A(\omega)$ vào τ_M không đơn điệu. Có thể chỉ ra giá trị τ_M^* tại đó $A(\omega)$ đạt cực đại

$$\tau_M^* = \tau / (1 + \tau^2 \omega^2)$$

(trong trường hợp này, cũng như trên, bỏ qua đại lượng $v\tau/(s+v)$ trong (3.87)).

Nếu tăng τ_M nhưng vẫn bé hơn τ_M^* thì $A(\omega)$ sẽ tăng theo. Vì vậy khi tăng mômen quán tính trung bình của máy (mà $\tau_M < \tau_M^*$) thì $A(\omega)$ tăng và do đó làm tăng độ quay không đều của rôto. Như vậy việc lắp thêm vô lăng trong điều kiện vừa nêu có thể dẫn đến việc tăng độ quay không đều. Vì vậy cần lưu ý rằng việc sử dụng mô hình đặc tuyến nào (đặc tuyến tĩnh hoặc đặc tuyến động lực của động cơ) tùy thuộc vào giá

trị của đại lượng τ/τ_M . Khi $\tau/\tau_M > 0,41$ cần thiết phải sử dụng đặc tuyến động lực, nếu không sẽ vấp phải sai số lớn do có cộng hưởng động cơ.

Ngoài ra sau khi tính μ_d từ (3.84) có thể biết được nên sử dụng mô hình nào. Nếu $\tau\mu_d > \mu_d$ mà sử dụng đặc tuyến tĩnh thì sẽ phạm phải sai lầm lớn. Ngoài ra khi $L_d \equiv 0$ còn thành phần điều hoà đầu tiên trong biểu thức của kích động $L_c(t)$ rất lớn thì cũng có thể sử dụng mô hình đặc tuyến tĩnh nếu $\tau v \ll 1$.

3.5 Mômen động lực trong cơ cấu truyền

Giả thiết $L'_d = 0$, $L''_d = 0$, dựa vào (3.84) ta tính được

$$\mu_d = W_{21}(p)L_c = \frac{-s}{J_0 \tau p^2 (J_0 + v\tau)p + s + v} L_c$$

Từ phương trình chuyển động của cụm động cơ:

$$J_{d0}\ddot{\psi} = \mu_d - \tilde{M}_{tr}$$

Ta tính được thành phần biến thiên \tilde{M}_{tr} của mômen truyền:

$$\tilde{M}_{tr} = \mu_d - J_{d0}\ddot{\psi}$$

và nó được viết trong dạng toán tử như sau:

$$\tilde{M}_{tr} = \mu_d - J_{d0}p^2\psi = -\frac{s + (J_{d0}p(1 + p\tau))}{J_0 \tau p^2 + (J_0 + v\tau)p + s + v} L_c = W_{ctr}(p)L_c \quad (3.88)$$

Khi thay $L_c(t)$ từ (2.27) ta nhận được

$$\tilde{M}_{tr}(t) = \sum_{l=1}^{\infty} \frac{\sqrt{(s - J_{d0}\tau l^2 v^2)^2 + J_{d0}^2 l^2 v^2} \cos[lvt + \beta_l + \arg W_{ctr}(jl v)]}{\sqrt{(s + v - J_0 \tau l^2 v^2)^2 + (J_0 + v\tau)^2 l^2 v^2}} \quad (3.88')$$

Giả thiết $\tau_M \gg v\tau/(s + v)$. Khảo sát đặc trưng biên độ - tần số của mômen động lực trong cơ cấu truyền:

$$|W_{ctr}(j\omega)| = \frac{\sqrt{(1 - \tau\tau_d\omega^2)^2 + \tau_d^2\omega^2}}{\sqrt{(1 - \tau\tau_M\omega^2)^2 + \tau_M^2\omega^2}} \cdot \frac{s}{s + v} \quad (3.89)$$

$$\text{ở đây} \quad \tau_d = J_{d0}^0/s \quad (3.90)$$

được gọi là hằng số thời gian cơ học của động cơ.

Có thể chứng minh rằng $|W_{ctr}(j\omega)|$ đạt cực trị tại

$$\omega = \omega_{1,2}^{**} = \frac{1}{\sqrt{2\tau_M\tau_d\tau}} \left[(\tau_d + \tau_M)\tau \pm \sqrt{(\tau_d - \tau_M)^2\tau^2 + 2\tau\tau_M\tau_d(\tau_M + \tau_d)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Nghiệm bé nhất từ hai nghiệm tìm được chỉ tồn tại khi $\tau_d + \tau_M < 2\tau$ và khi $\tau_d > \tau_M$ nghiệm bé nhất ứng với cực tiểu, còn nghiệm lớn nhất ứng với cực đại của $|W_{ctr}(j\omega)|$. Khi $\tau_d < \tau_M$ chúng ta nhận được các kết quả ngược lại. Khi $\tau_d = \tau_M$ thì $|W_{ctr}(j\omega)| = s/(s + v)$.

Trên hình 3.9 đồ thị cho các đường cong biên độ - tần số của mômen động lực trong cơ cấu truyền ứng với các giá trị khác nhau của các hằng số thời gian τ_d , τ_M và τ .

Từ đồ thị ta có thể nhận trực tiếp các kết luận sau về việc giảm các mômen động lực trong cơ cấu truyền được gây nên cho cơ cấu chấp hành, tức do $L_c(t)$:

+ Mômen động lực trong cơ cấu truyền gây nên do $L_c(t)$ sẽ giảm khi $\tau_d + \tau_M > 2\tau$ và $\tau_d < \tau_M$ (ứng với trường hợp 5 và 6 trên đồ thị). Khi tăng J_{d0} thì τ_d tăng mạnh hơn τ_M nên nói chung sẽ làm tăng mômen động lực của cơ cấu truyền (ứng với các đường 2, 3, 4 trên đồ thị).

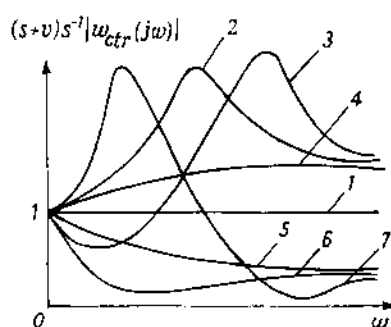
+ Khi tăng J_c sẽ làm tăng τ_M mà không làm tăng τ_d nên sẽ làm giảm \tilde{M}_{tr} . Các tính chất này đã thu được khi động cơ làm việc với đặc tuyến tĩnh. Để giảm các giá trị cực đại của $|W_{ctr}(j\omega)|$ cần chọn các τ_d và τ_M có giá trị gần nhau. Khi chúng bằng nhau thì:

$$v/s = J_{c0}/J_{d0}.$$

Nếu $\tau_d + \tau_M > 2\tau$ và $\tau_d < \tau_M$, tức $J_{d0}v < J_{c0}s$ thì với mọi giá trị của ω sẽ có:

$$|W_{ctr}(j\omega)| \leq \frac{s}{s + v}$$

Như vậy bằng cách chọn thích hợp các thông số của động cơ và của cơ cấu chấp hành có thể giảm mômen động lực trong cơ cấu truyền.



Hình 3.9 Đường cong biên độ tần số

1. $\tau_d = \tau_M$;
2. $\tau_d > \tau_M$; $\tau_d + \tau_M > 2\tau$
3. $\tau_d > \tau_M$; $\tau_d + \tau_M < 2\tau$;
4. $\tau_d > \tau_M$; $\tau = 0$
5. $\tau_d < \tau_M$; $\tau = 0$
6. $\tau_d < \tau_M$; $\tau_d + \tau_M > 2\tau$
7. $\tau_d < \tau_M$; $\tau_d + \tau_M < 2\tau$

Với các giá trị bé của τ ($2\tau < \tau_d + \tau_M$) thì điều kiện

$$v/s < J_{c0}/J_{g0} \quad (3.91)$$

có thể thực hiện bằng cách giảm J_{d0} hoặc tăng s .

Nếu kích động do cụm động cơ khác không ($L_d \neq 0$) thì để có được các tính chất như trên điều kiện (3.91) cần được lấy ngược lại.

Thí dụ 3.2:

Xác định sai số động lực theo góc, vận tốc góc và tải trọng động lực trong cơ cấu truyền của máy tổ hợp đã khảo sát ở thí dụ 3.1 trong trường hợp động cơ làm việc với đặc tuyến động lực với hằng số thời gian của động cơ $\tau = 0,05$ s.

Sử dụng các kết quả của thí dụ 3.1. Với giả thiết $v = 0$ và giữ lại 3 thành phần điều hoà đầu tiên và phù hợp với (3.85) ta nhận được:

$$\psi = \sum_{m=1}^3 \frac{\sqrt{1 + \tau^2 m^2 v^2} \left[L_{cm} \cos(mvt + \xi - \frac{\pi}{2}) + L_{sm} \sin(mvt + \xi - \frac{\pi}{2}) \right]}{mv \sqrt{(1 - \tau \tau_M m^2 v^2)^2 + \tau_M^2 m^2 v^2}}$$

$$\dot{\psi} = \sum_{m=1}^3 \frac{\sqrt{1 + \tau^2 m^2 v^2} \left[L_{cm} \cos(mvt + \xi) + L_{sm} \sin(mvt + \xi) \right]}{s \sqrt{(1 - \tau \tau_M m^2 v^2)^2 + \tau_M^2 m^2 v^2}}$$

ở đây

$$\xi = \arg[jmvW_{11}(jmv)] =$$

$$= \arccos[1 + \tau^2 m^2 v^2]^{-1} - \arccos \frac{1 - \tau \tau_M m^2 v^2}{\sqrt{(1 - \tau \tau_M m^2 v^2)^2 + \tau_M^2 m^2 v^2}}$$

Mômen trong cơ cấu truyền được tính theo công thức (3.88) khi giữ 3 số hạng điều hoà đầu tiên và lấy $v = 0$, ta có:

$$\tilde{M}_{tr} = \sum_{m=1}^3 \sqrt{\frac{(1 - \tau \tau_d m^2 v^2)^2 + \tau_d^2 m^2 v^2}{(1 - \tau \tau_M m^2 v^2)^2 + \tau_M^2 m^2 v^2}} \times$$

$$\times [L_{cm} \cos(mvt + \arg W_{tr}(jmv)) + L_{sm} \sin(mvt + \arg W_{tr}(jmv))]$$

ở đây

$$\arg[W_{tr}(jmv)] = \pi + \arccos \frac{1 - \tau \tau_d m^2 v^2}{\sqrt{(1 - \tau \tau_d m^2 v^2)^2 + \tau_d^2 m^2 v^2}} -$$

$$- \arccos \frac{1 - \tau \tau_M m^2 v^2}{\sqrt{(1 - \tau \tau_M m^2 v^2)^2 + \tau_M^2 m^2 v^2}}$$

CHƯƠNG 4

ĐỘNG LỰC CỦA QUÁ TRÌNH MỞ MÁY VÀ TẮT MÁY

1. QUÁ TRÌNH MỞ MÁY

Quá trình mở máy thường được gọi là quá trình khởi động hoặc quá trình lấy đà của máy. Nó là một dạng của quá trình chuyển tiếp.

1.1 Quá trình mở máy với động cơ có đặc tuyến tĩnh

a. Qui luật chuyển động của máy trong chế độ mở máy

Trong quá trình mở máy, vận tốc góc của khâu bị dẫn thay đổi giá trị từ $\dot{q} = 0$ đến $\dot{q} = \omega_0$ (ω_0 là giá trị của vận tốc góc trung bình của quá trình bình ổn). Qui luật chuyển động của máy trong quá trình này được xác định qua nghiệm của phương trình chuyển động của máy (2.25) ứng với điều kiện đầu $t = 0$, $\dot{q}(0) = 0$ và $q(0)$. Đại lượng cuối cùng thường là chưa biết. Tuy nhiên đại lượng này ảnh hưởng rất ít đến qui luật thay đổi vận tốc góc và do đó nó có thể lấy giá trị tùy ý, ví dụ $q(0) = 0$.

Sau khi đã xác định được các giá trị đầu ta có bài toán Côsi, nghiệm của nó có thể tìm được trong dạng giải tích nhờ các phương pháp tích phân, hoặc trong dạng số nhờ các phương pháp tích phân số, thí dụ như phương pháp Runge-Kutta; v...v. Tuy nhiên việc tìm nghiệm trong dạng số làm khó khăn việc đánh giá ảnh hưởng của từng thông số riêng rẽ đến đặc trưng động lực học của máy. Điều này rất cần thiết cho bài toán tổng hợp chuyển động của máy. Vì lý do đó trong phần này chỉ khảo sát động lực học của quá trình mở máy và tắt máy dựa trên quan điểm giải tích và giới hạn trong trường hợp máy không điều khiển, tức $u = u_0 = \text{const}$ khi $t > 0$.

Giả sử quá trình mở máy được thực hiện một cách đủ chậm sao cho trong mỗi vòng quay của động cơ (tức q thay đổi từ 0 đến 2π) vận tốc góc trung bình thay đổi không đáng kể, tức $\Delta\omega_0 \ll \omega_0$. Với các giả thiết trên, trong thời gian mở máy có thể sử dụng đặc tuyến tĩnh của động cơ và giải bài toán Côsi với điều kiện đầu “không” (tức $q(0) = 0$ và $\dot{q}(0) = 0$).

Nói cách khác để tìm qui luật chuyển động của quá trình mở máy cần tích phân phương trình:

$$J_0 \ddot{q} - M_{dt}^0(u_0, \dot{q}) - M_c^0(\dot{q}) = -[\tilde{J}_d(q) + \tilde{J}_c(q)]\ddot{q} - \frac{1}{2} \left[\frac{d}{dt} \tilde{J}_d(q) + \frac{d}{dt} \tilde{J}_c(q) \right] \dot{q}^2 + \tilde{M}_{dt}(u_0, q, \dot{q}) + \tilde{M}_c(q, \dot{q}) \quad (4.1)$$

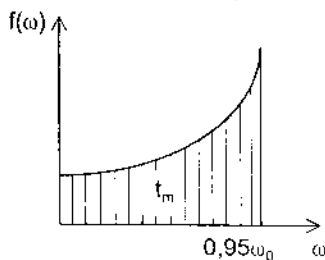
Do sự thay đổi chậm của \dot{q} nên trong gần đúng thứ nhất cho phép bỏ qua các số hạng của vế phải của phương trình (4.1). Bằng cách đó ta nhận được

$$\frac{J_0}{M_{dt}^0(u_0, \omega) + M_c^0(\omega)} d\omega = dt$$

ở đây $\omega \equiv \dot{q}$.

Từ đây ta tìm được

$$t = \int_0^{\omega} \frac{J_0}{M_{dt}^0(u_0, \omega) + M_c^0(\omega)} d\omega = t(\omega) \quad (4.2)$$



Hình 4.1 Thời gian mở máy

Thời gian mở máy t_m được tính nhờ biểu thức:

$$t_m = \int_0^{\omega_0} \frac{J_0}{M_{dt}^0(u_0, \omega) + M_c^0(\omega)} d\omega = J_0 \int_0^{\omega_0} f(\omega) d\omega \quad (4.3)$$

$$\text{ở đây} \quad f(\omega) = \frac{1}{M_{dt}^0(u_0, \omega) + M_c^0(\omega)} \quad (4.4)$$

Vì ω_0 là vận tốc góc của quá trình bình ổn được tính từ (3.7) do đó nó làm triệt tiêu mẫu số hàm $f(\omega)$ và tích phân (4.2) là tích phân không riêng. Có thể chỉ ra rằng với $(s + v) \neq 0$ thì $t_m \rightarrow \infty$. Thông thường thời gian mở máy là khoảng thời gian máy đạt được vận tốc góc gần bằng ω_0 nhưng không bằng nó. Trong thực tế vận tốc góc đó thường được lấy bằng $0,95\omega_0$. Nói cách khác thời gian mở máy được tính theo công thức:

$$t_m = J_0 \int_0^{0,95\omega_0} f(\omega) d\omega \quad (4.5)$$

Nếu sử dụng phương pháp đồ thị thì thời gian mở máy t_m bằng diện tích đồ thị được giới hạn bằng trục tung và đường song song với trục tung và cách nó một khoảng bằng $0,95\omega_0$ theo một tỉ lệ xích cho trước (hình 4.1).

Từ công thức (4.5), thời gian mở máy tỉ lệ với J_0 . Do đó để giảm thời gian mở máy cần phải giảm J_0 . Đối với các loại máy có thời gian mở máy chiếm tỉ lệ quan trọng trong toàn bộ thời gian làm việc của máy (thí dụ, các máy cắt kim loại) thì đây là biện pháp rất quan trọng để nâng cao năng suất máy. Xét trường hợp đặc tuyến của máy có dạng tuyến tính, tức

$$M_{dt}^0 = M_0 - s(\omega - \omega_0); \quad M_c^0 = -M_0 - v(\omega - \omega_0) \quad (4.6)$$

ở đây $M_0 = M_{dt}^0(u_0, \omega_0) = -M_c^0(\omega_0)$

Khi thay (4.6) vào (3.5), ta nhận được

$$J_0 \dot{\omega} + (s + v)(\omega - \omega_0) = 0$$

Nghiệm của phương trình này có dạng sau $\omega = \omega_0 + Ce^{-\frac{t}{\tau_M}}$

ở đây C là hằng số tích phân, được xác định từ điều kiện đầu. Dựa vào điều kiện đầu $\omega(0) = 0$, ta tính được $C = -\omega_0$.

$$\text{Vậy} \quad \omega = \omega_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau_M}}) \quad (4.7)$$

Thời gian mở máy ứng với $\omega = 0,95\omega_0$ sẽ bằng:

$$t_m = -\tau_M \ln 0,05 = 3\tau_M = 3J_0/(s + v)$$

Như vậy hằng số thời gian τ_M xác định hoàn toàn thời gian mở máy trong trường hợp các đặc tuyến của động cơ và bộ phận chấp hành có dạng tuyến tính. Để giảm thời gian mở máy hoặc giảm J_0 hoặc tăng độ cong của đặc tuyến động cơ. Kí hiệu góc quay của rôto động cơ trong thời gian mở máy là φ_m ta có:

$$\varphi_m = \int_0^{t_m} \omega dt = \omega_0 \int_0^{t_m} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_M}}) dt = \left[t_m - \tau_M (1 - e^{-\frac{t_m}{\tau_M}}) \right] \approx \omega_0 (t_m - \tau_M)$$

Với thời gian mở máy $t_m = 3\tau_M$ ta có $\varphi_m = 2\omega_0 \tau_M$.

Vậy số vòng quay của rôto động cơ trong thời gian mở máy N_m sẽ bằng:

$$N_m = 2\omega_0 \tau_M / 2\pi = \omega_0 \tau_M / \pi \quad (\text{vòng})$$

Biến thiên của vận tốc góc trong thời gian mở máy là $\Delta\omega_0 = \omega_0$ tương ứng với số vòng quay $N_m = \omega_0 \tau_M / \pi$. Vậy lượng biến thiên vận tốc góc sau một vòng quay sẽ bằng

$$\Delta\omega_{th} \approx \pi\omega_0 / \omega_0 \tau_M \approx \pi / \tau_M$$

Như vậy để có thể bỏ qua các số hạng của vế phải của (4.1) thì các đại lượng $\tilde{M}_{dt}(u_0, q, \dot{q}), \tilde{M}_c(q, \dot{q})$ thay đổi bé trong khoảng thời gian \dot{q} thay đổi lượng $\Delta \dot{q} = \pi/\tau_M$.

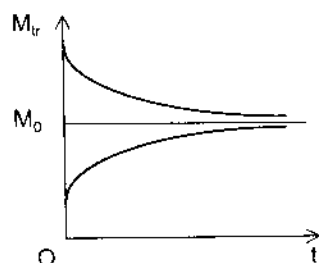
b. Mômen động lực trong cơ cấu truyền

Phương trình chuyển động của bộ phận cơ

$$J_{c0}\ddot{q} = M_{tr} + M_c^0(\dot{q}) = M_{tr} - M_0 - v(\dot{q} - \omega_0)$$

Từ đây ta nhận được

$$M_{tr} = M_0 + v(\dot{q} - \omega_0) + J_{c0}\ddot{q}$$



Hình 4.2 Mômen tác động lên cơ cấu truyền

Dựa vào (4.7) $\dot{q} = \omega_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau_M}})$, $\ddot{q} = \frac{\omega_0}{\tau_M}e^{-\frac{t}{\tau_M}}$ và thay chúng vào biểu thức của M_{tr} , ta nhận được:

$$\begin{aligned} M_{tr} &= M_0 - v\omega_0 e^{-\frac{t}{\tau_M}} + J_{c0} \frac{\omega_0}{\tau_M} e^{-\frac{t}{\tau_M}} \\ &= \left(\frac{J_{c0}}{\tau_M} - v\right)\omega_0 e^{-\frac{t}{\tau_M}} + M_0 = M_0 + \frac{J_{c0}s - J_{d0}v}{J_0}\omega_0 e^{-\frac{t}{\tau_M}} \end{aligned}$$

Mômen động lực trong cơ cấu truyền thay đổi tùy thuộc dấu của hiệu $J_{c0}s - J_{d0}v$. Trên hình 4.2 là đồ thị cho sự phụ thuộc mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền theo thời gian. Đối với cơ cấu truyền tốt nhất là $M_0 \geq M_{tr}$. Để đạt được điều này cần phải $J_{c0}s < J_{d0}v$, tức $s/v > J_{c0}/J_{d0}$.

Trong trường hợp tổng quát khi các đặc tuyến là phi tuyến thì từ hệ phương trình (3.5) ta tìm được

$$\ddot{q} = \frac{1}{J_{d0} + J_{c0}}(M_{dt}^0 + M_c^0)$$

Từ đây

$$\begin{aligned} M_{tr} &= J_{c0}\ddot{q} - M_c^0 = \frac{J_{c0}}{J_{d0} + J_{c0}}(M_{dt}^0 + M_c^0) - M_c^0 \\ &= \frac{1}{J_0}(J_{c0}M_{dt}^0 - J_{d0}M_c^0) \end{aligned} \quad (4.8)$$

Khi thay $M_{dt}^0 = M_{dt}(u_0, \omega)$, $M_c^0 = M_c(\omega)$ vào (4.8) ta nhận được biểu thức của mômen động lực của cơ cấu truyền là hàm theo vận tốc góc, tức là:

$$M_u(\omega) = \frac{J_{c0}}{J_0} M_{dt}^0(u_0, \omega) - \frac{J_{d0}}{J_0} M_c^0(\omega) \quad (4.9)$$

1.2 Quá trình mở máy với động cơ có đặc tuyến động lực

a. Quy luật chuyển động của máy

Khảo sát ảnh hưởng của đặc tuyến động lực của động cơ đến quá trình mở máy. Giới hạn khảo sát đối với trường hợp các đặc tuyến có dạng đường thẳng (hình 4.3). Quá trình mở máy được mô tả bằng hệ phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} J_0 \dot{\omega} - M_d + M_0 + v(\omega - \omega_0) &= 0 \\ \tau \dot{M}_d + M_d - M_0 + s(\omega - \omega_0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

Tại thời điểm đầu để có thể mở máy được, động cơ cần phải tạo được mômen khởi động bằng $M_c^0(0)$.

Điều này dẫn đến quá trình mở máy được chia làm hai giai đoạn:

Giai đoạn 1. Trong khoảng thời gian $t_m^{(1)}$ động cơ cần tạo nên được mômen động cơ $M_{d0}^{(1)} = M_0 - v\omega_0$ để khắc phục mômen cản ban đầu $M_{c0}(0)$.

Giai đoạn 2. ứng với khoảng thời gian $t_m^{(2)}$ máy được đưa từ trạng thái $\omega(0) = 0$ vào trạng thái bình ổn với vận tốc góc trung bình ω_0 .

Trong giai đoạn 1 ta có phương trình ($0 < t < t_m^{(1)}$ và $\omega(t) \equiv 0$)

$$\tau \dot{M}_d + M_d = M_0 + s\omega_0$$

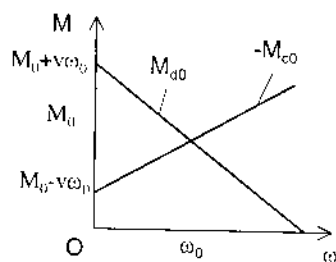
Phương trình này có nghiệm dạng

$$M_d = Ce^{-t/\tau} + M_0 + s\omega_0$$

Tại $t = 0$ $M_d(0) \equiv 0$ nên $C = -(M_0 + s\omega_0)$

Như vậy trong giai đoạn 1, mômen động cơ sẽ là:

$$M_d^{(1)} = (M_0 + s\omega_0)(1 - e^{-t/\tau}) \quad (4.11)$$



Hình 4.3

Thời gian mở máy $t_m^{(1)}$ được xác định từ điều kiện $M_d^{(1)} = M_0 - v\omega_0$, tức

$$(M_0 + s\omega_0)(1 - e^{-t/\tau}) = M_0 - v\omega_0$$

$$t_m^{(1)} = -\tau \ln \frac{(s+v)\omega_0}{M_0 + s\omega_0} \quad (4.12)$$

Khoảng thời gian $t_m^{(2)}$ của giai đoạn 2 tính được nhờ vào việc tích phân phương trình đầu của (4.10) với điều kiện đầu

$$t = 0, \quad \omega(0) = 0, \quad M_d(0) = M_0 - v\omega_0 \quad (4.13)$$

Cụ thể từ phương trình đầu của hệ (4.10) ta tính được

$$M_d = J_0 \dot{\omega} + M_0 + v(\omega - \omega_0)$$

$$\text{Do đó } \dot{M}_d = J_0 \ddot{\omega} + v\dot{\omega}$$

Thay biểu thức này vào phương trình thứ hai của (4.10) nó có dạng

$$\tau\tau_M \ddot{\omega} + \tau'_M \dot{\omega} + \omega = \omega_0 \quad (4.14)$$

$$\text{ở đây} \quad \tau'_M = \tau_M + \tau \frac{v}{v+s} \quad (4.15)$$

$$\text{Điều kiện đầu của (4.14) là } \omega(0) = 0, \quad \dot{\omega}(0) = 0 \quad (4.16)$$

Điều kiện $\omega(0) = 0$ được suy trực tiếp từ nhận xét là trong cả giai đoạn 1 (tức $0 < t \leq t_m^{(1)}$) $\dot{\omega}(t) \equiv 0$ và do đó $\omega(t) \equiv 0$ trong giai đoạn này). Cũng có thể suy điều kiện (4.16) từ điều kiện về mômen động cơ trong giai đoạn 1.

$$M_d(0) = M_d^I = J_0 \dot{\omega}(0) + M_0 - v\omega_0 = M_0 - v\omega_0$$

$$\text{Từ đó } J_0 \dot{\omega}(0) = 0 \rightarrow \dot{\omega}(0) = 0, \omega(0) = 0.$$

Phương trình (4.14) có nghiệm dạng: $\omega = \omega_0$

Để tìm nghiệm tổng quát của phương trình không vế phải của phương trình (4.14) ta viết phương trình đặc trưng của nó:

$$\tau\tau_M \lambda^2 + \tau'_M \lambda + 1 = 0$$

Phương trình này có nghiệm:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{\tau'_M}{2\tau\tau_M} \pm \sqrt{\left(\frac{\tau'_M}{2\tau\tau_M}\right)^2 - \frac{1}{\tau\tau_M}}$$

+ Nếu $(\tau'_M)^2 > 4\tau\tau_M$ thì λ_1, λ_2 đều thực và âm. Lúc đó nghiệm tổng quát của (4.14) có dạng

$$\omega = \omega_0 + C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}$$

Sử dụng điều kiện (4.16) ta nhận được

$$0 = \omega_0 + C_1 + C_2; \quad 0 = C_1 \lambda_1 + C_2 \lambda_2$$

$$\text{Từ đây tính được } C_1 = \frac{\lambda_2 \omega_0}{\lambda_1 - \lambda_2}; \quad C_2 = -\frac{\lambda_1 \omega_0}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

Vậy trong quá trình mở máy (giai đoạn 2) qui luật thay đổi vận tốc góc sẽ là

$$\omega = \omega_0 \left(1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{\lambda_2 t} \right) \quad (4.17)$$

Rõ ràng trong quá trình mở máy $\omega < \omega_0$. Thực vậy để xác định ta giả sử $0 > \lambda_1 > \lambda_2$. Từ (4.17) ta có:

$$\omega_0 - \omega = \frac{\omega_0}{\lambda_1 - \lambda_2} (\lambda_1 e^{\lambda_2 t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 t}) = \frac{\omega_0}{\lambda_1 - \lambda_2} [\lambda_1 - \lambda_2 e^{(\lambda_1 - \lambda_2)t}] e^{\lambda_2 t} > 0$$

Bây giờ hãy tính thời gian mở máy $t_m^{(2)}$ ứng với nó, $\omega(t_m^{(2)}) = 0,95\omega_0$. Từ $0 > \lambda_1 > \lambda_2$ ta có $|\lambda_1|e^{\lambda_2 t} < |\lambda_2|e^{\lambda_1 t}$

Vậy từ (4.17) ta nhận được

$$0,05 \approx \frac{-\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{\lambda_1 t_m^{(2)}} = \frac{|\lambda_2|}{\lambda_1 - \lambda_2} \frac{1}{e^{|\lambda_1|t_m^{(2)}}} = \frac{1}{20}$$

$$\text{Do đó} \quad \frac{|\lambda_2|}{\lambda_1 - \lambda_2} \approx \frac{e^{|\lambda_1|t_m^{(2)}}}{20}$$

$$\text{Suy ra} \quad \ln \frac{|\lambda_2|}{\lambda_1 - \lambda_2} \approx |\lambda_1|t_m^{(2)} - \ln 20 = |\lambda_1|t_m^{(2)} - 3$$

Từ đây tính được thời gian mở máy

$$t_m^{(2)} \approx \frac{1}{|\lambda_{11}|} \left(3 + \ln \frac{|\lambda_2|}{\lambda_1 - \lambda_2} \right) \quad (4.18)$$

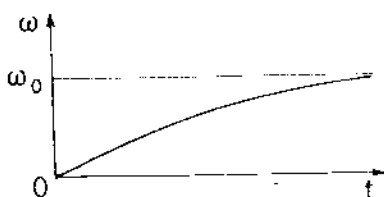
Quá trình mở máy với qui luật (4.17) được gọi là á chu kỳ (hình 4.4).

+ Nếu $(\tau'_M)^2 < 4\tau\tau_M$ thì phương trình đặc trưng của (4.14) có nghiệm:

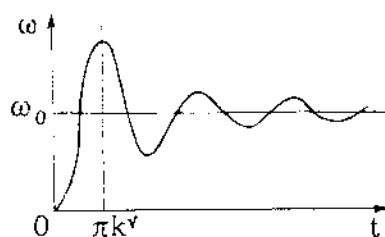
$$\lambda_{1,2} = -n \pm kj$$

ở đây

$$n = \frac{\tau'_M}{2\tau\tau_M}; \quad k = \sqrt{\frac{1}{\tau\tau_M} \left[1 - \frac{(\tau'_M)^2}{4\tau\tau_M} \right]}$$



Hình 4.4



Hình 4.5

Phương trình (4.14) có nghiệm

$$\omega = \omega_0 + C_1 e^{-nt} \sin kt + C_2 e^{-nt} \cos kt$$

$$\dot{\omega} = -C_1 n e^{-nt} \sin kt + C_1 k e^{-nt} \cos kt - C_2 n e^{-nt} \cos kt - C_2 k e^{-nt} \sin kt$$

Sử dụng điều kiện đầu (4.16) ta có $0 = \omega_0 + C_2$, $0 = C_1 k - C_2 n$

Từ đây nhận được $C_1 = -\omega_0 n/k$; $C_2 = -\omega_0$.

Nghiệm của (4.14) sẽ là

$$\omega = \omega_0 - \omega_0 e^{-nt} \left(\cos kt + \frac{n}{k} \sin kt \right) \quad (4.19)$$

Tại thời điểm $t = \pi/k$ vận tốc góc ω đạt cực đại

$$\omega_{\max} = \omega_0 (1 + e^{-n\pi/k})$$

Thấy rằng $\omega_{\max} > \omega_0$. Như vậy vận tốc góc ω theo (4.19) có đặc trưng tắt dần và vận tốc góc trong quá trình mở máy có thời điểm đạt giá trị lớn hơn vận tốc góc của quá trình bình ổn, hình 4.5. Đây là điều không tốt. Liên quan đến vấn đề này đưa vào hệ số vượt vận tốc ξ :

$$\xi = \frac{\omega_{\max} - \omega_0}{\omega_0} = e^{-n\pi/k} \quad (4.20)$$

Nếu $v \ll s$ thì $\tau'_M \approx \tau_M$ và các công thức nhận được rất đơn giản.

Ví dụ, điều kiện để phát sinh chế độ dao động sẽ là $\tau_M < 4\tau$, còn hệ số vượt vận tốc ξ sẽ là:

$$\xi = e^{-\pi \sqrt{\frac{4\tau}{\tau_M} - 1}}$$

Thời gian mở máy được tính như sau:

$$0,95\omega_0 = \omega_0(e^{-nt_m} - 1)$$

Từ đây $-nt_m = \ln 0,05 = -3$

Vậy $t_m = \frac{3}{n} = \frac{3}{\tau_M} \cdot 2\tau\tau_M = 6\tau$

Tức thời gian mở máy gấp 6 lần hằng số thời gian τ của động cơ.

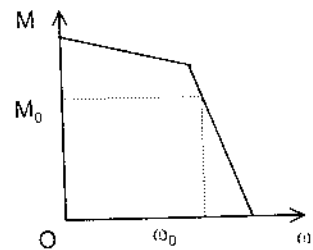
Vận tốc góc mở máy vượt vận tốc góc trung bình của quá trình bình ổn là điều không mong muốn. Để tránh hiện tượng này cần phải dập tắt dao động, tức cần thực hiện điều kiện $\tau_M > 4\tau$.

Từ đó $\tau_M/\tau > 4$

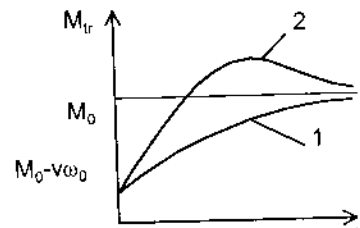
Để thực hiện điều kiện này có thể sử dụng các biện pháp sau:

- Tăng tỉ số τ_M/τ . Muốn vậy hoặc tăng τ_M , tức tăng J_0 (tăng mômen quán tính khối lượng thu gọn của máy) hoặc chọn động cơ có hằng số thời gian bé.

- Sử dụng động cơ có đặc tuyến phi tuyến, có độ cong s bé ứng với giá trị vận tốc góc bé và độ cong s lớn dần cận miền làm việc của vận tốc góc (hình 4.6).



Hình 4.6 Đường đặc tuyến phi tuyến



Hình 4.7 Đường đặc tuyến với M cực đại

Để đạt điều này sử dụng biện pháp điều khiển khi mở máy, bằng cách tăng dần $u(t)$ đến u_0 để đảm bảo đường đặc tuyến được trơn trong miền làm việc (xem hình 4.6).

Lưu ý rằng việc thay đổi đặc trưng của quá trình mở máy sẽ làm tăng thời gian mở máy.

b. Mômen động lực trong cơ cấu truyền

Để tính mômen động lực do động cơ tác dụng lên cơ cấu truyền ta viết phương trình chuyển động của cụm động cơ

$$J_{d0}\dot{\omega} = M_d - M_{tr}$$

Từ đây và từ phương trình đầu của (4.10) ta nhận được

$$\begin{aligned} M_{tr} &= M_d - J_{d0}\dot{\omega} = J_0\dot{\omega} + M_0 + v(\omega - \omega_0) - J_{d0}\dot{\omega} \\ &= J_{c0}\dot{\omega} + M_0 + v(\omega - \omega_0) \end{aligned} \quad (4.21)$$

+ Trường hợp mở máy có đặc trưng á chu kỳ

$$(\tau'_M)^2 > 4\tau\tau_M$$

Trong trường hợp này thay ω trong (4.21) bằng (4.17) ta nhận được

$$M_{tr} = M_0 + \frac{\omega_0}{\lambda_1 - \lambda_2} \left[(v + J_{c0}\lambda_1)\lambda_2 e^{\lambda_1 t} - (v + J_{c0}\lambda_2)\lambda_1 e^{\lambda_2 t} \right] \quad (4.22)$$

Khi $t \rightarrow \infty$ thì $M_{tr} \rightarrow M_0$, khi $t = 0$ thì $M_{tr} = M_0 - v\omega_0$, đây là mômen động cơ trong giai đoạn 1 truyền vào cơ cấu truyền.

Bây giờ ta sẽ tìm điều kiện để $M_{tr} < M_0$ trong suốt thời gian mở máy. Muốn thế đầu tiên ta xác định thời điểm t^* mà M_{tr} đạt cực trị. Dễ dàng chỉ ra rằng

$$(v + J_{c0}\lambda_1)e^{\lambda_1 t^*} - (v + J_{c0}\lambda_2)e^{\lambda_2 t^*} = 0 \quad (4.23)$$

$$\text{Từ đây ta nhận được} \quad \frac{v + J_{c0}\lambda_1}{v + J_{c0}\lambda_2} = e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t^*} \quad (4.24)$$

Để xác định, ta giả thiết $0 > \lambda_1 > \lambda_2$. Khi đó $0 < e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t^*} < 1$ và điều kiện (4.24) chỉ được thoả mãn nếu $v + J_{c0}\lambda_1 < 0 \rightarrow |\lambda_1| > v/J_{c0}$.

Với điều kiện này mômen truyền đạt cực đại và đồ thị của nó cho trên hình 4.7 (ứng với đường cong 1).

Vậy để $M_{tr} < M_0$ cần thiết phải có $|\lambda_1| < v/J_{c0}$.

+ Trường hợp mở máy có đặc trưng dao động tắt dần

Trong trường hợp này, trong (4.21) vận tốc góc ω được thay bằng biểu thức (4.19), ta được

$$M_{tr} = M_0 + \omega_0 e^{-nt} \left\{ J_{c0} \left[\left(\frac{n^2}{k} + k \right) - \frac{vn}{k} \right] \left(\cos kt + \frac{n}{k} \sin kt \right) \right\} \quad (4.25)$$

Vậy giá trị cực đại của mômen truyền luôn vượt giá trị M_0 (trên hình 4.7 ứng với đường cong 2).

c. Các nhiễu động

Qui luật thay đổi của vận tốc góc trong mở máy nhận được trong điều kiện lấy trung bình của lực sau một vòng quay của rôto. Trong điều kiện như vậy vế phải của phương trình (4.1) được xem là bằng không. Tuy nhiên có thể làm chính xác hơn qui luật này nhờ phương pháp xấp xỉ liên tiếp.

Vì rằng $\tilde{J}_d(q)$ và $\tilde{J}_c(q)$ có giá trị trung bình bằng không, nên có thể xem biểu thức vận tốc góc tìm ở trên (tức nghiệm của các phương trình (4.10)) là nghiệm gần đúng bậc không và dựa vào đó để xây dựng nghiệm gần đúng liên tiếp, nó thể hiện ảnh hưởng các nhiễu động đến quá trình mở máy.

Xét trường hợp động cơ làm việc với đặc tuyến động lực và các đặc tuyến cản và đặc tuyến tĩnh được viết trong dạng khai triển lân cận $\dot{q} = \omega_0$.

Phương trình chuyển động của máy bây giờ là

$$\left. \begin{aligned} J_0 \ddot{q} - M_d + M_0 + v(\dot{q} - \omega_0) = & - \left[\tilde{J}_d(q) + \tilde{J}_c(q) \right] \ddot{q} - \\ & - \left[\frac{d}{dt} \tilde{J}_d(q) + \frac{d}{dt} \tilde{J}_c(q) \right] \dot{q}^2 + \tilde{M}_c(\dot{q}) \end{aligned} \right\} \quad (4.26)$$

$$\tau \dot{M}_d + M_d - M_0 + s(\dot{q} - \omega_0) = \tilde{M}_d(u_0, q, \dot{q})$$

Thay nghiệm của phương trình (4.10) vào vế phải của (4.26), tức trong đó ta thay

$$\dot{q} = \omega(t), \quad \ddot{q} = \dot{\omega}(t), \quad q = \int_0^t \omega(t) dt$$

thì (4.26) bây giờ có dạng

$$\left. \begin{aligned} J_0 \ddot{q} - M_d + M_0 + v(\dot{q} - \omega_0) &= F_1(t) \\ \tau \dot{M}_d + M_d - M_0 + s(\dot{q} - \omega_0) &= F_2(t) \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

Giải hệ phương trình vừa nhận được với điều kiện đầu

$$t = 0, \dot{q}(0) = 0, M_d(0) = M_0 - v\omega_0$$

ta tìm được nghiệm chính xác hơn $\omega(t)$ và $M_d(t)$ và quá trình tính gần đúng liên tiếp có thể tiếp tục. Quá trình tính sẽ được dừng lại khi vế phải của (4.26) là khá bé với mọi t .

2. QUÁ TRÌNH HÂM

Quá trình hãm máy được thực hiện bằng cách hoặc ngắt làm việc của động cơ hoặc tăng mômen cản (ví dụ, nhờ hệ thống phanh). Việc khảo sát quá trình này tập trung vào việc tính toán thời gian hãm máy và mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền.

2.1 Thời gian hãm máy

Giả thiết là vận tốc góc thay đổi chậm, khi tiến hành trung bình hoá vế phải của phương trình (4.1) ta nhận được

$$J_0 \ddot{q} = M_c^0(\dot{q}) - M_h \quad (4.28)$$

ở đây M_h là mômen hãm, giá thiết là hằng số. Từ (4.28) ta tính được

$$t = J_0 \int_{\omega_0}^{\omega} \frac{1}{M_c^0(\omega) - M_h} d\omega$$

Vậy thời gian hãm được tính theo biểu thức:

$$t_h = J_0 \int_0^{\omega_0} \frac{1}{-M_c^0(\omega) + M_h} d\omega \quad (4.29)$$

Để tính thời gian hãm t_h theo (4.29) có thể dùng phương pháp đồ thị (nêu trong 1., chương 4).

Để nhận được biểu thức giải tích tính thời gian hãm ta xét trường hợp đặc tuyến là đường thẳng, khi đó:

$$M_c^0(\dot{q}) \equiv M_c^0(\omega) = -M_0 - v(\omega - \omega_0)$$

Thay biểu thức vừa nhận được vào (4.28) ta có:

$$\text{hoặc} \quad \tau_T \dot{\omega} + \omega = \omega_0 - \frac{M_0 + M_h}{v} \quad (4.30)$$

Trong đó $\tau_T = J_0 / v$

Nghiệm của phương trình (4.30) có dạng:

$$\omega = \omega_0 - \frac{M_0 + M_h}{v} + C e^{-t/\tau_T}$$

Dựa vào điều kiện đầu $t = 0$ và $\omega(0) = \omega_0$ ta tìm được hằng số tích phân C và do đó nhận được qui luật thay đổi của vận tốc góc ω trong thời gian hãm:

$$\omega = \omega_0 - \frac{M_0 + M_h}{v} (1 - e^{-t/\tau_T}) \quad (4.31)$$

Từ điều kiện $\omega(t_h) = 0$, ta tính được $t_h = -\tau_T \ln \left[1 - \frac{v\omega_0}{M_0 + M_h} \right]$ (4.32)

2.2 Mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền động

Giả sử rằng mômen hãm tác dụng lên cụm động cơ, phương trình chuyển động của cụm bộ phận chấp hành sẽ là

$$J_{c0} \dot{\omega} = M_{tr} + M_c^0(\omega) = M_{tr} - M_0 - v(\omega - \omega_0)$$

ở đây sử dụng đặc tuyến của mômen cản có dạng đường thẳng.

Từ đây tính được $M_{tr} = J_{c0} \dot{\omega} + M_0 + v(\omega - \omega_0)$

Thay biểu thức (4.31) của vận tốc góc vào, ta nhận được

$$\begin{aligned} M_{tr} &= -\frac{J_{c0}}{v\tau_T} (M_0 + M_h) e^{-t/\tau_T} - (M_0 + M_h) + M_0 + (M_0 + M_h) e^{-t/\tau_T} = \\ &= \frac{J_{d0}}{J_0} (M_0 + M_h) e^{-t/\tau_T} - M_h \end{aligned}$$

Khi $t = 0$ ta có $M_{tr} = \frac{M_0 J_{d0} - M_h J_{c0}}{J_0}$

Khi $t \rightarrow \infty$ thì $M_{tr} \rightarrow -M_h$.

Trong quá trình hãm M_{tr} thay đổi đơn điệu trong khoảng giữa hai giá trị trên của mômen truyền. Nếu $M_h = M_0$ thì $|M_{tr}|$ sẽ nhỏ hơn M_0 .

Thực vậy trong trường hợp này

$$|M_{tr}(0)| = \frac{M_0}{J_0} |J_{d0} - J_{c0}| < M_0$$

Trong trường hợp này ($M_h = M_0$) mômen truyền trong suốt thời gian hãm nhỏ hơn mômen trung bình trong quá trình bình ổn. Điều này có nghĩa là trong quá trình bình ổn không gây ra các tải trọng phụ tác dụng lên cơ cấu truyền.

Thời gian hãm trong trường hợp này sẽ bằng:

$$t_h = -\tau_T \ln\left(1 - \frac{v\omega_0}{2M_0}\right)$$

trong trường hợp $v = 0$, tức mômen cản không phụ thuộc vào vận tốc góc ω , ta có

$$J_0 \dot{\omega} = -M_0 - M_h$$

Từ đây
$$\dot{\omega} = -\frac{M_0 + M_h}{J_0} = \text{const}$$

trong trường hợp này
$$t_h = \frac{J_0 \omega_0}{M_0 + M_h}$$

Khi đó ($v=0$) thì:

$$M_{tr} = J_{c0} \dot{\omega} + M_0 = -\frac{J_{c0}}{J_0} (M_0 + M_h) + M_0 = \frac{J_{d0} M_0 - J_{c0} M_h}{J_0}$$

Nếu chọn M_h thoả mãn điều kiện $J_{d0} M_0 - J_{c0} M_h = 0$, tức là

$$M_h = \frac{J_{d0} M_0}{J_{c0}} \quad \text{thì} \quad M_{tr} = 0$$

Trong trường hợp như vậy cơ cấu truyền được dỡ tải hoàn toàn, còn thời gian hãm sẽ bằng:

$$t_h = \frac{J_0 \omega_0}{M_0 + M_h} = \frac{J_0 \omega_0}{M_0 + \frac{J_{d0} M_0}{J_{c0}}} = \frac{J_{c0} \omega_0}{M_0}$$

Việc hãm máy có thể thực hiện bằng loại động cơ làm việc trong chế độ tái tạo năng lượng. Phương pháp như vậy được gọi là hãm động lực, đang được áp dụng rộng rãi trong các truyền động điện hiện đại.

CHƯƠNG 5

PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY VỚI CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG ĐÀN TÍNH

1. ĐẶC TRƯNG ĐÀN HỒI VÀ CẢN CỦA CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG

1.1 Mô hình động lực của máy

Trong trường hợp không thể bỏ qua đàn tính của cơ cấu truyền động thì phải xây dựng mô hình máy gồm hai khối lượng (động cơ-bộ phận cơ) nối với nhau bằng phần tử đàn hồi không quán tính (mô hình của cơ cấu truyền động). Mô hình được xây dựng như vậy là hợp lý vì động cơ và bộ phận cơ có số đo quán tính khá lớn so với số đo quán tính của cơ cấu truyền động. Cơ cấu truyền động chỉ có nhiệm vụ đảm bảo tỉ số truyền động nên càng gọn nhẹ càng tốt.

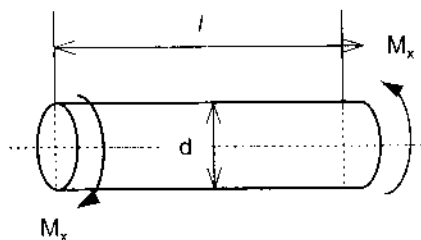
Bộ phận cơ cấu truyền động thường gồm các chi tiết như bánh răng, trục, đai truyền.v.v. Do đó khi xem cơ cấu truyền động là một phần tử thì đó là phần tử ghép. Hệ số cứng và hệ số cản của phần tử ghép này lẽ tất nhiên là hệ số cứng và hệ số cản tương đương. Để tính được chúng cần phải biết cách tính đối với từng loại chi tiết và đối với một hệ thống các chi tiết nối ghép với nhau.

1.2 Độ cứng của cơ cấu truyền động

a. Độ cứng của chi tiết

- Độ cứng của trục làm việc khi xoắn.

Giả thiết trục có tiết diện tròn, với đường kính d , có chiều dài l và chịu tác dụng mô men xoắn M_x (hình 5.1)



Hình 5.1 Chi tiết trục

$$\text{Góc xoắn } \theta \text{ được xác định theo công thức } \theta = \frac{M_x l}{GI_p}$$

trong đó : G - mô đun đàn hồi loại hai,

I_p - mômen quán tính độc cực của tiết diện, $I_p = \pi d^4 / 32$

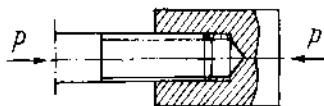
Độ cứng c theo định nghĩa, là mômen xoắn cần thiết để gây nên góc xoắn đơn vị.

$$\text{Vậy } c = M/\theta = GI_p/l \quad (5.1)$$

Đại lượng ngược với độ cứng gọi là độ mềm dẻo của yếu tố đàn hồi, được kí hiệu là e :

$$e = 1/c = l/GI_p \quad (5.2)$$

- Độ cứng của thanh làm việc khi kéo và nén (ví dụ trục vít dẫn động).



Hình 5.2 Một khớp ren.

Như đã biết để thanh thẳng có chiều dài l dãn (hoặc co) một lượng Δl thì lực kéo, nén N sẽ là

$$N = EF\Delta l/l$$

$$\text{Do đó } c = N/\Delta l = EF/l \quad (5.3)$$

- Độ cứng của mối nối ren.

Tác dụng lực dọc P lên mối ghép vít-écu (hình 5.2) sẽ làm cho vít biến dạng. Trong trường hợp vít và éc đều bằng thép thì độ cứng của mối ghép này sẽ là

$$c = k_r S \quad (5.4)$$

Trong đó S - diện tích của một vòng vít,

$$k_r = (1 \div 2) 10^6 \text{ N/cm}^2$$

- Độ cứng của truyền động bánh răng:

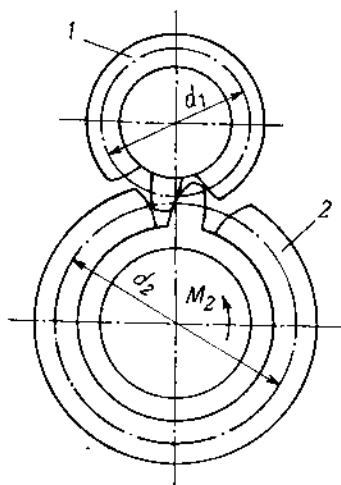
Có thể sử dụng công thức sau để tính độ cứng cho truyền động bánh:

$$c = kd^2B$$

trong đó : d - đường kính vòng cơ sở của bánh răng.

B - chiều rộng của vòng bánh răng.

k - hệ số được xác định từ thực nghiệm có thể lấy bằng $375 \cdot 10^3 \text{ N/cm}^2$ đối với bánh xe bằng thép (hình 5.3).



Hình 5.3 Truyền động bánh răng

- Độ cứng của nối then và chêm.

Độ cứng của mối nối được xác định theo công thức

$$c = kd^3lhz \quad (5.5)$$

trong đó : d - đường kính trục,

l - chiều dài của then hay chêm,

h - chiều cao,

z - số then hoặc chêm,

k - hệ số thực nghiệm thường được lấy $k = 15.10^4 \text{ N/cm}^3$ đối với then lạng trụ và $k=15.10^4 \text{ N/cm}^3$ đối với mối nối chêm (hình 5.4 và 5.5).

- Độ cứng của truyền động đai da và truyền động xích.

Gọi c_d là độ cứng của đai truyền hoặc xích khi dẫn. Khi khâu bị dẫn quay một góc θ làm xuất hiện lực căng P trong nhánh căng của khâu dẫn : $P = c_d r\theta$ (ở đây r là bán kính của trục bị dẫn: puli hoặc đĩa xích). Mômen của lực này đối với trục tâm của trục bị dẫn bằng $M = c_d r^2 \theta$ trong truyền động đai da cả hai nhánh đai da đều bị căng, do mômen ngoại lực sức căng của một trong hai nhánh dây sẽ tăng còn trong nhánh khác sẽ giảm. Vì vậy khi xác định độ cứng của truyền động đai da mômen, M được tính lên gấp đôi. Như vậy

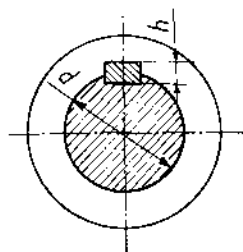
$$c = M/\theta = c_d r^2 j$$

ở đây j = 1 đối với trường hợp xích, còn j = 2 đối với trường hợp đai da (hình 5.6).

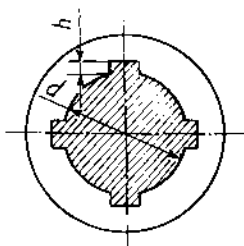
- Độ cứng của các nối trục đàn hồi.

Khối nối này là khớp yếu tố mềm nhất của cơ cấu truyền. Độ cứng xoắn của khớp này được tính theo công thức được cho trong tài liệu [11].

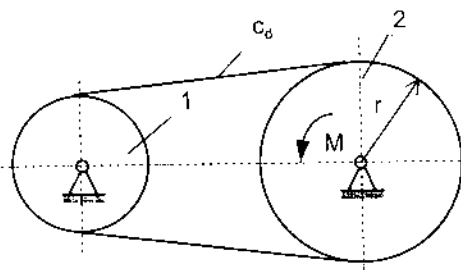
b. Độ cứng thu gọn của cơ cấu truyền động thu về trục động cơ



Hình 5.4 Nối then

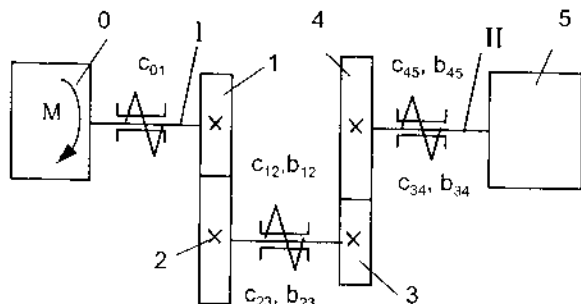


Hình 5.5 Nối then hoa



Hình 5.6 Truyền động đai

Giả sử các trục có độ cứng là c_{01} , c_{23} và c_{45} cặp bánh răng 1-2 có độ cứng thu gọn về bánh răng 1 là c_{12} , cặp bánh răng 3-4 có độ cứng thu gọn về bánh răng 3 là c_{34} và trục động cơ chịu tác dụng ngoại lực có mômen M . Để tính độ cứng thu gọn về trục động cơ ta xem trục 5 bị kẹp chặt (hình 5.7) và tính các góc biến dạng của các phần tử thu về trục động cơ và do đó tìm được góc biến dạng θ của toàn cơ cấu thu về trục động cơ bằng tổng của các góc biến dạng thu gọn của các phần tử thu về trục động cơ.



Hình 5.7 Cơ cấu truyền động thu về trục động cơ

Độ cứng thu gọn c của cơ cấu sẽ là $c = M/\theta$

Rõ ràng là dưới tác dụng ngẫu lực M trục động cơ bị xoắn một góc $\theta_{01} = M/c_{01}$, và làm cho bánh 1 quay một góc $\varphi_{01} = \theta_{01}$ đối với khâu 0. Bánh răng 2 bị biến dạng một góc mà khi thu gọn về trục động cơ có bằng $\varphi_{12} = \theta_{12} = M/c_{12}$.

Trục 2-3 được truyền ngẫu lực có mômen $M_{12} = M i_{12}$ và sẽ xoắn một góc

$$\theta_{23} = M_{12}/c_{23} = M i_{12}/c_{23}$$

và sẽ làm cho trục động cơ xoắn một góc lớn hơn i_{12} lần, tức là:

$$\varphi_{03} = \theta_{23} i_{12} = M i_{12}^2 / c_{23}$$

Bánh răng 4 chịu tác dụng ngẫu lực

$$M_4 = M_3 i_{34} = M_2 i_{34} = M i_{12} i_{34}$$

Nó làm cho bánh răng 3 (gắn với nó là trục I và bánh răng 2) xoắn một góc:

$$\theta_{43} = M_4/c_{34} = M i_{12} i_{34} / c_{34}$$

và góc xoắn thu gọn về trục động cơ ứng với nó là

$$\varphi_{04} = \theta_{43} i_{12} = M i_{12} i_{34} i_{12} / c_{34}$$

Trục II chịu mômen xoắn $M_5 = M_4$ và sẽ bị xoắn một góc

$$\theta_5 = M_5/c_{45} = M_4/c_{45} = Mi_{12}i_{34}/c_{45}$$

làm cho trục I xoắn một góc bằng

$$\theta_5^* = \theta_5 i_{34} = Mi_{12}i_{34}^2/c_{45}$$

và góc xoắn của trục động cơ ứng với góc xoắn này sẽ bằng

$$\varphi_{05} = \theta_5^* i_{12} = \frac{Mi_{12}^2 i_{34}^2}{c_{45}}$$

Vậy góc xoắn thu gọn về trục động cơ sẽ bằng

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_{01} + \varphi_{02} + \varphi_{03} + \varphi_{04} + \varphi_{05} \\ &= \frac{M}{c_{01}} + \frac{M}{c_{12}} + \frac{Mi_{12}^2}{c_{23}} + \frac{Mi_{12}^2 i_{34}}{c_{34}} + \frac{Mi_{12}^2 i_{34}^2}{c_{45}} = \\ &= M \left(\frac{1}{c_{01}} + \frac{1}{c_{12}} + \frac{i_{12}^2}{c_{23}} + \frac{i_{12}^2}{c_{34}} + \frac{i_{12}^2 i_{34}^2}{c_{45}} \right) \end{aligned}$$

Từ đó ta tìm được hệ số cứng thu gọn của cơ cấu thu về trục động cơ:

$$c = \frac{M}{\varphi} = \left(\frac{1}{c_{01}} + \frac{1}{c_{12}} + \frac{i_{12}^2}{c_{23}} + \frac{i_{12}^2}{c_{34}} + \frac{i_{12}^2 i_{34}^2}{c_{45}} \right)^{-1} \quad (5.7)$$

1.3 Hệ số cản của cơ cấu truyền

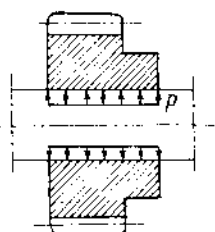
Khi các phần tử của máy biến dạng thì phát sinh cả lực đàn hồi và lực cản. Lực đàn hồi thuộc loại lực có thế, còn lực cản thuộc vào lớp các lực tiêu hao, nó làm tiêu hao cơ năng của máy và tạo nên các dạng năng lượng khác, chẳng hạn nhiệt năng.

Lực tiêu hao được phân chia thành hai loại: lực ma sát trong xuất hiện do bề mặt của các phần tử micro của vật liệu trượt đối với nhau và lực ma sát cấu trúc xuất hiện tại các khớp nối giữa các bộ phận của máy.

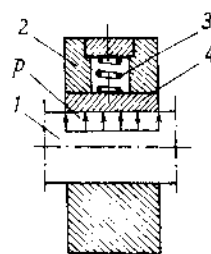
Ví dụ, lực ma sát cấu trúc được cho trên hình 5.8. Do lắp căng chi tiết vào trục quay, nên xuất hiện ở bề mặt tiếp xúc giữa chi tiết và trục các áp suất p. Khi làm việc do chịu tác dụng của các mômen xoắn, trục sẽ bị biến dạng và do đó phát sinh lực ma sát. Ma sát cấu trúc cũng có thể được tạo nên do các thiết bị đặc biệt được gọi là giảm chấn.

Thiết bị giám chấn ma sát khô được cho trên hình 5.9.

Về ma sát bên trong có thể khảo sát mô hình đơn giản sau (hình 5.10a). Xét một yếu tố bị biến dạng do đàn hồi và lực cản. Giả sử $\theta(t)$ là góc xoắn của phần tử. Mômen xoắn M_x có dạng sau:



Hình 5.8 Ma sát cấu trúc



Hình 5.9 Thiết bị giám chấn ma sát khô

$$M_x = c\theta + b\dot{\theta} \quad (5.8)$$

Ở đây $b\dot{\theta}$ là lực cản, được xem là tỷ lệ bậc nhất với vận tốc biến dạng, trong đó b là hệ số cản thường được xác định bằng thực nghiệm. Để xác định hệ số cản b có thể tạo ra dao động xoắn điều hoà $\theta = \theta_0 \sin \omega_0 t$ của phần tử khảo sát và nhờ thực nghiệm thiết lập mối quan hệ giữa mômen xoắn và góc xoắn, tức $M_x(\theta)$. Do có lực cản nên quan hệ $M_x(\theta)$ khác nhau đối với trường hợp $\theta > 0$ và $\theta < 0$ và vẽ được đồ thị $M(\theta)$ (hình 5.10b) được gọi là vòng từ trễ. Trong trường hợp này vòng từ trễ là đường elip. Thực vậy, khi $\theta = \theta_0 \sin \omega t$ thì

$$M_x = c\theta_0 \sin \omega t + b\omega\theta_0 \cos \omega t = c\theta + b\omega \sqrt{\theta_0^2 - \theta^2}$$

Đây là phương trình elip có trục đối xứng xoay một góc đối với hệ trục (M_x, θ) . Diện tích của vòng từ trễ bằng

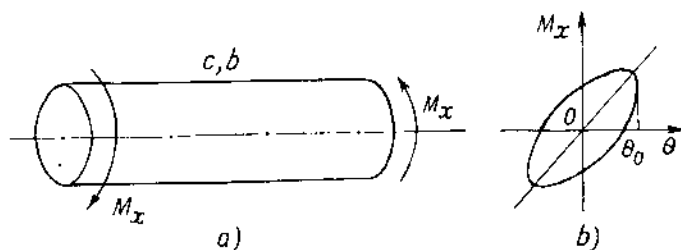
$$\begin{aligned} S &= \int_0^{2\pi/\omega} M_x[\theta(t)]d\theta = \int_0^{2\pi/\omega} M_x[\theta(t)]\dot{\theta}dt = \\ &= \int_0^{2\pi/\omega} (c\theta_0 \sin \omega t + b\omega\theta_0 \cos \omega t)b\omega\theta_0 \cos \omega t dt = \pi b\omega\theta_0^2 \end{aligned}$$

Với tỷ lệ xích chọn trước, ta có công thức tính lực ma sát trong $A = \pi b\omega\theta_0^2$.

Từ đó

$$b = \frac{A}{\pi \omega \theta_0^2} \quad (5.9)$$

Bằng thực nghiệm có thể xác định được công A và nhờ biểu thức (5.9) tính hệ số cản b.



Hình 5.10 Ma sát trong

Từ (5.9) thấy rằng hệ số

cản b tìm từ thực nghiệm phụ thuộc cả vào biên độ và tần số của biến dạng. Vì vậy hệ số cản được tìm từ một chế độ động lực nào đó (thí dụ thay đổi tải rất chậm trong thí nghiệm) có thể không phù hợp đối với chế độ động lực khác.

Để tính đến ảnh hưởng của lực ma sát trong, trong kỹ thuật sử dụng hệ số hao tán δ bằng tỷ số giữa công và giá trị cực đại của thế năng đàn hồi.

$$\delta = A/\Pi_{\max}$$

ở đây

$$\Pi_{\max} = \int_0^{\theta_0} c\theta d\theta = 0,5c\theta_0^2$$

Do đó

$$\delta = \frac{\pi b \omega \theta_0^2}{0,5c\theta_0^2} = \frac{2\pi b \omega}{c} \quad (5.10)$$

Nhiều thí nghiệm cho thấy trong đa số trường hợp hệ số hao tán δ là hằng và nằm trong khoảng $0,2 < \delta < 0,6$. Vì vậy trong thiết kế sơ bộ có thể lấy

$$b = 0,064c/\omega \quad (5.11)$$

Chú ý rằng công thức này chỉ áp dụng được cho trường hợp biến dạng của các phần tử đàn hồi có đặc trưng là điều hoà hay gần điều hoà. Trong những trường hợp phức tạp hơn cần tra khảo trong các chuyên khảo, thí dụ [11]: có thể xác định hệ số cản của từng phần tử của cơ cấu truyền.

Hệ số cản tương đương (thu gọn về trục vào của cơ cấu truyền) được xác định theo công thức tương tự công thức (5.7). Đó là:

$$b = \left(\frac{1}{b_{01}} + \frac{1}{b_{12}} + \frac{i_{12}^2}{b_{23}} + \frac{i_{12}^2}{b_{34}} + \frac{i_{12}^2 i_{34}^2}{b_{45}} \right)^{-1} \quad (5.12)$$

ở đây các đại lượng $b_{r-1,r}$ ($r = 1, 2, \dots, 5$) là các hệ số cản của các khâu riêng rẽ.

2. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY VỚI CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG ĐÀN HỒI

Khảo sát máy với truyền động đàn hồi có hai bậc tự do. Chọn các tọa độ suy rộng là góc định vị φ của khâu ra của động cơ và góc định vị θ của cơ cấu chấp hành (hình 5.11).

Biểu thức động năng của máy sẽ là:

$$T = T_d + T_c = \frac{1}{2} J_d \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} J_c \dot{\theta}^2$$

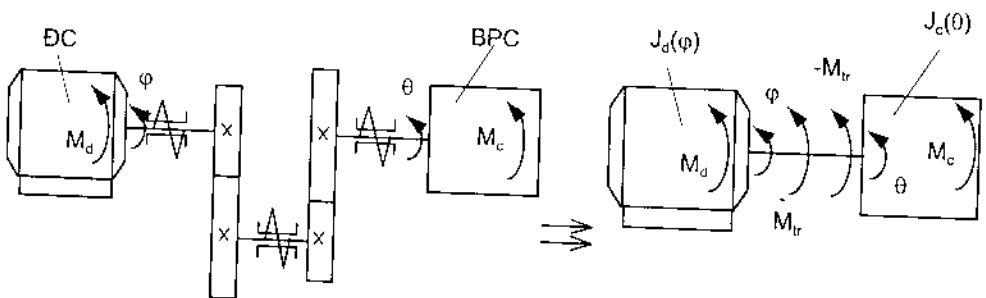
trong đó

$$J_d = J_d(\varphi), \quad J_c = J_c(\theta)$$

Vì cơ cấu truyền động được mô hình trong giả thiết là bỏ qua quán tính của yếu tố đàn hồi còn hệ số cứng xoắn của nó là c nên thế năng của cơ hệ sẽ là

$$\Pi = \frac{1}{2} c(\varphi - \theta)^2$$

và hàm hao tán có dạng $\phi = \frac{1}{2} b(\dot{\varphi} - \dot{\theta})^2$.



Hình 5.11 Sơ đồ máy với cơ cấu đàn hồi

Các lực suy rộng ứng với các lực không thế gồm mômen động cơ và mômen cản có ích ứng với các tọa độ suy rộng φ và θ sẽ là

$$Q_\varphi = M_d; \quad Q_\theta = M_c(\theta, \dot{\theta})$$

Sử dụng phương trình Lagrange loại II ta nhận được phương trình chuyển động của máy.

$$J_d(\varphi)\ddot{\varphi} + \frac{1}{2} \frac{d}{d\varphi} J_d(\varphi) \dot{\varphi}^2 = M_d - b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) - c(\varphi - \theta) \quad (5.13)$$

$$J_c(\theta)\ddot{\theta} + \frac{1}{2} \frac{d}{d\theta} J_c(\theta) \dot{\theta}^2 = b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) + c(\varphi - \theta) + M_c(\theta, \dot{\theta}) \quad (5.14)$$

Phương trình (5.13), (5.14) cùng với phương trình đặc tuyến động cơ (các phương trình (1.3), (1.8), (1.21)) sẽ là hệ phương trình mô tả chuyển động của máy. Từ đó cho phép xác định các đại lượng chưa biết φ , θ và M_d .

Cơ cấu truyền động sẽ chịu mômen động lực được tính theo công thức sau

$$M_{tr} = b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) + c(\varphi - \theta) \quad (5.15)$$

CHƯƠNG 6

CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI CƠ CẤU TRUYỀN ĐÀN TÍNH

1. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI ĐỘNG CƠ CÓ ĐẶC TUYẾN ĐỘNG HỌC LÝ TƯỞNG

1.1 Quy luật chuyển động

Trong trường hợp máy không điều khiển thì, $u = u_0 = \text{const}$, nên với động cơ có đặc tuyến động học lý tưởng ta có

$$\dot{\varphi} = f(u_0) = \omega_0 = \text{const}$$

tức, trục ra của động cơ quay đều $\varphi = \omega_0 t$

Phương trình chuyển động của bộ phận cơ (cơ cấu chấp hành) trong trường hợp này sẽ có dạng

$$J_c(\theta)\ddot{\theta} + \frac{1}{2} \frac{d}{d\theta} J_c(\theta) \dot{\theta}^2 = b(\omega_0 - \dot{\theta}) + c(\omega_0 t - \theta) + M_c(\theta, \dot{\theta}) \quad (6.1)$$

Khi tích phân (6.1) với điều kiện đầu cho, ta nhận được chuyển động của cơ cấu chấp hành.

Phương trình (6.1) nói chung là phương trình phi tuyến, có thể nhận được lời giải nhờ phương pháp tích phân số.

Trong thực tế độ cứng (thu gọn) của cơ cấu truyền động khá lớn. Do đó có thể giả thiết rằng khâu vào của cơ cấu chấp hành có vận tốc góc khác rất ít với chuyển động quay đều. Dựa vào điều này ta có thể sử dụng các biểu thức

$$J_c(\theta) = J_{c0} + \tilde{J}_c(\theta); M_c(\theta, \dot{\theta}) = M_c^0(\dot{\theta}) + \tilde{M}_c(\theta, \dot{\theta})$$

Trong đó $J_{c0}, \tilde{J}_c(\theta), M_c^0(\dot{\theta}), \tilde{M}_c(\theta, \dot{\theta})$ được tính theo các công thức (2.9), (2.16), (2.17).

Phương trình (6.1) bây giờ có thể được viết trong dạng:

$$\begin{aligned} J_{c0}\ddot{\theta} + b(\dot{\theta} - \omega_0) + c(\theta - \omega_0 t) - M_c^0(\dot{\theta}) = \\ = \tilde{J}_c(\theta)\ddot{\theta} - \frac{1}{2} \frac{d\tilde{J}_c}{d\theta}(\theta) \dot{\theta}^2 + \tilde{M}_c(\theta, \dot{\theta}) \end{aligned} \quad (6.2)$$

Các số hạng của vế phải của (6.2) có vai trò thứ yếu. Do đó có thể bỏ qua chúng khi tìm quy luật chuyển động của máy trong chế độ bình ổn trong gần đúng đầu tiên.

Vậy trong gần đúng thứ nhất chuyển động của cơ cấu chấp hành được mô tả nhờ phương trình

$$J_{c0}\ddot{\theta} + b(\dot{\theta} - \omega_0) + c(\theta - \omega_0 t) - M_c^0(\dot{\theta}) = 0 \quad (6.3)$$

Dễ dàng thấy rằng phương trình (6.3) có nghiệm dạng:

$$\dot{\theta}_0 = \omega_0, \theta_0 = \omega_0 t - \Delta \quad (6.4)$$

ở đây $\Delta = -M_c^0(\omega_0)/c \quad (6.5)$

Nghiệm (6.4) xác nhận khâu vào của cơ cấu chấp hành quay đều cùng với vận tốc góc ω_0 của khâu ra của động cơ. Góc quay của hai khâu lệch nhau một góc không đổi Δ do tác dụng của mômen xoắn hằng $M_c^0(\omega_0)$. Như vậy mômen xoắn $M_c^0(\omega_0)$ đã làm xoắn cơ cấu truyền một góc Δ .

Có thể xác định quy luật chuyển động của cơ cấu chấp hành chính xác hơn nhờ phương pháp xấp xỉ liên tiếp. Với mục đích này ta đưa vào ẩn mới được xác định như sau

$$y = \theta - (\omega_0 t - \Delta); \dot{y} = \dot{\theta} - \omega_0; \ddot{y} = \ddot{\theta} \quad (6.6)$$

Các đại lượng y, \dot{y} cho biết độ lệch của chuyển động của cơ cấu chấp hành so với chuyển động quay đều của khâu ra của động cơ. Trong ẩn mới, phương trình (6.2) có dạng

$$\begin{aligned} J_{c0}\ddot{y} + b\dot{y} + c(-\Delta + y) - M_c^0(\omega_0 + y) = \\ = -\frac{1}{2} \frac{d\tilde{J}_c}{d\theta}(\omega_0 t - \Delta)\omega_0^2 + \tilde{M}_c(\omega_0 t - \Delta, \omega_0) \end{aligned} \quad (6.7)$$

Do y bé nên có thể sử dụng

$$-M_c^0(\omega_0 + y) \approx -M_c^0(\omega_0) + v y$$

Tương tự với trường hợp máy cứng, ta đặt

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2} \frac{d\tilde{J}_c}{d\theta}(\omega_0 t - \Delta)\omega_0^2 + \tilde{M}_c(\omega_0 t - \Delta, \omega_0) \equiv \\ \equiv L_c(t - \frac{\Delta}{\omega_0}) = \sum_{l=1}^{\infty} L_{cl} \cos(lvt + \beta'_1) \end{aligned} \quad (6.8)$$

$$\text{ở đây} \quad \beta'_1 = \beta_1 - \frac{l v \Delta}{\omega_0} \quad (6.9)$$

Còn β_1 có cùng ý nghĩa như trong (3.27).

Phương trình (6.7) bây giờ lấy dạng:

$$J_{c0} \ddot{y} + (b + v) \dot{y} + cy = \sum_{l=1}^{\infty} L_{cl} \cos(lvt + \beta'_l) \quad (6.10)$$

Như đã biết nghiệm tổng quát của (6.10) là tổng của nghiệm tổng quát của phương trình không về hai tương ứng với nó và nghiệm riêng của phương trình có về hai. Trong trường hợp lực cản bé, ta có

$$y = e^{-nt} (C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_2 t) + \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl} \cos(lvt + \beta'_l + \xi_l)}{\sqrt{(c - l^2 v^2 J_{c0})^2 + (b + v)^2 l^2 v^2}} \quad (6.11)$$

$$\text{ở đây} \quad n = \frac{b + v}{J_{c0}}; k_1^2 = k_0^2 - n^2; k_2^2 = \frac{c}{J_{c0}} \quad (n < k_0) \quad (6.12)$$

$$\xi_l = \arg[c - l^2 v^2 J_{c0} - (b + v)l v]; \quad j = \sqrt{-1}$$

Các hằng số tích phân được xác định từ điều kiện ban đầu. Thành phần dao động tự do (ứng với các số hạng chứa các hằng số tích phân C_1, C_2) sẽ bị dập tắt nhanh do lực cản, nên trong chuyển động bình ổn chỉ còn

$$y^* = \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl} \cos(lvt + \beta'_l + \xi_l)}{\sqrt{(c - l^2 v^2 J_{c0})^2 + (b + v)^2 l^2 v^2}} \quad (6.13)$$

Khi thay (6.13) vào (6.6) sẽ tìm được nghiệm gần đúng dạng

$$\theta(t) = \omega_0 t + y^*(t) - \Delta, \quad \dot{\theta}(t) = \omega_0 + \dot{y}^*(t) \quad (6.14)$$

1.2 Mômen động lực trong cơ cấu truyền động (hình 6.1)

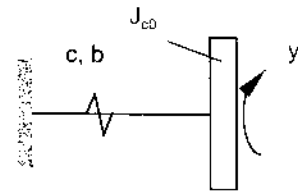
Mômen động lực do dao động (6.13) gây nên cho cơ cấu truyền động, theo (5.15) sẽ bằng

$$\tilde{M}_{tr} = cy^* + b\dot{y}^* = \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl} \sqrt{c^2 + b^2 l^2 v^2} \cos(lvt + x_l)}{\sqrt{(c - l^2 v^2 J_{c0})^2 + (b + v)^2 l^2 v^2}} \quad (6.15)$$

Ta xét một thành phần nào đó của (6.15), ví dụ, thành phần ứng với tần số ω :

$$\xi_{tr} = \frac{(\tilde{M}_{tr})_{\max}}{L_{cm}} = \frac{\sqrt{c^2 + b^2 \omega^2}}{\sqrt{(c - \omega^2 J_{c0})^2 + (b + v)^2 \omega^2}} \quad (6.16)$$

Đại lượng ξ_{tr} một mặt cho biết biên độ của mômen động lực gấp bao lần biên độ của kích động, một mặt cho biết đặc trưng biên độ - tần số. Đồ thị của quan hệ (6.16) được cho trên hình 6.2.



Hình 6.1 Cơ cấu truyền động

$$\text{Khi } \omega > \sqrt{2} k_0 \text{ thì } \xi_{tr} < 1 \quad (6.17)$$

Thực vậy:

$$\xi_{tr}|_{\omega=\sqrt{2}k_0} = \frac{\sqrt{c^2 + 2b^2 k_0^2}}{\sqrt{(c - 2c)^2 + 2(b + v)^2 k_0^2}} < 1$$

Và khi ω tiếp tục tăng thì ξ_{tr} giảm đơn điệu và tiến đến không.

$$\text{Quan hệ (6.17) đúng cho trường hợp } v^2 > \frac{2k_0^2}{J^2}$$

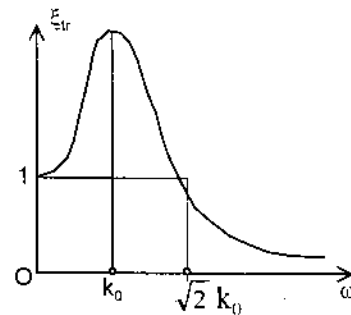
Vậy khi $v^2 > 2k_0^2$ các biên độ của tất cả các số hạng trong điều hoà của \tilde{M}_{tr} đều nhỏ hơn biên độ của số hạng điều hoà tương ứng của kích động $L_c(t)$.

Điều này được áp dụng vào việc bảo vệ cơ cấu truyền động để chống lại mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền động.

Khi độ cứng của cơ cấu truyền động không đảm bảo điều kiện $v^2 > 2k_0^2$ thì có thể nối tiếp cơ cấu truyền động với một phần tử đàn hồi có độ cứng c_0 . Lúc đó, độ cứng tổng cộng của máy c_* sẽ được tính theo công thức:

$$\frac{1}{c_*} = \frac{1}{c} + \frac{1}{c_0} \text{ suy ra } c_* = \frac{cc_0}{c + c_0}$$

Khi đó tần số riêng của cơ cấu truyền động, ký hiệu là k , sẽ bằng:



Hình 6.2 Đồ thị của biểu thức (6.16)

$$k_*^2 = \frac{c_*}{J_{c0}} = \frac{cc_0}{J_{c0}(c + c_0)}$$

Điều kiện $v^2 > 2k_*^2$ được thoả mãn nếu $v^2 > \frac{2cc_0}{J_{c0}(c + c_0)}$

Độ cứng cần thiết của phần tử đàn hồi cần ghép vào sẽ bằng

$$c_0 \leq \frac{0,5J_{c0}v^2}{c - 0,5J_{c0}v^2}$$

1.3 Sai số động lực

Các đại lượng y , \dot{y} trong (6.6) có thể xem là các sai số động lực về góc và vận tốc góc. Sai số động lực về vận tốc góc được tính theo công thức sau:

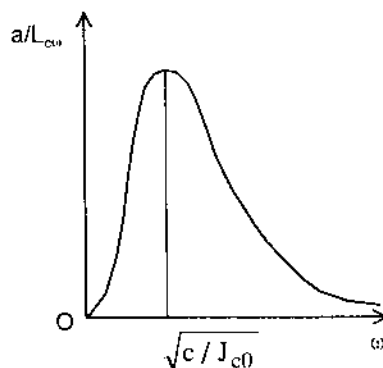
$$\dot{y}^*(t) = - \sum_{l=1}^{\infty} \frac{L_{cl} v_l \cos(lvt + \beta'_l + \xi_l)}{\sqrt{(c - l^2 v^2 J_{c0})^2 + (b + v)^2 l^2 v^2}} \quad (6.18)$$

Ta sẽ khảo sát chi tiết sai số động lực về vận tốc góc nhờ đặc trưng biên độ - tần số của nó.

Muốn thế ta xét một số hạng điều hoà nào đó, ví dụ, số hạng điều hoà $lv \equiv \omega$. Biên độ của thành phần này sẽ là:

$$a(\omega) = \frac{L_{c0} \omega}{\sqrt{(c - \omega^2 J_{c0})^2 + (b + v)^2 \omega^2}} \quad (6.19)$$

Trên hình 6.3 là đồ thị cho mối quan hệ (6.19).



Hình 6.3 Đồ thị của biểu thức (6.19)

$$\text{Khi} \quad \omega = \sqrt{\frac{c}{J_0}} = k_0 \quad (6.20)$$

tức khi tần số kích động trùng với tần số riêng k_0 của cơ cấu chấp hành, thì tỷ số $a(\omega)/L_{c0}$ đạt giá trị khá lớn, rất gần với giá trị cực đại của nó.

Trong thực tế giá trị đó được xem là cực đại và xảy ra hiện tượng cộng hưởng:

$$\left[\frac{a(\omega)}{L_{c0}} \right]_{\max} = \frac{1}{b + v} \quad (6.21)$$

Cộng hưởng do dao động gây nên làm tăng mômen động lực trong cơ cấu truyền động. Dễ dàng tính được giá trị mômen này khi cộng hưởng theo (6.16).

$$\left(\tilde{M}_{lr} \right)_{\max} = \frac{\sqrt{c^2 + b^2 k_0^2}}{k_0 (b + v)} L_{c0} \quad (6.22)$$

Khi $\omega = v$ ta có cộng hưởng cơ bản. Đó là cộng hưởng nguy hiểm nhất.

Trong thực tế tỷ số $\left(\tilde{M}_{lr} \right)_{\max} / L_{c0}$ có thể đạt từ 10÷20. Do đó cần thiết phải áp dụng các biện pháp để tránh cộng hưởng. Có mấy biện pháp chính sau:

a. Cho máy làm việc trước cộng hưởng, tức $k_0 \gg v$

Thông thường máy làm việc trước cộng hưởng nếu chọn $k_0 > 2v$. Để thực hiện điều kiện này ta cần phải có:

$$c = 4v^2 J_{c0} \quad (6.23)$$

Tuy nhiên để máy làm việc trước cộng hưởng thì, nếu tránh được cộng hưởng cơ bản nó có thể bị rơi vào cộng hưởng bậc cao ($k_0 \approx lv$). Trường hợp này được gọi là cộng hưởng bội bậc 1.

b. Cho máy làm việc sau cộng hưởng, tức là $k_0 \ll v$

Trong trường hợp máy có hành trình nhanh ($v > 150 \div 200$ l/s) thì không thể chọn chế độ làm việc trước cộng hưởng vì trong trường hợp như vậy máy cần độ cứng rất lớn. Đối với trường hợp này phải chọn chế độ làm việc sau cộng hưởng.

Thông thường chọn $v > 2k_0$ tức độ cứng của máy phải thoả mãn điều kiện:

$$c < J_{c0} v^2 / 4 \quad (6.24)$$

Máy làm việc sau cộng hưởng có thể xảy ra cộng hưởng trong quá trình mở máy. Để tránh điều này cần tăng tốc trong quá trình mở máy nhờ tăng công suất động cơ.

Để có một quyết định đúng đắn trong việc chọn mô hình động lực của máy, hãy so sánh sai số động lực về vận tốc góc trong trường hợp

máy có cơ cấu truyền động đàn hồi làm việc với động cơ có đặc tuyến động học lý tưởng và với máy cứng làm việc với động cơ có đặc tuyến tĩnh.

+ Khảo sát trường hợp kích động điều hoà.

Đối với trường hợp máy cứng có động cơ làm việc với đặc tuyến tĩnh, sai số động lực được tính theo công thức (3-42):

$$|\dot{\psi}|_{\max} = \frac{L_{\text{cđ}}}{\sqrt{J_{\text{đ}}^2 \omega^2 + (s+v)^2}} = \frac{L_{\text{cđ}}}{\sqrt{(J_{\text{đđ}} + J_{\text{cđ}})^2 \omega^2 + (s+v)^2}}$$

+ Còn trường hợp máy với cơ cấu truyền động đàn hồi theo công thức (6.19), tức

$$|\dot{\psi}|_{\max} = a(\omega) = \frac{\omega L_{\text{cđ}}}{\sqrt{(c - \omega^2 J_{\text{cđ}})^2 + (b+v)^2 \omega^2}}$$

$$\text{Do đó } \xi = \frac{|\dot{\psi}|_{\max}}{|\dot{\psi}|_{\max}} = \frac{\sqrt{(c - \omega^2 J_{\text{cđ}})^2 + (b+v)^2 \omega^2}}{\omega^2 \sqrt{(J_{\text{đđ}} + J_{\text{cđ}})^2 \omega^2 + (s+v)^2}} \quad (6.25)$$

Từ đây nhận xét rằng với cùng giá trị của các thông số của máy và cùng tần số ω , nếu $\xi \ll 1$ thì $|\dot{\psi}|_{\max} \ll |\dot{y}|_{\max}$, tức là độ đàn hồi của cơ cấu truyền động ảnh hưởng rất lớn đến độ không đều của chuyển động quay. Như vậy, trong trường hợp này không được sử dụng mô hình máy cứng.

Ngược lại, nếu $\xi \gg 1$, độ đàn hồi của cơ cấu truyền động không đóng vai trò quan trọng, ít nhất trong việc xác định sai số động lực về vận tốc góc. Từ thực tế tính toán cho thấy chỉ khi $\omega^2 > k_0^2/3$ mới cần thiết phải kể đến tính đàn hồi của cơ cấu truyền động khi tính toán sai số động lực.

Cần lưu ý thêm rằng trong miền sau cộng hưởng, tức với $\omega^2 \gg k^2$ thì $\xi \ll 1$, bao gồm cả trường hợp $\omega \rightarrow \infty$ thì $\xi \rightarrow J_{\text{cđ}}/J_{\text{đ}}$.

2. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY CÓ CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG ĐÀN HỒI VỚI ĐỘNG CƠ LÀM VIỆC VỚI ĐẶC TUYẾN TĨNH

2.1 Phương trình chuyển động của máy

Trong trường hợp động cơ làm việc với đặc tuyến tĩnh thì mômen động cơ là hàm đã biết của thông số điều khiển, tọa độ và vận tốc góc của khâu ra của động cơ, tức là:

$$M_d = M_d(u, \varphi, \dot{\varphi})$$

Phương trình chuyển động của máy không điều khiển, theo (5-13), (5-14), sẽ là :

$$J_d(\varphi)\ddot{\varphi} + \frac{1}{2} \frac{d}{d\varphi} J_d(\varphi) \dot{\varphi}^2 = M_{dt}(u_0, \varphi, \dot{\varphi}) - b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) - c(\varphi - \theta)$$

$$J_c(\theta)\ddot{\theta} + \frac{1}{2} \frac{d}{d\theta} J_c(\theta) \dot{\theta}^2 = b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) + c(\varphi - \theta) + M_c(\theta, \dot{\theta})$$

Khi sử dụng các kết quả được nêu trong chương 2, các phương trình được viết trong dạng sau

$$\begin{aligned} J_{d0}\ddot{\varphi} + b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) + c(\varphi - \theta) - M_{dt}^0(u_0, \dot{\varphi}) &= -\tilde{J}_d(\varphi)\ddot{\varphi} - 0.5\tilde{J}_d'(\varphi)\dot{\varphi}^2 + \tilde{M}_{dt}(u_0, \varphi, \dot{\varphi}) \\ J_{c0}\ddot{\theta} + b(\dot{\theta} - \dot{\varphi}) + c(\theta - \varphi) - M_c^0(\dot{\theta}) &= \\ &= -\tilde{J}_c(\theta)\ddot{\theta} - 0.5\tilde{J}_c'(\theta)\dot{\theta}^2 + \tilde{M}_c(\theta, \dot{\theta}) \end{aligned} \quad (6.26)$$

ở đây
$$\tilde{J}_d = \frac{\partial \tilde{J}_d(\varphi)}{\partial \varphi}, \quad \tilde{J}_c = \frac{\partial \tilde{J}_c(\theta)}{\partial \theta}$$

Cũng như trong trường hợp máy cứng, các thành phần của vế phải trong phương trình (6.26) gây nên chuyển động quay không đều. Do đó để tìm chuyển động bình ổn ta khảo sát hệ phương trình sau

$$\left. \begin{aligned} J_{d0}\ddot{\varphi} + b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) + c(\varphi - \theta) - M_{dt}^0(u_0, \dot{\varphi}) &= 0 \\ J_{c0}\ddot{\theta} + b(\dot{\theta} - \dot{\varphi}) + c(\theta - \varphi) - M_c^0(\dot{\theta}) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6.27)$$

Hệ phương trình (6.27) có nghiệm dạng

$$\varphi_0 = \omega_0 t; \quad \theta_0 = \omega_0 t - \Delta; \quad \dot{\varphi}_0 = \omega_0; \quad \dot{\theta}_0 = \omega_0 \quad (6.28)$$

ở đây các hằng số ω_0 và Δ được xác định từ các phương trình sau

$$c\Delta = M_{dt}^0(u_0, \omega_0) = -M_c^0(\omega_0) \quad (6.29)$$

Nghiệm (6.28) ứng với chuyển động quay đều của khâu ra của động cơ và khâu vào của cơ cấu chấp hành. Giá trị ω_0 tìm được từ (6.29) rõ ràng trùng với vận tốc góc quay đều của máy cứng. Như vậy độ đàn hồi của cơ cấu truyền động không ảnh hưởng (trong gần đúng thứ nhất) đến giá trị trung bình của vận tốc góc trong chế độ bình ổn.

2.2 Ổn định của chuyển động quay đều

Phương trình đại số phi tuyến (6.29) có thể có một số nghiệm. Chỉ có nghiệm ổn định mới tương ứng với chuyển động thực của máy.

Để khảo sát tính ổn định của nghiệm của phương trình (6.29), ta đưa vào các đại lượng nhiễu ξ và σ :

$$\xi = \varphi - \omega_0 t; \quad \sigma = \theta - (\omega_0 t - \Delta) \quad (6.30)$$

Từ đây

$$\dot{\xi} = \dot{\varphi} - \omega_0; \quad \ddot{\xi} = \ddot{\varphi}; \quad \dot{\sigma} = \dot{\theta} - \omega_0; \quad \ddot{\sigma} = \ddot{\theta} \quad (6.31)$$

Khi thay các đại lượng từ (6.30) và (6.31) vào (6.27) ta nhận được

$$\begin{aligned} J_{d0} \ddot{\xi} + b(\dot{\xi} - \dot{\sigma}) + c(\xi - \sigma) + s\dot{\xi} &= 0 \\ J_{c0} \ddot{\sigma} + b(\dot{\sigma} - \dot{\xi}) + c(\sigma - \xi) + v\dot{\sigma} &= 0 \end{aligned} \quad (6.32)$$

Phương trình đặc trưng của hệ phương trình này là:

$$\begin{vmatrix} J_{d0}\lambda^2 + (b+s)\lambda + c & -(b\lambda + c) \\ -(b\lambda + c) & J_{c0}\lambda^2 + (b+v)\lambda + c \end{vmatrix} = 0$$

Nó được viết trong dạng khai triển như sau:

$$\begin{aligned} J_{d0}J_{c0}\lambda^4 + [(b+v)J_{d0} + (b+s)J_{c0}]\lambda^3 \\ + [(J_{d0} + J_{c0})c + b(s+v) + sv]\lambda^2 + (s+v)c\lambda = 0 \end{aligned} \quad (6.33)$$

Phương trình (6.33) có một nghiệm không, ứng với chế độ quay tự do của máy. Các nghiệm còn lại có phần thực âm nếu tất cả các hệ số của chúng đều dương và thoả mãn tiêu chuẩn Hurwitz:

$$J_{d0}J_{c0}(s+v)c < [(b+v)J_{d0} + (b+s)J_{c0}][(J_{d0} + J_{c0})c + b(s+v) + sv]$$

Để dàng chỉ ra rằng nghiệm ω_0^* của (6.27) là ổn định nếu thực hiện các điều kiện:

$$s = -\frac{\partial M_{dt}^0}{\partial \dot{\varphi}}(u_0, \omega_0^*) > 0; \quad v = -\frac{\partial M_c^0}{\partial \dot{\theta}}(\omega_0^*) > 0 \quad (6.34)$$

Như vậy ta nhận được điều kiện đủ (6.34) để cho nghiệm ω_0^* của (6.27) là ổn định. Khi đó máy sẽ quay đều với vận tốc góc ω_0^* .

2.3 Sai số động lực

Khi áp dụng phương pháp xấp xỉ liên tiếp để tìm nghiệm chính xác hơn của phương trình (6.26) ta viết nghiệm của nó trong dạng:

$$\begin{aligned} \varphi &= \omega_0 t + x; & \theta &= \omega_0 t - \Delta + y \\ \dot{\varphi} &= \omega_0 + \dot{x}; & \dot{\theta} &= \omega_0 + \dot{y}; & \ddot{\theta} &= \ddot{y} \end{aligned} \quad (6.35)$$

ở đó:

ω_0 là nghiệm ổn định của (6.27);

x, y là những hàm của thời gian cần xác định, thêm vào đó \dot{x}, \dot{y} được giả thiết là bé so với ω_0 .

Để áp dụng phương pháp xấp xỉ liên tiếp ta thay (6.35) vào vế trái của phương trình (6.26), còn trong vế phải của nó ta thay các biểu thức (6.28).

Tuyến tính hoá các đặc tuyến $M_d^0(u_0, \varphi)$ và $M_C^0(\theta)$ lân cận $\varphi = \theta = \omega_0$ và sử dụng các kết quả trong chương 3.

$$\left. \begin{aligned} J_{d0}\ddot{x} + (s+b)\dot{x} + cx - by - cy &= L_d(t) \\ J_{d0}\ddot{y} + (v+b)\dot{y} + cy - bx - cx &= L_c(t - \Delta/\omega_0) \end{aligned} \right\} \quad (6.36)$$

ở đây: $L_d(t)$ được tính theo (3.23), còn $L_c(t - \Delta/\omega_0)$ được tính theo (3.24), trong đó t được thay bằng $t - \Delta/\omega_0$.

Hệ phương trình (6.36) được viết trong dạng toán tử như sau

$$\left. \begin{aligned} [J_{d0}p^2 + (s+b)p + c]x - (bp+c)y &= L_d(t) \\ -(bp+c)x + [J_{c0}p^2 + (v+b)p + c]y &= L_c(t - \Delta/\omega_0) \end{aligned} \right\} \quad (6.37)$$

Hệ phương trình (6.37) có nghiệm dạng

$$x = W_{dx}(p)L_d + W_{cx}(p)L_c; \quad y = W_{dy}(p)L_d + W_{cy}(p)L_c \quad (6.38)$$

$$\dot{x} = pW_{dx}(p)L_d + pW_{cx}(p)L_c; \quad \dot{y} = pW_{dy}(p)L_d + pW_{cy}(p)L_c \quad (6.39)$$

ở đây

$$\left. \begin{aligned} W_{dx}(p) &= \frac{1}{D(p)} [J_{d0}p^2 + (v+b)p + c] \\ W_{cx}(p) = W_{dy}(p) &= \frac{1}{D(p)} (bp+c) \\ W_{cy}(p) &= \frac{1}{D(p)} [J_{d0}p^2 + (s+b)p + c] \\ D(p) &= [J_{d0}p^2 + (s+b)p + c] \cdot [J_{c0}p^2 + (v+b)p + c] - (bp+c)^2 \end{aligned} \right\} \quad (6.40)$$

Xác định biên độ của sai số theo vận tốc góc ở khâu ra của cơ cấu truyền động trong trường hợp sau:

$$L_d = 0; \quad L_c = L_1 \cos \omega t; \quad b = v = 0$$

Từ phương trình thứ hai của (6.39) ta nhận được:

$$\begin{aligned} |\dot{y}(t)|_{\max} &= \omega L_1 |W_{cy}(j\omega)| = \frac{|c - J_{d0}\omega^2 + sj\omega| \omega L_1}{|(c - J_{d0}\omega^2 + sj\omega)(c - J_{c0}\omega^2) - c^2|} = \\ &= \frac{\sqrt{(c - J_{d0}\omega^2)^2 + s^2\omega^2} L_1}{\sqrt{[c(J_{d0} + J_{c0}) - J_{d0}J_{c0}\omega^2]^2\omega^2 + (c - J_{c0}\omega^2)^2s^2}} = K_{\dot{y}}(\omega)L_1 \end{aligned} \quad (6.41)$$

ở đây

$$K_{\dot{y}}(\omega) = (J_{d0} + J_{c0})^{-1} \sqrt{\frac{(1 - k_d^2\omega^2)^2 + \tau_d^2 k_d^4\omega^2}{(1 - k^2\omega^2)^2\omega^2 + \tau_M^2(1 - k_0^2\omega^2)^2}} \quad (6.42)$$

với

$$\left. \begin{aligned} k_d^2 &= \frac{c}{J_{d0}}; k_0^2 = \frac{c}{J_{c0}}; k^2 = \frac{c(J_{d0} + J_{c0})}{J_{d0}J_{c0}} \\ \tau_d &= \frac{J_{d0}}{s}; \tau_M = \frac{J_{d0} + J_{c0}}{s} \end{aligned} \right\} \quad (6.43)$$

Trên hình 6.4 xây dựng đồ thị của đường đặc trưng biên độ - tần số. Các đường được xây dựng với các giá trị như nhau của thông số động cơ và độ cứng của cơ cấu truyền động, chỉ khác nhau về giá trị của J_{c0} . Từ đồ thị rút ra các kết luận sau:

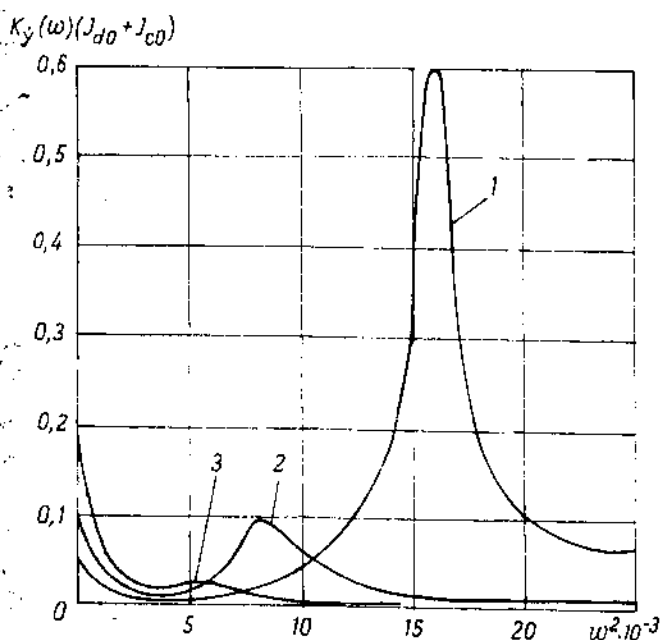
+ Cộng hưởng phụ thuộc vào tỷ số J_{d0} và J_{c0} . Nếu $J_{d0} \gg J_{c0}$ động cơ ảnh hưởng yếu đối với dao động phát sinh trong bộ phận cơ, vì mặc dù tăng mômen quán tính của động cơ khá lớn nhưng phát sinh dao động ở cơ cấu chấp hành là đáng kể (chú ý rằng đồ thị cho trên hình $K_{\dot{y}}(\omega)$ đã được nhân lên với $(J_{d0} + J_{c0})$).

+ Cộng hưởng trong trường hợp này xảy ra rất gần với tần số k là tần số riêng của hệ hai khối lượng.

Khi $J_{d0} \ll J_{c0}$ động cơ dập tắt các dao động cộng hưởng. Độ cong của đặc tuyến động cơ có ảnh hưởng lớn đến việc phát sinh dao động cộng hưởng. Từ (6.42) cho thấy khi s có các giá trị khá bé ($s \approx 0$) cộng hưởng sẽ phát sinh nếu $\omega^2 = c(J_{d0} + J_{c0})/J_{d0}J_{c0} = k^2$, tức là khi tần số riêng của hai khối lượng và tần số kích động trùng nhau. Nếu $s \rightarrow \infty$ thì từ (6.42) ta nhận được:

$$|\dot{y}(t)| = \omega L_1 / (c - J_{c0}\omega^2) \quad (6.44)$$

Trong trường hợp này cộng hưởng sẽ phát sinh khi $\omega \approx k_0$. Việc dập tắt có hiệu quả nhất các dao động cộng hưởng đối với tất cả các tần số xảy ra được thực hiện ứng với một số giá trị trung bình của độ cong của đặc tuyến động cơ.



Hình 6.4 Đường đặc trưng biên độ - tần số

$\tau_d = 0,05s$

1. $J_{d0} = 3J_{c0}$; $\tau_M = 0,067s$; $k_0^2 = 12 \cdot 10^3 s^{-2}$; $k^2 = 16 \cdot 10^3 s^{-2}$

2. $J_{d0} = J_{c0}$; $\tau_M = 0,1s$; $k_0^2 = 4 \cdot 10^3 s^{-2}$; $k^2 = 8 \cdot 10^3 s^{-2}$

3. $J_{d0} = 0,33J_{c0}$; $\tau_M = 0,2s$; $k_0^2 = 1,33 \cdot 10^3 s^{-2}$; $k^2 = 5,33 \cdot 10^3 s^{-2}$

2.4 Mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền động

Giả sử x và y là độ lệch của chuyển động quay của trục động cơ và cơ cấu chấp hành so với chế độ quay đều của chúng, tức là:

$$\varphi = \omega_0 t + x; \quad \theta = \omega_0 t - \Delta + y$$

Từ đây tính được góc biến dạng của cơ cấu truyền

$$\alpha = \varphi - \theta = \omega_0 t + x - \omega_0 t + \Delta - y = \Delta + x - y; \quad \dot{\alpha} = \dot{x} - \dot{y}$$

Mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền động được tính theo (5-15):

$$M_{tr} = c\alpha + b\dot{\alpha} = c\Delta + c(x - y) + b(\dot{x} - \dot{y}) = c\Delta + c\xi + b\dot{\xi}$$

ở đây $\xi = x - y$; $\dot{\xi} = \dot{x} - \dot{y}$

Biểu thức của mômen động lực trong cơ cấu truyền động viết trong dạng toán tử sẽ là:

$$M_{tr}(p) = c\Delta + (bp + c)\xi = c\Delta + (bp + c)(x - y)$$

Vì $x - y = [W_{dx}(p) - W_{dy}(p)]L_d + [W_{cx}(p) - W_{cy}(p)]L_c$

nên $M_{tr}(p) = c\Delta + (bp + c)[W_d^*(p)L_d - W_c^*(p)L_c]$ (6.45)

ở đây $W_d^*(p) = W_{dx}(p) - W_{dy}(p); W_c^*(p) = W_{cx}(p) - W_{cy}(p)$

Dựa vào (6.40) ta có

$$W_d^*(p) = (J_{c0}p^2 + vp)D^{-1}(p); W_c^*(p) = (J_{d0}p^2 + sp)D^{-1}(p) \quad (6.46)$$

Thành phần đầu trong (6.45) là mômen tĩnh tác dụng lên cơ cấu truyền, hai thành phần còn lại là mômen động lực \tilde{M}_{tr} . Khảo sát các tính chất của nó trong trường hợp $L_d \equiv 0, v = b = 0; L_c = L_1 \cos \omega t$. Khi đó ta nhận được:

$$\begin{aligned} \tilde{M}_{tr} &= \frac{c(J_{d0}p^2 + sp)}{D(p)} L_c = \\ &= \frac{c\sqrt{(J_{d0}^2\omega^2 + s^2)L_1 \cos(\omega t + \varepsilon)}}{\sqrt{[c(J_{d0} + J_{c0}) - J_{d0}J_{c0}\omega^2]^2\omega^2 + (c - J_{c0}\omega^2)^2s^2}} \end{aligned} \quad (6.47)$$

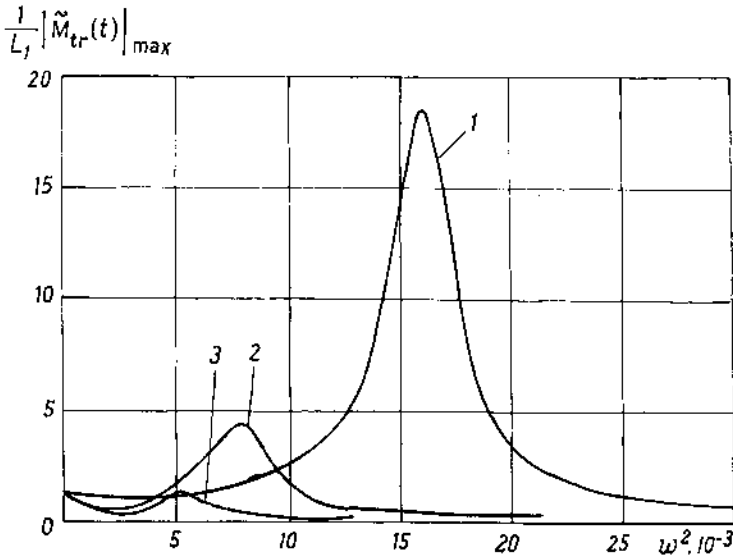
$$\text{ở đây} \quad \varepsilon = \arg[(-J_{d0}\omega^2 + sj)D^{-1}(j\omega)] \quad (6.48)$$

Khi đưa vào các ký hiệu (6.43) ta có:

$$\frac{|\tilde{M}_{tr}(t)|_{\max}}{L_1} = \sqrt{\frac{1 + \tau_d^2\omega^2}{\tau_M^2\omega^2(1 - k^{-2}\omega^2)^2 + (1 - k_0^{-2}\omega^2)^2}} \quad (6.49)$$

Trên

hình 6.5 cho đồ thị xác lập mối quan hệ (6.49) theo giá trị các thông số $\tau_d, \tau_M, k^2, k_0^2$ đã sử dụng để xây dựng đồ thị trên hình 6.4. Cộng hưởng xảy ra khi tần số kích động ω trùng với tần số riêng của hệ hai khối lượng (tức khi $\omega \approx k$).



Hình 6.5 Đồ thị của biểu thức 6.49.

2.5 Mômen phát động (mômen động cơ)

Để xác định mômen phát động ta sử dụng biểu thức tuyến tính hoá của đặc tuyến tính của động cơ

$$M_d \approx M_{dt}^0(u_0, \omega_0) - s(\dot{\varphi} - \omega_0) = M_{dt}^0(u_0, \omega_0) - s\dot{x}$$

Thay biểu thức của \dot{x} từ (6.39) ta nhận được

$$\begin{aligned} M_d(p) &= M_{dt}^0(u_0, \omega_0) - sp[W_{dx}(p)L_d + W_{cx}(p)L_c] = \\ &= M_{dt}^0(u_0, \omega_0) - spD^{-1}(p)\{[J_{c0}p^2 + (v+b)p + c]L_d + (bp+c)L_c\} \end{aligned} \quad (6.50)$$

Thành phần đầu xác định giá trị trung bình của mômen phát động, còn thành phần thứ hai - thành phần động lực biến thiên của nó. Ta khảo sát thành phần sau trong trường hợp $L_d = 0$; $b = v = 0$. Khi đó:

$$\begin{aligned} \tilde{M}_p(p) &= -\frac{scp}{(J_{d0}p^2 + sp + c)(J_{c0}p^2 + c) - c^2}L_c = \\ &= -\frac{sc}{J_{d0}J_{c0}p^2 + c(J_{d0} + J_{c0})p + sJ_{c0}p^2 + sc}L_c = \\ &= [\tau_M p(p^2/k^2 + 1) + p^2/k_0^2 + 1]^{-1}L_c \end{aligned} \quad (6.51)$$

Ứng với kích động điều hoà $L_c = L_t \cos \omega t$, ta nhận được

$$\begin{aligned} \tilde{M}_d(t) &= scL_t \cos(\omega t + \alpha) \left\{ c(J_{d0} + J_{c0}) - J_{d0}J_{c0}\omega^2 \right\}^{-1/2} \omega^2 + s^2(c - J_{c0}\omega^2)^2 \}^{-1/2} = \\ &= L_t \left[\tau_M^2 \omega^2 (1 - \omega^2/k^2)^2 + (1 - \omega^2/k_0^2)^2 \right]^{-1/2} \cos(\omega t + \alpha) \end{aligned} \quad (6.52)$$

ở đây $\alpha = \pi + \arg[1 - \omega^2/k_0^2 + \tau_M j\omega(1 - \omega^2/k^2)]$

Biên độ của mômen phát động lấy giá trị lớn khi $\omega = k_0$ và cả khi $\omega = k$.

Trong trường hợp đầu, tức $\omega = k_0$, ta có:

$$(\tilde{M}_d)_{\max} = \frac{L_t}{\tau_M k_0 (1 - k_0^2/k^2)} = \frac{L_t J_0}{\tau_M k_0 J_{c0}} \quad (6.53)$$

Thông thường $\tau_M k_0 \gg 1$, nên biên độ trong trường hợp này không quá lớn, thậm chí khi $J_0 \gg J_{d0}$.

Trong trường hợp thứ hai, tức $\omega = k$, thì:

$$(\tilde{M}_d)_{\max} = \frac{L_1}{k^2/k_0^2 - 1} = \frac{L_1 J_0}{J_{d0}} \gg L_1 \quad (6.54)$$

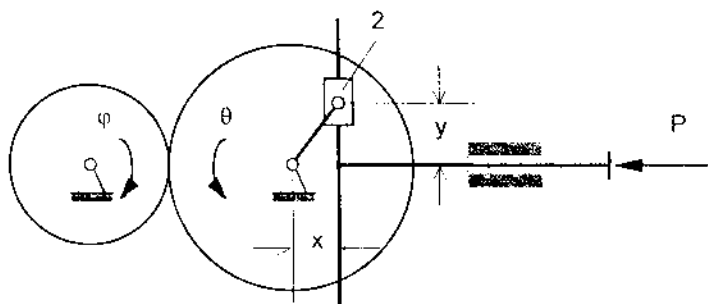
Vậy trong trường hợp này biên độ của mômen phát động luôn luôn lớn hơn biên độ của kích động. Nếu tăng J_{d0} (bằng cách lắp thêm vô lăng trên trục ra động cơ) thì $(\tilde{M}_d)_{\max}$ giảm và tiến đến giới hạn L_1 . Nếu tăng J_{c0} sẽ làm tăng mômen phát động.

Khi so sánh biên độ của \tilde{M}_d và \tilde{M}_{tr} ta thấy rằng ứng với mọi giá trị của ω luôn xảy ra $(\tilde{M}_d)_{\max} < (\tilde{M}_{tr})_{\max}$.

Từ đây rút ra kết luận là: khi thực hiện điều kiện $(\tilde{M}_{tr})_{\max} < M_0$, $M_0 = c\Delta$ để đảm bảo M_{tr} không thay đổi dấu thì giá trị cực đại của mômen phát động $[M_0 + (\tilde{M}_d)_{\max}]$ không thể vượt quá hai lần giá trị của mômen tĩnh theo như quy định.

Thí dụ 6.1.

Khảo sát máy có sơ đồ như hình 6.6. Động cơ điện truyền động cho tay quay của cơ cấu tay quay - con trượt với tỷ số truyền động $i = 2$. Giả sử động cơ làm việc với đặc tuyến có dạng $M_{d0}(u_0, \phi) = 1740 - 16,64\phi$. Động cơ có mômen quán tính $J_{d0} = 0,576 \text{ Nms}^2$; $\tilde{J}_d \approx 0$. Culit có khối lượng $m_3 = 10 \text{ kg}$, con trượt có khối lượng $m_2 = 2,5 \text{ kg}$ trục quay 0 cùng với các chi tiết lắp trên nó có khối tâm rơi vào trục quay và có mômen quán tính đối với trục quay O là $0,977 \text{ Nms}^2$, bán kính tay quay $r = 0,1 \text{ m}$.



Hình 6.6 Sơ đồ máy cho thí dụ 6.1

Lực P
tác dụng lên
culit theo phương ngang

$$P = P_0 + P_1 \text{sign } \dot{x} - \beta \dot{x}$$

ở đây

$$P_0 = 1000 \text{ N};$$

$$P_1 = 800 \text{ N};$$

$$\beta = 160 \text{ Ns/m};$$

x - toạ độ của culit.

Hàm sign \dot{x} được định nghĩa:

$$\text{sign } \dot{x} = \begin{cases} 1 & \text{khi } \dot{x} > 0 \\ -1 & \text{khi } \dot{x} < 0 \end{cases}$$

Cơ cấu truyền động được mô hình hoá là phần tử không quán tính có độ cứng xoắn $c = 1400 \text{ Nm}$ và hệ số cản nhớt $b = 1 \text{ Nms}$. Bỏ qua ma sát tại các khớp động, còn tay quay chịu tác dụng ngẫu lực $M = 50 \text{ Nm}$.

Hãy xác định vận tốc góc của chế độ bình ổn, độ biến dạng tĩnh của cơ cấu truyền và phương trình chuyển động của máy.

Đầu tiên tính động năng T của máy

$$T = \frac{1}{2} J_d \dot{\varphi}^2 + T_c$$

trong đó J_d - mômen quán tính của động cơ;

T_c - động năng của cơ cấu chấp hành.

Chọn toạ độ suy rộng là φ và θ , trong đó φ là góc quay của động cơ; θ là góc quay của cơ cấu chấp hành

$\dot{\varphi}$ - vận tốc góc của khâu ra của động cơ;

$\dot{\theta}$ - vận tốc góc của khâu vào cơ cấu chấp hành.

Động năng của cơ cấu chấp hành sẽ là:

$$T_c = \frac{1}{2} \left\{ J_1 \dot{\theta}^2 + m_2 r^2 \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right] + m_3 \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \right\}$$

$$\text{Vì } x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta$$

$$\text{Nên } T_c = \frac{1}{2} \dot{\theta}^2 \left[J_1 + \left(m_2 + \frac{m_3}{2} \right) r^2 - \frac{m_3}{2} r^2 \cos 2\theta \right]$$

Mômen quán tính thu gọn của cơ cấu chấp hành về trục ra của động cơ sẽ là

$$J_{c0} = (J_1 + m_2 r^2 + 0,5 m_3 r^2) \frac{1}{i^2} = 0,268$$

$$\tilde{J}_c(\theta) = -\frac{0,5m_3r^2}{i^2} \cos \frac{2\theta}{i} = -0,0125 \cos \theta$$

Biểu thức của lực P có thể viết trong dạng

$$P = -P_0 + P_1 \sin \theta + \beta r \dot{\theta} \sin \theta$$

Mômen cản thu gọn về trục của tay quay sẽ là

$$M_c^*(\theta, \dot{\theta}) = -P \frac{dx}{d\theta} - M_s = -P_0 r \sin \theta - P_1 r |\sin \theta| - \beta r^2 \dot{\theta} \sin^2 \theta - M_s$$

Khai triển hàm $|\sin \theta|$ trong chuỗi Fourier chỉ giữ lại 6 số hạng đầu ta nhận được

$$M_c^*(\theta, \dot{\theta}) = -M_s - \frac{2P_1 r}{\pi} - \beta r^2 \dot{\theta} - P_0 r \sin \theta + \frac{4P_1 r}{\pi} \left(\frac{1}{3} \cos 2\theta + \frac{1}{15} \cos 4\theta + \frac{1}{35} \cos 6\theta + \dots \right) + 0,5\beta r^2 \dot{\theta} \cos 2\theta$$

Từ đây tính được mômen cản thu gọn về động cơ:

$$M_c^0(\dot{\varphi}) = \frac{1}{i} \left(-M_s - \frac{2}{\pi} P_1 r - 0,5 \frac{\beta r^2}{i} \dot{\theta} \right) = -(50,45 + 0,2\dot{\varphi}) \text{ Nm}$$

$$v = -\frac{dM_{c0}}{d\dot{\varphi}} = -\frac{dM_c^0}{d\dot{\theta}} \frac{d\dot{\theta}}{d\dot{\varphi}} = 0,5\beta \frac{r^2}{i^2}$$

$$\tilde{M}_c(\varphi, \dot{\varphi}) = \frac{1}{i} \left[-P_0 r \sin \frac{\varphi}{i} + \frac{4}{\pi} P_1 r \left(\frac{1}{3} \cos \frac{2\varphi}{i} + \frac{1}{15} \cos \frac{4\varphi}{i} + \frac{1}{35} \cos \frac{6\varphi}{i} + \dots \right) + \frac{1}{2i} \beta r^2 \dot{\varphi} \cos \frac{2\varphi}{i} \right] = -50 \sin \frac{\varphi}{2} + 16,98 \cos \varphi + 3,4 \cos 2\varphi + 1,46 \cos 3\varphi + 0,2\dot{\varphi} \cos \varphi$$

Vận tốc góc của chế độ bình ổn được tính theo công thức:

$$M_{cl}^0(u_0, \omega_0) = M_c^0(\omega_0)$$

$$\text{Vậy} \quad 1740 - 16,64\omega_0 = 50,46 + 0,2\omega_0$$

$$\text{Từ đây tính được} \quad \omega_0 = 100,32 \text{ s}^{-1}$$

Độ biến dạng tĩnh Δ của cơ cấu truyền động:

$$\Delta = \frac{M_{cl}^0(u_0, \omega_0)}{c} = \frac{1740 - 16,64 \cdot 100,32}{1400} = 0,0504 \text{ rad}$$

Phương trình chuyển động của máy sẽ là:

$$\begin{aligned} 0,576\ddot{\varphi} + (\dot{\varphi} - \dot{\theta}) + 1400(\varphi - \theta) - 1740 + 16,64\dot{\varphi} &= 0 \\ 0,268\ddot{\theta} + (\dot{\theta} - \dot{\varphi}) + 1400(\theta - \varphi) + 50,46 + 0,2\dot{\varphi} &= \\ = 0,0125 \cos \theta \ddot{\theta} - 0,5.0,0125 \sin \theta \dot{\theta}^2 - 50 \sin 0,5\theta + \\ + 16,98 \cos \theta + 3,4 \cos 2\theta + 1,46 \cos 3\theta + 0,2\dot{\theta} \cos \theta \end{aligned}$$

Chú ý rằng tần số riêng của hệ hai khối lượng bằng:

$$k = \sqrt{\frac{c(J_{d0} + J_{c0})}{J_{d0}J_{c0}}} = 87,5 \text{ s}^{-1}$$

Tần số này nằm giữa các tần số kích động $\nu = 50,16 \text{ s}^{-1}$ và $2\nu = 100,32 \text{ s}^{-1}$. Tuy nhiên ảnh hưởng của điều này đến việc mất mát vận tốc góc trung bình của hệ là không đáng kể.

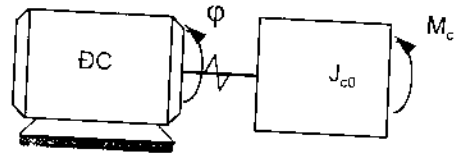
CHƯƠNG 7

ĐỘNG LỰC HỌC CỦA QUÁ TRÌNH CHUYỂN TIẾP

1. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG

Quá trình chuyển tiếp trong máy với cơ cấu truyền động đàn hồi được khảo sát với các giả thiết sau :

1) Qui luật chuyển động của trục động cơ $\varphi(t)$ được xem là đã cho. Điều này tương đương với giả thiết là động cơ làm việc với đặc tuyến động học lý tưởng



Hình 7.1 Mô hình động lực của máy

2) Mômen quán tính thu gọn của cơ cấu chấp hành $J_c(\theta)$ được xem là hằng số.

Phù hợp với các giả thiết đã nêu mô hình động lực của máy có sơ đồ như trên hình 7.1. Phương trình chuyển động của máy được viết trong dạng

$$J_{c0} \ddot{\theta} = -b(\dot{\theta} - \dot{\varphi}) - c(\theta - \varphi) + M_c(\theta, \dot{\theta}) \quad (7.1)$$

Khi đưa vào biến $\sigma = \theta - \varphi$, phương trình (7.1) lấy dạng

$$J_{c0} \ddot{\sigma} + b\dot{\sigma} + c\sigma = -J_{c0} \ddot{\varphi} + M_c[\sigma + \varphi(t), \dot{\sigma} + \dot{\varphi}(t)] \quad (7.2)$$

2. QUY LUẬT CHUYỂN ĐỘNG TRONG QUÁ TRÌNH MỞ MÁY KHÔNG CÓ TẢI ($M_c \equiv 0$)

2.1 Chọn quy luật chuyển động của trục động cơ

Trong trường hợp không có tải, phương trình (7.2) sẽ trở thành

$$\ddot{\sigma} + 2n\dot{\sigma} + k^2\sigma = -\ddot{\varphi}(t) \quad (7.3)$$

ở đây $2n = b/J_{c0}, k^2 = c/J_{c0}$ (7.4)

Quy luật thay đổi gia tốc góc $\ddot{\varphi}(t)$ của trục động cơ phụ thuộc vào đặc trưng của quá trình chuyển tiếp.

Trong mở máy quy luật chuyển động của trục động cơ cần thoả mãn các điều kiện sau:

1) Khi $t = 0$ thì $\varphi(0) = 0; \dot{\varphi}(0) = 0$

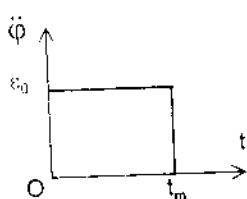
2) Khi $t = t_m$ thì $\dot{\varphi}(t_m) = \omega_0$

ở đây : t_m - thời gian mở máy; ω_0 - vận tốc góc của quá trình bình ổn.

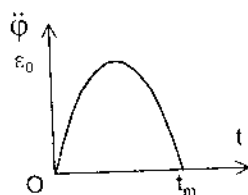
Các điều kiện này có thể được thoả mãn khi dùng phương pháp mở máy có điều khiển bằng cách thay đổi thông số vào u.

Trên hình 7.2 và 7.3 đưa ra hai phương án của quy luật gia tốc góc thoả mãn các điều kiện đã nêu.

Quy luật được chỉ trên hình 7.2 tương ứng với phương pháp tạo nên trong quá trình mở máy trục động cơ có gia tốc góc không đổi



Hình 7.2 Quy luật mở máy chữ nhật



Hình 7.3 Quy luật mở máy hình sin

$$\ddot{\varphi} = \varepsilon_0 = \omega_0 / t_m \quad (7.5)$$

Để dàng chỉ ra rằng quy luật (7.5) thoả mãn hai điều kiện trên khi chú ý rằng

$$\dot{\varphi} = \omega_0 = \varepsilon_0 t; \varphi = \frac{1}{2} \varepsilon_0 t^2 \quad (7.6)$$

Trên hình 7.3 là quy luật mở máy hình sin

$$\ddot{\varphi}(t) = \varepsilon_0 \sin(\pi t / t_m) \quad (7.7)$$

Để quy luật này thoả mãn hai điều kiện trên cần chọn ε_0 thoả mãn hệ thức:

$$\varepsilon_0 = \pi \omega_0 / 2 t_m \quad (7.8)$$

Theo quy luật này ta có: $\omega = \frac{\omega_0}{2} (1 - \cos \frac{\pi}{t_m} t)$

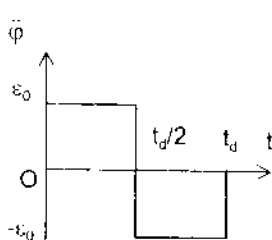
Có trường hợp người ta sử dụng dạng tổ hợp của hai quy luật nêu trên, ví dụ trong trường hợp của loại máy bốc xếp. Đối với loại máy này không có sự phân biệt quá trình mở máy và quá trình bình ổn. Yêu cầu đối với loại máy này là:

1) Khi $t = 0$ thì $\varphi(0) = 0$, $\dot{\varphi}(0) = 0$

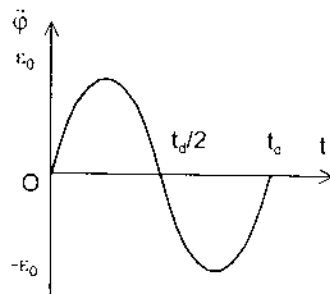
2) Khi $t = t_d$ thì $\varphi(t_d) = \varphi^*$, $\dot{\varphi}(t_d) = 0$

Trong đó: t_d là thời gian để di chuyển đối tượng, φ^* là góc quay của trục động cơ tương ứng với khoảng thời gian này.

Để thỏa mãn hai yêu cầu vừa nêu, có thể dùng qui luật được chỉ trên các hình 7.4 và 7.5.



Hình 7.4 Quy luật chữ nhật để mở máy bậc xếp



Hình 7.5 Quy luật hình sin mở máy bậc xếp

Đối với qui luật được nêu trên hình 7.4 cần chọn ϵ_0 từ hệ thức

$$\epsilon_0 = 4\varphi^* / t_d^2 \quad (7.9)$$

Còn tương ứng với qui luật nêu trên hình 7.5 thì ϵ_0 được chọn như sau:

$$\dot{\varphi} = \epsilon_0 \sin\left(\frac{2\pi}{t_m} t\right) \quad (7.10)$$

Khi đó:
$$\dot{\varphi}(t) = \frac{\epsilon_0 t_m}{2\pi} \left(1 - \cos \frac{2\pi}{t_m} t\right)$$

và:
$$\varphi(t) = \frac{\epsilon_0 t_m}{2\pi} \left(t - \frac{t_m}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{t_m} t\right)$$

2.2 Phương trình chuyển động

Chuyển động trong quá trình mở máy trong trường hợp không tải tìm được khi tích phân phương trình (7.3) với điều kiện ban đầu là:

$$\sigma(0) = 0; \quad \dot{\sigma}(0) = 0 \quad (7.11)$$

Nghiệm của phương trình (7.3) được tìm trong dạng:

$$\sigma = -\frac{\ddot{\varphi}(t)}{k^2} + \eta \quad (7.12)$$

ở đây η là biến mới.

Từ (7.12) ta có:

$$\dot{\sigma} = -\frac{\ddot{\varphi}(t)}{k^2} + \dot{\eta}; \quad \ddot{\sigma} = -\frac{\varphi^{(4)}(t)}{k^2} + \ddot{\eta} \quad (7.13)$$

Khi thay (7.12) (7.13) vào (7.3) ta có:

$$\ddot{\eta} + 2n\dot{\eta} + k^2\eta = -\frac{1}{k^2}[\varphi^{(4)}(t) + 2n\ddot{\varphi}(t)] \quad (7.14)$$

Phép biến đổi (7.12) có ý nghĩa là tách từ biến σ thành phần $(-\ddot{\varphi}(t)/k^2)$, nó thay đổi rất chậm theo thời gian, được gọi là số hạng á tĩnh có ảnh hưởng rất ít vào quy luật thay đổi của biến σ được xác định nhờ phương trình (7.3). Điều này được giải thích dựa vào tính chất sau :

Chu kỳ dao động tự do $T=2\pi/k$ bé hơn nhiều lần so với thời gian mở máy. Do đó k khá lớn và số hạng $(-\ddot{\varphi}(t)/k^2)$ khá bé.

Nghiệm của phương trình (7.14) được tìm với điều kiện đầu:

$$\eta(0) = \sigma(0) + \frac{\ddot{\varphi}(0)}{k^2} = \frac{\ddot{\varphi}(0)}{k^2}, \quad \dot{\eta}(0) = \dot{\sigma}(0) + \frac{\ddot{\varphi}(0)}{k^2} = \frac{\ddot{\varphi}(0)}{k^2} \quad (7.15)$$

a. Trường hợp quy luật mở máy chữ nhật (7.5)

Theo quy luật này $\ddot{\varphi}(t) = \varepsilon_0 = \text{hằng}$.

Từ đó

$$\overset{(3)}{\varphi} \equiv 0; \quad \overset{(4)}{\varphi} \equiv 0 \quad (7.16)$$

Phương trình (7.14) trong trường hợp này có dạng

$$\ddot{\eta} + 2n\dot{\eta} + k^2\eta = 0 \quad (7.17)$$

Điều kiện đầu của (7.17) dựa vào (7.15) sẽ là:

$$\eta(0) = \varepsilon_0/k^2; \quad \dot{\eta}(0) = 0 \quad (7.18)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình (7.17) trong trường hợp $n < k$ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \eta &= Ae^{-nt} \sin(k_1 t + \alpha) \\ \eta &= Ae^{-nt} [k_1 \cos(k_1 t + \alpha) - n \sin(k_1 t + \alpha)] \end{aligned} \right\} \quad (7.19)$$

ở đây $k_1 = \sqrt{k^2 - n^2}$, còn A và α là các hằng số tích phân được xác định dựa vào điều kiện đầu (7.18):

$$\varepsilon_0/k^2 = A \sin \alpha; \quad 0 = A(k_1 \cos \alpha - n \sin \alpha)$$

Do điều kiện $A \neq 0$ nên từ hai phương trình này ta tìm được:

$$\operatorname{tg} \alpha = k_1/n; \quad A = \varepsilon_0/kk_1$$

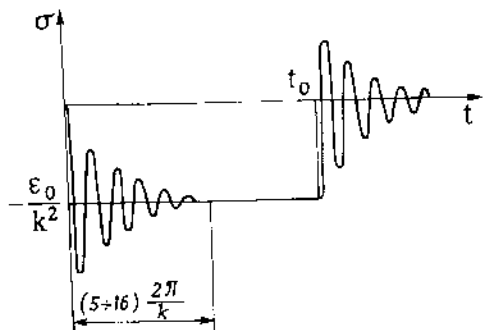
Thay kết quả nhận được vào (7.19) và chú ý đến (7.12) chúng ta có:

$$\sigma(t) = -\frac{\varepsilon_0}{k^2} + \frac{\varepsilon_0}{kk_1} e^{-nt} \sin(k_1 t + \alpha); \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{k_1}{n} \quad (7.20)$$

với $0 < t < t_0$.

Quy luật thay đổi của góc biến dạng của cơ cấu truyền động $\sigma(t) = \theta - \varphi$ được cho trên hình (7.6). Từ đây cho thấy trục của cơ cấu chấp hành có dao động tắt dần so với chuyển động của trục động cơ. Do đó trong quá trình mở máy kèm theo dao động tắt dần. Tốc độ tắt dần được xác định bởi hệ số cản n .

Qua khoảng thời gian $t_* = 3/n$ biên độ của dao động tắt dần giảm đi 20 lần.



Hình 7.6 Quy luật thay đổi của góc biến dạng $\sigma(t)$

Thực vậy

$$\frac{A(t_1)}{A(t_2)} = 20 \rightarrow \frac{e^{-nt_1}}{e^{-nt_2}} = \frac{e^{-nt_1}}{e^{-n(t_1+t_*)}} = 20$$

$$\text{Từ đây } e^{nt_*} = 20 \rightarrow nt_* = \ln 20 = 3$$

$$\text{Vậy } t_* = 3/n$$

Thông thường n/k_1 lấy giá trị trong khoảng $(0,03 \div 0,1)$ nên $t_* \approx (30 \div 100)/k_1$.

Khi so sánh với chu kỳ của dao động tắt dần $T = 2\pi/k_1$ ta có:

$$\frac{t_*}{T} = (30 \div 100) \frac{1}{k_1 (2\pi/k_1)} = (30 \div 100) \frac{1}{2\pi} = 5 \div 16$$

Vậy để biên độ giảm 20 lần cần khoảng thời gian từ $5 \div 16$ chu kỳ của dao động tự do.

Một đặc điểm cần chú ý là dao động tắt dần không kết thúc tại thời điểm cuối của giai đoạn mở máy. Hơn nữa tại thời điểm kết thúc mở máy, gia tốc khác không và gây nên kích động dao động. Để đơn giản ta chỉ xét hiệu ứng do tác nhân của gia tốc, nên giả sử tại $t = t_m$ dao động bị tắt. Từ đó $\eta(t_m) = 0$, $\dot{\eta}(t_m) = 0$. Từ (7.20) ta có

$$\sigma(t_m) = -\varepsilon_0/k^2 \text{ và } \dot{\sigma}(t_m) = 0 \quad (7.21)$$

Vì sau khi mở máy, máy làm việc với chế độ bình ổn nên $\dot{\varphi}(t) = \dot{\omega}_0 = 0$. Do đó quá trình chuyển động sau mở máy (tức $t > t_m$) được mô tả bằng phương trình (7.14), trong đó : $\ddot{\eta} = \ddot{\sigma}$, $\dot{\eta} = \dot{\sigma}$; $\eta = \sigma$; $\ddot{\varphi}(t) = 0$; $\varphi^{(4)}(t) = 0$. Như vậy chuyển động của máy khi $t > t_m$ được mô tả bằng phương trình:

$$\ddot{\sigma} + 2n\dot{\sigma} + k^2\sigma = 0 \quad (7.22)$$

Phương trình (7.22) có cùng dạng phương trình (7.17) chỉ khác gốc thời gian và điều kiện đầu. Dễ dàng chỉ ra rằng phương trình (7.22) với điều kiện đầu (7.21) có nghiệm dạng

$$\sigma(t) = \frac{\varepsilon_0}{kk_1} e^{-n(t-t_m)} \sin[k_1(t-t_m) + \alpha]; \quad \text{tg}\alpha = \frac{k_1}{n} \quad (7.23)$$

b. Trường hợp qui luật mở máy hình sin (7.7)

Trong trường hợp này:

$$\ddot{\varphi} = \frac{\pi\varepsilon_0}{t_m} \cos\left(\frac{\pi}{t_m}t\right); \quad \varphi^{(4)} = -\frac{\pi^2\varepsilon_0}{t_m^2} \sin\left(\frac{\pi}{t_m}t\right)$$

Phương trình (7.14) bây giờ lấy dạng

$$\ddot{\eta} + 2n\dot{\eta} + k^2\eta = \frac{\varepsilon_0}{k^2t_m} \left[2n\pi \cos\left(\frac{\pi}{t_m}t\right) - \frac{\pi^2}{t_m} \sin\left(\frac{\pi}{t_m}t\right) \right] \quad (7.24)$$

Vì rằng khoảng thời gian mở máy gấp nhiều lần chu kỳ của dao động tự do cho nên khi $t_m \geq 20\pi/k$ (tức khoảng thời gian mở máy gấp 10 lần của chu kỳ dao động tự do) ta có

$$\frac{\pi^2}{k^2t_m^2} \ll 0,0025$$

Vì vậy đối với trường hợp có hệ số hao tán bé ($n \ll k$) thì các số hạng của vế phải của (7.24) là không đóng vai trò quan trọng và do đó có thể bỏ qua được.

Do đó phương trình (7.24) có dạng:

$$\ddot{\eta} + 2n\dot{\eta} + k^2\eta = 0 \quad (7.25)$$

với điều kiện đầu

$$\eta(0) = \ddot{\eta}(0)/k^2 = 0; \dot{\eta}(0) = \ddot{\eta}(0)/k^2 = \pi\varepsilon_0/k^2 t_m \quad (7.26)$$

Để dàng tìm được nghiệm của phương trình (7.25) với điều kiện đầu (7.26):

$$\eta(t) = \frac{\pi\varepsilon_0}{k^2 k_1 t_m} e^{-nt} \sin k_1 t \quad (7.27)$$

Do đó:

$$\sigma(t) = -\frac{\ddot{\eta}(t)}{k^2} + \eta(t) = -\frac{\varepsilon_0}{k^2} \sin \frac{\pi}{t_m} t + \frac{\pi\varepsilon_0}{k^2 k_1 t_m} e^{-nt} \sin k_1 t \quad (7.28)$$

Nhận xét:

- Đối với qui luật mở máy hình chữ nhật, dựa vào (7.5) ta có $\bar{\varepsilon}_0 = \omega_0 / t_m$, còn đối với qui luật mở máy hình sin, ta có $\tilde{\varepsilon}_0 = \pi\omega_0 / 2t_m$. Vậy cùng thời gian mở máy t_m để đạt được chế độ bình ổn với vận tốc góc ω_0 thì $\tilde{\varepsilon}_0 / \bar{\varepsilon}_0 = \pi/2$.

Như vậy gia tốc góc khi sử dụng qui luật hình sin lớn hơn $\pi/2$ lần qui luật hình chữ nhật.

- Biên độ dao động khi dùng qui luật chữ nhật $\tilde{a} = \varepsilon_0 / k k_1$ theo công thức (7.20), còn khi dùng qui luật hình sin theo (7.28) có biên độ $\tilde{a} = \pi\varepsilon_0 / k^2 k_1 t_m$.

Vậy
$$\bar{a} / \tilde{a} = 2k t_m / \pi^2 = 40 / \pi = 13$$

Ở đây khảo sát trường hợp khoảng thời gian mở máy gấp 10 chu kỳ dao động tự do.

Vậy biên độ khi sử dụng qui luật chữ nhật sẽ gấp 13 lần khi sử dụng qui luật hình sin. Điều này gây nên do có bước nhảy gia tốc khi $t = 0$.

Khi kết thúc lấy đà vẫn tồn tại dao động bé gây ra do bước nhảy của đạo hàm bậc 3 của góc quay của động cơ, do:

$$\dot{\eta}(0) = \ddot{\phi}(0)/k^2 = \pi\varepsilon_0/k^2 t_m \neq 0$$

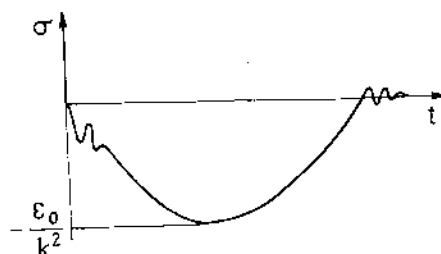
Từ (7.28) ta nhận được:

$$\sigma(t_m) = \frac{\pi\varepsilon_0}{k^2 k_1 t_m} e^{-nt_m} \sin k_1 t_m$$

Điều này đã thu được trên đồ thị của hình 7.7.

c. Trường hợp sử dụng qui luật tổ hợp

Trong trường hợp sử dụng qui luật chữ nhật, sự thay đổi của $\ddot{\phi}(t)$ làm phát sinh dao động tắt dần với tần số k_1 tại thời điểm đầu, tại thời điểm $t = t_0/2$ (tại thời điểm này gia tốc góc biến đổi từ ε_0 đến $-\varepsilon_0$) và cả sau khi kết thúc quá trình dịch chuyển. Khi sử dụng qui luật mở máy hình sin (hình 7.7) sự thay đổi của gia tốc của dao động sinh ra tại thời điểm đầu và cuối của quá trình có biên độ khá bé.



Hình 7.7 Quy luật mở máy hình sin

Như vậy việc chọn qui luật mở máy có điều khiển có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình chuyển động của máy sau khi mở máy, tức ảnh hưởng đến quá trình bình ổn đối với loại máy hoạt động liên tục và đến độ chính xác để đạt được mục tiêu đối với loại máy dịch chuyển.

3. QUÁ TRÌNH CHUYỂN TIẾP CÓ KẾ ĐẾN TẢI

Khảo sát mômen cản có đặc tuyến:

$$M_c = -M_0 - v\dot{\theta} = -M_0 - v(\dot{\sigma} + \dot{\phi})$$

Phương trình chuyển động của bộ phận chấp hành sẽ là:

$$J_{c0}\ddot{\sigma} + (b + v)\dot{\sigma} + c\sigma = -J_{c0}\ddot{\phi}(t) - M_0 - v\dot{\phi}(t)$$

Nó có thể được viết trong dạng sau:

$$\ddot{\sigma} + 2(n + n_1)\dot{\sigma} + k^2\sigma = -\ddot{\phi}(t) - 2n_1\dot{\phi}(t) - \frac{M_0}{J_{c0}} \quad (7.29)$$

$$\text{ở đây} \quad n_1 = v/J_{c0} \quad (7.30)$$

Nghiệm của (7.29) tìm được dưới dạng:

$$\sigma(t) = -\frac{\ddot{\varphi}(t)}{k^2} - \frac{v}{c} \dot{\varphi}(t) - \frac{M_0}{c} + x = \sigma_0(t) + x \quad (7.31)$$

$$\text{ở đây} \quad \sigma_0(t) = -\frac{\ddot{\varphi}(t)}{k^2} - \frac{v}{c} \dot{\varphi}(t) - \frac{M_0}{c} \quad (7.32)$$

được gọi là thành phần tựa tĩnh còn x là biến mới.

Khi sử dụng phép biến đổi biến (7.31) và chú ý đến (7.32), phương trình (7.29) được viết như sau:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + 2(n + n_1)\dot{x} + k^2 x &= \\ &= \frac{1}{k^2} \left[\varphi^{(4)}(t) + 2(n + n_1)\ddot{\varphi}(t) + 4(n + n_1)n_1\dot{\varphi}(t) \right] \end{aligned} \quad (7.33)$$

Trong trường hợp n/k và n_1/k bé thì các số hạng của vế phải có ảnh hưởng yếu. Vì vậy trong số lớn trường hợp có thể bỏ qua, tức chỉ cần tìm nghiệm của phương trình:

$$\ddot{x} + 2(n + n_1)\dot{x} + k^2 x = 0 \quad (7.34)$$

nó có đặc trưng của dao động cao tần.

Khảo sát trường hợp sử dụng qui luật mở máy hình sin:

$$\ddot{\varphi} = \varepsilon_0 \sin \frac{\pi}{t_m} t$$

Từ (7.31) ta nhận được $x = \sigma - \sigma_0(t)$

Chú ý rằng $\dot{\varphi}(0) = \ddot{\varphi}(0) = 0$

nên $\sigma(0) = \varphi(0) - \theta(0) = 0; \dot{\sigma}(0) = \dot{\varphi}(0) - \dot{\theta}(0) = 0$

Vì vậy nghiệm của phương trình (7.34) được tìm với điều kiện đầu như sau :

$$\left. \begin{aligned} x(0) &= \sigma(0) - \sigma_0(0) = -\sigma_0(0) = M_0/c \\ \dot{x}(0) &= \dot{\sigma}(0) - \dot{\sigma}_0(0) = \frac{1}{k^2} \ddot{\varphi}(0) = \frac{\pi}{k^2} \frac{\varepsilon_0}{t_m} \end{aligned} \right\} \quad (7.35)$$

Nghiệm của phương trình (7.34) có dạng:

$$\begin{aligned} x(t) &= A e^{-(n+n_1)t} \sin(k_* t + \alpha) \\ \dot{x}(t) &= A e^{-(n+n_1)t} [k_* \cos(k_* t + \alpha) - (n+n_1) \sin(k_* t + \alpha)] \end{aligned} \quad (7.36)$$

Dựa vào điều kiện đầu (7.35) ta có:

$$A \sin \alpha = M_0/c; \quad [k_* \cos \alpha - (n+n_1) \sin \alpha] A = \frac{\pi \varepsilon_0}{k^2 t_m}$$

Từ đây tìm được:

$$A = \sqrt{\frac{M_0^2}{c^2} [1 + (n+n_1)^2] + 2 \frac{\pi M_0 (n+n_1) \varepsilon_0}{k^2 t_m c} + \frac{\pi^2 \varepsilon_0^2}{k^4 t_m^2}} \quad (7.37)$$

Khác với trường hợp không cản, khi có cản biên độ tăng thêm một lượng gần bằng M_0/c .

Phát sinh điều này là do tại thời điểm đầu $t = 0$ phần tử đàn hồi chưa bị biến dạng và trong quá trình mở máy nó chịu biến dạng tĩnh bằng M_0/c .

4. CÁC BIỆN PHÁP GIẢM SAI SỐ ĐỘNG LỰC

Đại lượng $\sigma = \varphi - \theta$ xác định độ sai lệch của chuyển động của khâu ra động cơ đối với khâu vào của cơ cấu chấp hành, nên có thể xem $\sigma(t)$ là sai số động lực.

Theo (7.20) và (7.28) biên độ của sai số động lực đều tỷ lệ với ε_0/kk_* . Trong trường hợp cản bé có thể xem $k_* \approx k$ và biên độ A của sai số động lực lấy dạng:

$$A = \xi \frac{\varepsilon_0}{k^2}$$

Trong đó ξ là hệ số tùy thuộc vào dạng của qui luật mở máy, còn ε_0 là gia tốc góc của quá trình mở máy.

$$\varepsilon_0 = \beta \omega_0 / t_m \quad \text{đối với trường hợp mở máy.}$$

$$\varepsilon_0 = \gamma \varphi_* / t_d^2 \quad \text{đối với loại máy dịch chuyển.}$$

ở đây β, γ là các hệ số phụ thuộc vào qui luật thay đổi của gia tốc chương trình.

$$\text{Trong trường hợp mở máy thì} \quad A = \xi \frac{\beta \omega_0}{k^2 t_m}$$

Còn trong trường hợp máy dịch chuyển $A = \xi \frac{\gamma \varphi_*}{k^2 t_d^2}$

Để giảm biên độ của sai số động lực có thể áp dụng ba biện pháp sau :

1) Thay đổi quy luật điều khiển gia tốc. Cố gắng chọn quy luật không có bước nhảy.

2) Tăng khoảng thời gian mở máy. Khoảng thời gian mở máy càng lớn thì sai số động lực càng bé (với cùng giá trị ω_0 hay φ_*).

Vì vậy cần lưu ý rằng biện pháp tăng năng suất bằng cách giảm thời gian mở máy nói chung sẽ dẫn đến tăng sai số động lực.

3) Tăng tần số riêng của máy. Phương pháp này được xem là hợp lý nhất. Theo biện pháp này cần phải tăng độ cứng của máy hoặc giảm mômen quán tính khối lượng của chi tiết (phần động cơ và cấu chấp hành).

CHƯƠNG 8

ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY THEO CHƯƠNG TRÌNH

1. CHUYỂN ĐỘNG CHƯƠNG TRÌNH CỦA MÁY

1.1. Điều khiển theo chương trình

Trong các máy hiện đại các bộ phận công tác của máy cần thực hiện các chuyển động được định sẵn gọi là các chuyển động chương trình và máy được gọi là máy điều khiển theo chương trình. Thông thường các quá trình công tác có đặc trưng chu kỳ nên chuyển động chương trình cũng có đặc trưng chu kỳ.

Trong chuyển động chương trình của các loại máy gia công, sự thay đổi các chi tiết gia công trên máy kèm theo sự điều chỉnh các chuyển động chương trình.

Đặc biệt đối với các phương tiện giao thông vận tải các chuyển động chương trình khá phức tạp như việc vận chuyển nguyên vật liệu, các thành phẩm và bán thành phẩm, chuyển động của các rôbốt công nghiệp phục vụ cho các nhóm máy công cụ, ...

Sau khi xác định qui luật thay đổi của thông số đầu ra của động cơ, chẳng hạn với động cơ làm việc với đặc tuyến động học lý tưởng, ta có:

$$\begin{aligned} \dot{q}_k &= \dot{q}_k [u_i(t)] \\ q_k &= q_k^0 + \int_{t_0}^t \dot{q}_k [u_i(t)] dt \quad k = \overline{1, n} \end{aligned}$$

ở đó: $q_k^0 = q_k(t_0)$

Khi đó tọa độ của các phân tử của máy có dạng:

$$x_\delta(t) = x_\delta[q_k(t)] = x_\delta(q_k^0 + \int_{t_0}^t \dot{q}_k [u_i(t)] dt) \quad (8-1)$$

Bằng cách chọn qui luật $u_i(t)$ khác nhau, từ (8.1) chúng ta nhận được chuyển động có các tính chất mong muốn, ví dụ theo các quỹ đạo cho sẵn.

1.2. Phương pháp tạo các chuyển động chương trình

Thông thường có hai phương pháp tạo chuyển động chương trình dựa trên các hệ thức (8.1).

Phương pháp thứ nhất: sử dụng cho các máy công nghệ làm việc có chu trình. Đối với loại máy này thông số đầu vào của động cơ có giá trị không đổi, tức $u_i = u_i^0 = \text{hằng}$.

Trong trường hợp này để thực hiện chuyển động định sẵn đối với các bộ phận công tác sẽ dựa vào việc tạo ra bộ cơ cấu truyền thích hợp. Loại máy này được gọi là máy không điều khiển.

Phương pháp thứ hai: thay đổi các thông số điều khiển $u_i(t)$ để các bộ phận công tác có chuyển động phù hợp với chương trình yêu cầu. Máy loại này được gọi là máy điều khiển chương trình.

Trong phương pháp thứ nhất việc thay đổi chuyển động chương trình đòi hỏi phải thay đổi cấu hình của cơ cấu truyền, còn trong phương pháp thứ hai điều này không cần mà chỉ cần thay đổi qui luật điều khiển và do đó đơn giản, nhanh và thuận tiện. Điều này là ưu thế đối với các dây chuyền máy hiện đại vì đối với loại này cần điều chỉnh nhanh, giảm thời gian lắp đặt cho chu trình kế tiếp.

Tuy nhiên cần chú ý rằng đối với phương pháp thứ hai khi thay đổi luật điều khiển ở đầu vào kéo theo sự thay đổi qui luật chuyển động của tất cả các bộ phận máy và do đó làm thay đổi cả sự phân bố động lực trên các bộ phận của máy. Điều này đòi hỏi phải tiến hành khảo sát cẩn thận vấn đề động lực trong các máy điều khiển chương trình.

1.3. Hệ thống điều khiển chương trình

Hệ thống điều khiển chương trình gồm các thiết bị để tạo nên chuyển động chương trình. Một trong các bộ phận đó là thiết bị chuyển chương trình yêu cầu thành tín hiệu điều khiển $u_i(t)$.

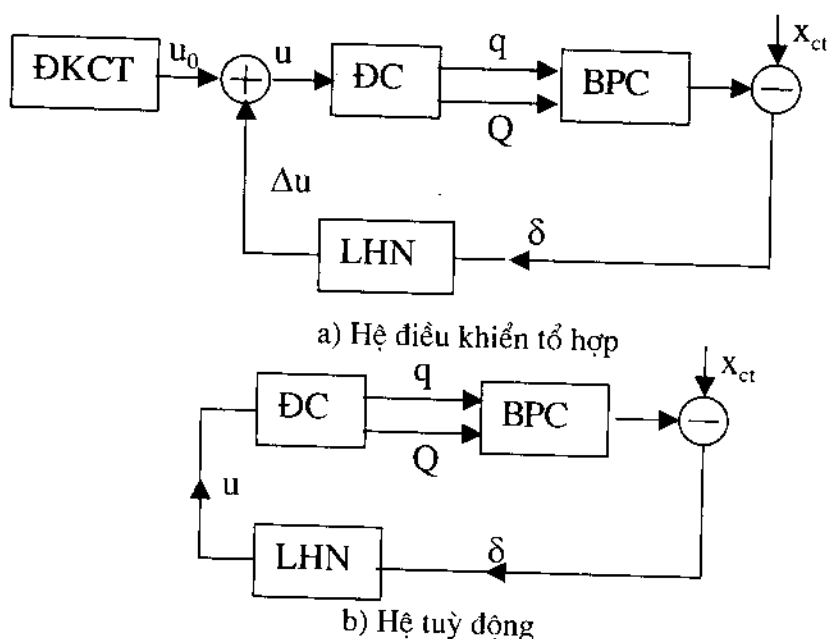
Trong trường hợp hệ mở của điều khiển chương trình, khi động cơ nhận được tín hiệu điều khiển $u_i(t)$ có thể làm máy không thực hiện đúng mà lệch khỏi chương trình yêu cầu. Độ lệch này được gọi là sai số động lực của các qui luật chuyển động. Nguyên nhân gây ra các sai số động lực do nhiều yếu tố, ví dụ, do mô hình được xây dựng không tương thích với thực tế, chẳng hạn không đúng với hệ thức (8.1).

Trên hình 8.1a, độ lệch $\delta(t) = x(t) - x_{ct}$ được đưa vào bộ phận điều chỉnh tạo ra tác dụng điều khiển Δu để hiệu chỉnh lại qui luật điều khiển $[u(t) = u_0(t) + \Delta u]$ và nhờ đó làm giảm sai số động lực.

Trên hình 8.1a cho sơ đồ của hệ điều khiển tổ hợp.

Trên hình 8.1b là sơ đồ của hệ tự động.

Trong trường hợp này không có thiết bị tạo nên tín hiệu mà điều khiển $u(t)$ được tạo toàn bộ do tín hiệu của sai số động lực. Các hệ này được gọi là hệ điều khiển với liên hệ ngược.



Hình 8.1 Hệ điều khiển liên hệ ngược (LHN)

Nguyên lý của liên hệ ngược được áp dụng không chỉ cho máy điều khiển chương trình mà cả đối với máy không điều khiển. Đối với trường hợp sau nó được dùng để ổn định hoá vận tốc góc của động cơ hoặc vận tốc của cơ cấu chấp hành khi có xuất hiện độ lệch vận tốc đối với vận tốc chương trình. Khi đó động cơ sẽ nhận được tín hiệu ra lệnh điều chỉnh giá trị của điều khiển $u_0(t)$.

Đối với bài toán điều khiển vị trí thường gọi là chu tuyến, yêu cầu đặt ra là các bộ phận công tác cần chiếm được các vị trí định sẵn (ví dụ, máy nâng chuyển, rôbốt công nghiệp, máy cắt kim loại, ...). Loại này bao gồm cả loại điều khiển theo quỹ đạo được định sẵn trong không gian.

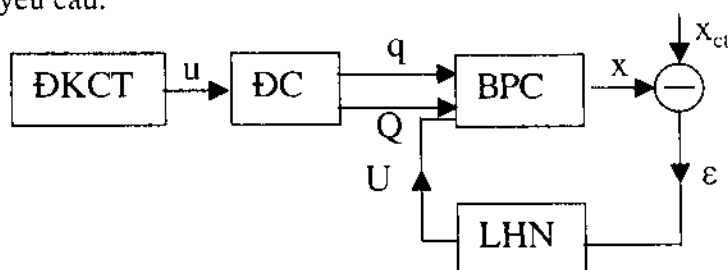
1.4. Các phương pháp điều khiển

a. Điều khiển bằng lực:

Liên hệ ngược có thể thực hiện nhờ lực hoặc mômen lực tác dụng trực tiếp lên các bộ phận cơ của máy để làm giảm các sai số động lực (hình 8.2).

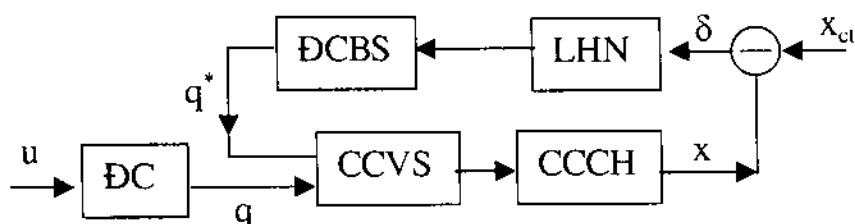
b. Điều khiển động học.

Loại điều khiển này dựa vào nguyên tắc tạo thêm bậc chuyển động bổ sung, nó chỉ hoạt động khi xuất hiện tín hiệu sai số và tạo nên chuyển động bổ sung q^* , nó hợp với chuyển động của động cơ chính làm cho chuyển động của cơ cấu chấp hành phù hợp với chuyển động chương trình theo yêu cầu.



Hình 8.2 Hệ điều khiển lực

Thiết bị điều khiển động học được áp dụng cho các máy có yêu cầu dịch chuyển chính xác. Để đảm bảo các dịch chuyển bổ sung bé thường sử dụng bộ chuyển đổi tiếp xúc pizo hoặc từ, động cơ bước hoặc động cơ rung (hình 8.3).

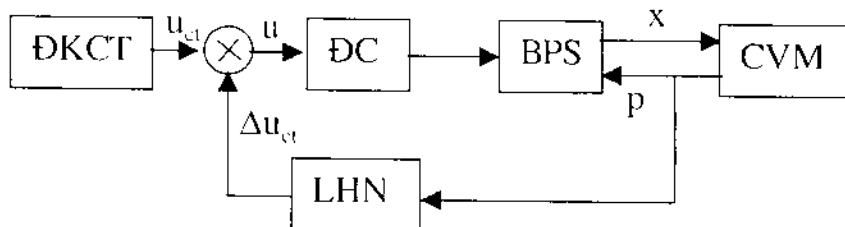


Hình 8.3 Hệ điều khiển động lực.

ĐCBS: động cơ bổ sung, CCVS: cơ cấu vị sai, CCCH: cơ cấu chấp hành

c. Điều khiển bằng kích động.

Đối với loại máy mà yếu tố gây ra độ lệch khỏi chuyển động chương trình là các lực phát sinh trong khi thực hiện quá trình công tác thì dùng liên hệ ngược để tạo ra các tín hiệu bổ sung Δu để giá trị các lực ở đầu ra của hệ cơ trở nên phù hợp (hình 8.4). Ví dụ, trong các máy cắt kim loại, vận tốc của các bộ phận công tác được điều chỉnh theo lực ăn dao. Như vậy trong trường hợp này, các điều khiển chương trình không có nhiệm vụ giữ nguyên chuyển động định sẵn mà chúng thay đổi theo các thông số của quá trình cắt, nghĩa là chúng thay đổi theo điều kiện của môi trường làm việc. Điều khiển như vậy được gọi là điều khiển thích nghi.



Hình 8.4 Hệ điều khiển bằng kích động

2. CHUYỂN ĐỘNG CHƯƠNG TRÌNH CỦA MÁY VỚI CÁC KHẤU CỨNG.

2.1. Phương trình chuyển động

Khảo sát chuyển động máy một động cơ với khâu cứng, làm việc với đặc tuyến động lực, phương trình chuyển động có dạng:

$$\left. \begin{aligned} J(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{dJ}{dq}(q)\dot{q}^2 &= M_d + M_c(q, \dot{q}) \\ \tau \dot{M}_d + M_{dl} &= ru - sq \end{aligned} \right\} \quad (8-2)$$

Giả sử qui luật điều khiển chương trình là u_{ct} .

Xét hai bài toán sau

+ *Bài toán thuận*: xác định chuyển động của máy ứng với điều khiển chương trình đã cho $u_{ct}(t)$ và điều kiện cho ban đầu.

Chuyển động của máy được xác định nhờ tích phân hệ phương trình chuyển động (8.2). Trong trường hợp riêng khi $u_{ct}(t) = u_0 = \text{const}$ bài toán đã được khảo sát trong chương 3. Trong trường hợp tổng quát có thể sử dụng phương pháp số.

+ *Bài toán ngược*: xác định điều khiển chương trình $u_{ct}(t)$ để thực hiện chuyển động chương trình cho trước nào đó $q_{ct}(t)$.

Bài toán này nảy sinh trong vấn đề tổng hợp điều khiển chương trình. Về nguyên tắc việc giải quyết bài toán này không có khó khăn. Muốn thế cần thay $q_{ct}(t)$ và các đạo hàm của nó vào các phương trình đầu của hệ phương trình (8.2) để tính mô men lực thực hiện chuyển động chương trình.

$$M_d^*(t) = J[q_*(t)]\ddot{q}_*(t) + 0,5J'[q_*(t)]\dot{q}_*^2(t) - M_c[q_*(t), \dot{q}_*(t)] \quad (8.3)$$

trong đó $q_*(t) \equiv q_{ct}$

Thay (8.3) vào phương trình cuối của (8.2) ta nhận được điều khiển cần có:

$$u_*(t) = \frac{1}{r} \left[\tau \dot{M}_d^*(t) + M_d^*(t) + s \dot{q}_*(t) \right] \quad (8.4)$$

Tuy nhiên trong thực tế có thể xảy ra các tình huống sau:

+ Các điều khiển tìm được dạng (8.4) về mặt kỹ thuật không có khả năng thực hiện được.

+ Khi truyền cho động cơ điều khiển tìm được $u_*(t)$ dạng (8.4) thì máy không thực hiện đúng chuyển động chương trình yêu cầu. Điều này là do chuyển động $q_*(t)$ chỉ là nghiệm riêng của hệ (8.2), nó ứng với điều kiện đầu xác định mà việc thực hiện chúng không được đảm bảo bằng điều khiển được chọn.

Việc chuyển động của máy không nhắc lại chính xác chuyển động chương trình yêu cầu là do các sai số động lực gây nên.

2.2. Phương trình nhiễu động.

Để biết độ sai lệch của chuyển động xảy ra so với chuyển động chương trình diễn biến như thế nào có thể dựa vào phương trình nhiễu động. Như đã biết các sai lệch được gọi là sai số động lực được gây nên do các kích động khác nhau. Đó là độ sai lệch giữa điều khiển thực $u_*(t)$ và điều khiển chương trình $u_c(t)$ hoặc do các nhiễu về lực kích động ΔL đã được bỏ qua khi xây dựng mô hình khảo sát. Để nhận được phương trình nhiễu động từ đó xác định được sai số động lực, ta đưa vào các đại lượng sau:

$$\psi = q - q_*(t); \quad \Delta M_d = M_d - M_d^* \quad (8.5)$$

Các đại lượng ở (8.5) được giả thiết là bé.

Nhờ (8.5) các phương trình (8.2) được viết trong dạng:

$$\left. \begin{aligned} J^* \ddot{\psi} + \left[J_* \dot{q}_* - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \dot{q}} \right)_* \right] \dot{\psi} + \left[J_* \ddot{q}_* + 0,5 J_* \dot{q}_*^2 - \left(\frac{\partial M_c}{\partial q} \right)_* \right] \psi = \\ = M_d^* + \Delta M_d + M_c^* - J_* \ddot{q}_* + 0,5 J_* \dot{q}_*^2 + \Delta L; \\ \tau \Delta \dot{M}_d + \Delta M_d + s \dot{\psi} = r u_* - s \dot{q}_* - \tau \dot{M}_d^* - M_d^* + r \Delta u \end{aligned} \right\} \quad (8.6)$$

ở đây dấu hiệu “ * ” là các đại lượng tương ứng với chương trình đã cho, ví dụ:

$$J_* \equiv J[q_*(t)] \quad ; \quad M_c^* \equiv M_c[q_*(t), \dot{q}_*(t)]; \dots$$

Các phương trình (8.6) được gọi là các phương trình nhiễu động.

Nếu M_d^* và u_* thoả mãn các hệ thức (8-2) và (8-3) thì trong vế phải của các phương trình (8-6) chỉ còn các kích động ΔM_d , ΔL và $r\Delta u$.

Hệ (8-6) là các phương trình vi phân tuyến tính với hệ số biến đổi. Việc tìm nghiệm của các phương trình này rất phức tạp.

Chúng ta chỉ giới hạn việc khảo sát đối với trường hợp các hệ số hằng, chúng ứng với trường hợp các momen quán tính của máy là hằng, mômen tải là hàm tuyến tính đối với \dot{q} , có dạng:

$$M_c = M_0 - v \dot{q} \quad (8.7)$$

trong đó M_0 , v là các hằng số.

Trong trường hợp này phương trình nhiều động có dạng:

$$J_0 \ddot{\psi} + v \dot{\psi} - \Delta M_d = \Delta L \quad (8.8)$$

$$s \dot{\psi} + \tau \dot{\Delta M}_d + \Delta M_d = r \Delta u$$

Viết các phương trình (8-8) trong dạng toán tử và giải chúng, ta nhận được:

$$\psi = W_{kd}(p)\Delta L + W_{dk}(p)\Delta u,$$

ở đó: W_{kd} và W_{dk} tương ứng là các hàm truyền của hệ theo kích động và điều khiển, chúng có dạng:

$$W_{kd}(p) = (\tau p + 1) \left[(s + v)p(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1) \right]^{-1} \quad (8.9)$$

$$W_{dk}(p) = r \left[(s + v)p(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1) \right]^{-1} \quad (8.10)$$

trong đó: $\tau_M = \frac{J_0}{s + v}$ - hằng số thời gian cơ của máy (8.11)

$$\tau'_M = \frac{J_0}{s + v} + \frac{\tau v}{v + s} \quad (8.12)$$

Sai số vận tốc sẽ là:

$$\dot{\psi} = p \psi = W_{kd}^0(p)\Delta L + W_{dk}^0(p)\Delta u, \quad (8.13)$$

với:

$$W_{kd}^0(p) = p W_{kd}(p) = (\tau p + 1) \left[(s + v)p(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1) \right]^{-1} \quad (8.14)$$

$$W_{dk}^0(p) = p W_{dk}(p) = r \left[(s + v)p(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1) \right]^{-1} \quad (8.15)$$

Khi xây dựng mô hình động lực, không tránh khỏi các sai số động lực, khi tạo nên các điều khiển chương trình tương ứng với chuyển động chương trình cho sẵn. Thí dụ, nếu dựa trên đặc tuyến lý tưởng của động

cơ, tương ứng với $M_d = 0$, điều khiển chương trình sẽ tỉ lệ với vận tốc của chuyển động chương trình:

$$u_*(t) = \frac{1}{r} s \dot{q}_*(t) \quad (8.16)$$

Khi đó trong vế phải của phương trình (8-8) xuất hiện các số hạng phụ, chẳng hạn khi vắng lực cản ($M_0 = 0, v = 0$) ta nhận được:

$$\left. \begin{aligned} J_0 p^2 \psi - \Delta M_d &= M_d^* - J_0 \ddot{q}_* + \Delta L \\ s p \psi + (\tau p + 1) \Delta M_d &= -\tau \dot{M}_d^* - M_d^* + r \Delta u \end{aligned} \right\} \quad (8.17)$$

Với $M_d^* = J_0 \ddot{q}_*$ (điều này được rút ra từ (8-3)), còn $\Delta L = \Delta u = 0$ thì phương trình (8-17) có dạng:

$$\psi = -R_\psi(p) \ddot{q}_*; \quad \dot{\psi} = -p R_\psi(p) \ddot{q}_* \quad (8.18)$$

ở đó:

$$R_\psi(p) = \tau_M (\tau p + 1) p^{-1} (\tau \tau_M p^2 + \tau_M p + 1)^{-1} \quad (8.19)$$

Các phương trình tương ứng với điều khiển theo chu tuyến, trong đó tải chính đặt lên động cơ là do các lực quán tính.

Trong các máy điều khiển chương trình, thời gian thực hiện chương trình theo chu tuyến, ví dụ, thời gian bốc xếp của các rôbôt công nghiệp lớn hơn nhiều lần chu kỳ dao động $T = \frac{2\pi}{k}$. Do đó thời gian của

dao động tắt dần bé hơn nhiều lần thời gian thực hiện chương trình. Như đã biết vận tốc tắt dần được xác định theo công thức tính độ tắt logarit:

$$\delta = \frac{2\pi n}{k} = 2\pi \left(\frac{4\tau}{\tau_M} - 1 \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (8.20)$$

Như vậy sau một chu kỳ, biên độ dao động giảm e^δ lần. Ví dụ, nếu $\frac{\tau}{\tau_M} = 0,5$ thì $e^\delta = 535$. Điều này chứng tỏ rằng dao động sẽ bị tắt

trong khoảng thời gian bé hơn nhiều so với chu kỳ dao động $\frac{2\pi}{k}$. Do đó dao động tắt dần không ảnh hưởng đến điều khiển chương trình theo chu tuyến.

Để giảm dao động có thể chọn qui luật thay đổi gia tốc chương trình có dạng bằng phẳng và không chứa các bước nhảy.

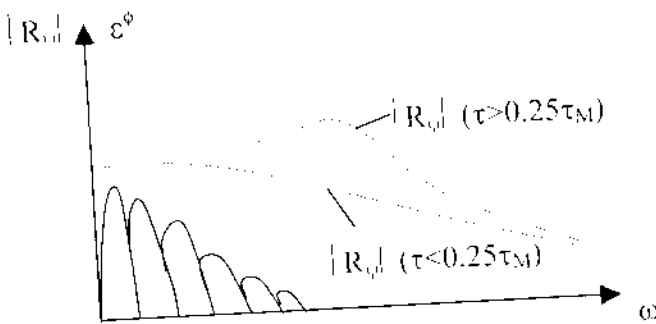
Trong trường hợp máy cứng điều khiển chương trình văng lực cần thì sai số tựa tĩnh có ý nghĩa quan trọng.

Trong trường hợp qui luật thay đổi gia tốc thì chương trình có dạng:

$$\varepsilon = \ddot{q}_d(t) \quad (8.21)$$

nó không triệt tiêu trong khoảng thời gian $[0, t_c]$ và tồn tại phép biến đổi Furiê:

$$\varepsilon^b(j\omega) = \int_0^{t_c} \ddot{q}_d(t) \exp(-j\omega t) dt. \quad (8.22)$$



Hình 8-5 Phổ biên độ gia tốc chương trình và đặc tuyến biên độ-tần số của hệ

Hàm truyền $p R_v(p)$ có điểm cực trong nửa mặt phẳng bên trái nên tồn tại phép biến đổi Furiê đối với hàm $v = \dot{\psi}(t)$ và có dạng:

$$v^{(\psi)}(j\omega) = -R_v(j\omega)j\omega \varepsilon^{(\psi)}(j\omega). \quad (8.23)$$

Sai số vận tốc được tìm nhờ phép biến đổi Furiê ngược:

$$\dot{\psi}(t) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} j\omega R_v(j\omega) \varepsilon^{(\psi)}(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega \quad (8.24)$$

Dựa vào (8-19) ta xây dựng đồ thị của biểu thức:

$$|j\omega R_v(j\omega)| = \frac{\tau_M \sqrt{1 + \tau^2 \omega^2}}{\sqrt{(1 - \tau \tau_M \omega^2)^2 + \tau_M^2 \omega^2}} \quad (8.25)$$

Hàm này thay đổi bằng phẳng, giảm đơn điệu khi $\tau < 0,25\tau_M$ hoặc có cực trị tại tần số cộng hưởng động cơ của máy khi $\tau > 0,25\tau_M$ (xem mục 3-4, chương 3).

Trên hình 8-5 biểu diễn một dạng phụ thuộc điển hình $\left| \varepsilon^{(\varphi)}(j\omega) \right|$.

So với hàm truyền $p R_{\psi}$ thì $\varepsilon(t)$ là quá trình với tần số thấp. Miền tần số ω trong đó $\left| \varepsilon^{(\varphi)}(j\omega) \right|$ có giá trị đáng kể được xác định theo hệ thức $j\omega R_{\psi}(j\omega) \approx \tau_M$. Khi đó từ (8-24) ta có:

$$\dot{\psi} \approx \tau_M \varepsilon(t) = -\tau_M \ddot{q}_*(t) \quad (8.26)$$

Khi tích phân (8-26) với chú ý $\dot{q}_*(0) = 0$ ta nhận được:

$$\psi \approx -\tau_M \dot{q}_*(t) \quad (8.27)$$

3. MÁY VỚI CƠ CẤU TRUYỀN ĐÀN HỒI

Cơ cấu truyền được xem là phần tử đàn hồi có độ cứng c còn khối lượng được bỏ qua. Giả thiết, mômen quán tính khối của động cơ và máy là hằng, còn mômen tải có dạng:

$$M_c = M_0 - v\dot{\theta}$$

Phương trình chuyển động của máy có dạng:

$$\left. \begin{aligned} J_d^0 \ddot{\varphi} + b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) + c(\varphi - \theta) &= M_d \\ J_c^0 \ddot{\theta} + b(\dot{\theta} - \dot{\varphi}) + c(\theta - \varphi) &= -M_0 - v\dot{\theta} \\ \tau \dot{M}_d + M_d &= r u - s \end{aligned} \right\} \quad (8.28)$$

Giả thiết chuyển động của máy với cơ cấu truyền đàn hồi khác rất ít đối với trường hợp máy cứng, còn động cơ làm việc với đặc tuyến động học lý tưởng. Khi đó, ta có:

$$\begin{aligned} \varphi_* &= \theta_* = q_*(t) \\ M_d^* &= (J_d^0 + J_c^0) \ddot{q}_* + M_0 + v \dot{q}_* \end{aligned} \quad (8.29)$$

Các đại lượng nhiễu động có dạng:

$$x = \varphi - q_*; \quad y = \theta - q_*; \quad \Delta M_d = M_d - M_d^* \quad (8.30)$$

Và các đại lượng nhiễu là: $\Delta L_0, \Delta L_1, \Delta u$

Thay (8-30) vào phương trình chuyển động (8-28) ta nhận được phương trình nhiễu động sau:

$$\left. \begin{aligned} J_d^0 \ddot{x} + b(\dot{x} - \dot{y}) + c(x - y) - \Delta M_d &= J_c^0 \ddot{q}_* + M_0 + v \dot{q}_* + \Delta L_0, \\ J_c^0 \ddot{y} + b(\dot{y} - \dot{x}) + c(y - x) &= -J_c^0 \ddot{q}_* - v \dot{q}_* - M_0 + \Delta L_1 - v \dot{y}, \\ s \dot{x} + \tau \dot{\Delta M}_d + \Delta M_d &= -(J_d^0 + J_c^0)(\tau \ddot{q}_* + \dot{q}_*) - v(\tau \ddot{q}_* + \dot{q}_*) - M_0 + r \Delta u \end{aligned} \right\} (8.31)$$

Từ các phương trình nhận được ta tính các sai số động lực trong dạng toán tử:

$$\left. \begin{aligned} x &= W_{xx}(p)(L_x + \Delta L_x) + W_{yx}(p)(L_y + \Delta L_y) + W_{dx}(p)(L_d + r \Delta u) \\ y &= W_{yy}(p)(L_x + \Delta L_x) + W_{yy}(p)(L_y + \Delta L_y) + W_{dy}(p)(L_d + r \Delta u) \end{aligned} \right\} (8.32)$$

ở đó:

$$\left. \begin{aligned} L_x &= J_w \ddot{q}_* + M_0 + v \dot{q}_*, \quad L_y = -J_w \ddot{q}_* - v \dot{q}_* - M_0 \\ L_d &= -(J_{d0} + J_w)(\tau \ddot{q}_* + \dot{q}_*) - v(\tau \ddot{q}_* + \dot{q}_*) - M_0 \\ W_{xx}(p) &= (\tau p + 1) \left[J_{c0} p^2 + (b + v)p + c \right] D^{-1}(p) \\ W_{yy}(p) &= (\tau p + 1) \left[J_{d0} p^2 + (b + s)p + c \right] D^{-1}(p) \\ W_{yx}(p) &= W_{xy}(p) = (\tau p + 1)(bp + c) D^{-1}(p) \\ W_{dx}(p) &= \left[J_{c0} p^2 + (b + v)p + c \right] D^{-1}(p) \\ W_{dy}(p) &= (bp + c) D^{-1}(p) \\ D(p) &= \left[J_{d0} p^2 (J_{c0} p^2 + v p) + (J_{d0} p^2 + J_{c0} p^2 + v p)(bp + c) \right] (\tau p + 1) + \\ &+ \left[J_{c0} p^2 + (b + v)p + c \right] p \end{aligned} \right\} (8.33)$$

Các hàm $r W_{dx}(p)$ và $r W_{dy}(p)$ xác lập mối quan hệ giữa các sai số x và y với kích động điều khiển Δu được gọi là các hàm truyền điều khiển, còn các hàm $W_{xx}(p)$, $W_{yy}(p)$, $W_{xy}(p)$, $W_{yx}(p)$ – các hàm truyền kích động.

Trong trường hợp vắng tải ngoài ($M_0 = 0$, $v = 0$), các nhiễu động x , y có dạng:

$$\left. \begin{aligned} x &= W_x(p) \ddot{q}_* + W_{xx}(p) \Delta L_x + W_{yx}(p) \Delta L_y + r W_{dx}(p) \Delta u, \\ y &= W_y(p) \ddot{q}_* + W_{yy}(p) \Delta L_x + W_{yy}(p) \Delta L_y + r W_{dy}(p) \Delta u \end{aligned} \right\} (8.34)$$

ở đó:

$$\left. \begin{aligned} W_x(p) &= -(\tau p + 1) \left[J_{c0} J_{d0} p^2 + (J_{c0} + J_{d0})(bp + c) \right] \times \\ &\times (bp + c) \left\{ (\tau p + 1) p^2 [J_{c0} J_{d0} p^2 + (J_{c0} + J_{d0})(bp + c)] + sp(J_{c0} p^2 + bp + c) \right\}^{-1} \\ &= -\tau_M (\tau p + 1) (\tau_1^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1) \times \\ &\times \left\{ (\tau p + 1) \tau_M p^2 (\tau_1^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1) + p \left[(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1 \right] \right\}^{-1} \\ W_y(p) &= - \left[\tau_M (\tau p + 1) (\tau_1^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1) + (\tau_1^0)^2 p^2 \right] \times \\ &\times \left\{ \tau_M p^2 (\tau p + 1) (\tau_1^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1) + p \left[(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1 \right] \right\}^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (8.35)$$

với:

$$\tau_1^2 = \frac{J_{c0} J_{d0}}{c(J_{c0} + J_{d0})}; \quad (\tau_1^0)^2 = \frac{J_{c0}}{c}; \quad 2\xi \tau_1 = \frac{b}{c} \quad (8.36)$$

Để tính thành phần tựa tĩnh của các sai số động lực gây nên do chuyển động gia tốc chương trình, trong biểu thức sai số động lực sẽ giữ lại các số hạng bậc một và bậc không đối với toán tử p ở mẫu và tử số của các hàm truyền, chúng có dạng:

$$\begin{aligned} x_t &= -\tau_M \dot{q}_* - \tau_M (2\xi \tau_1 + \tau) \ddot{q}_* \\ y_t &= -\tau_M \dot{q}_* - \tau_M (2\xi \tau_1 + \tau) \ddot{q}_* - (\tau_1^0)^2 \ddot{q}_* \end{aligned} \quad (8.37)$$

Thành phần $-\tau_M \dot{q}_*$ đặc trưng cho sai số gây nên do tính không lý tưởng của đặc tuyến động cơ, còn thành phần $-(\tau_1^0)^2 \ddot{q}_*$ xác định lượng biến dạng của cơ cấu truyền gây nên do mômen lực $-J_{c0} \ddot{q}_*$.

Có thể chỉ ra rằng trong sai số tựa tĩnh có sự tham gia của các dao động tắt dần với tần số gần bằng $k = \left[(\tau \tau_M)^{-1} - (4\tau^2)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}}$ và $k_1 = \tau_1^{-1}$. Tần số k trùng với tần số dao động tắt dần trong máy cứng, còn k_1 trùng với tần số riêng của máy hai khối lượng.

CHƯƠNG 9

HỆ ĐIỀU KHIỂN VỚI LIÊN KẾT NGƯỢC

Một nét rất đặc trưng của tất cả các hệ thống đóng được điều khiển chương trình là sử dụng bộ điều chỉnh để đo các sai số của chuyển động chương trình và tạo ra các tác dụng để giảm các độ sai lệch. Trong một số trường hợp bộ điều chỉnh tạo nên các lượng bổ sung vào các đại lượng điều khiển (hình 9-1), còn trong một số trường hợp khác lại tạo nên toàn bộ tác dụng điều khiển.

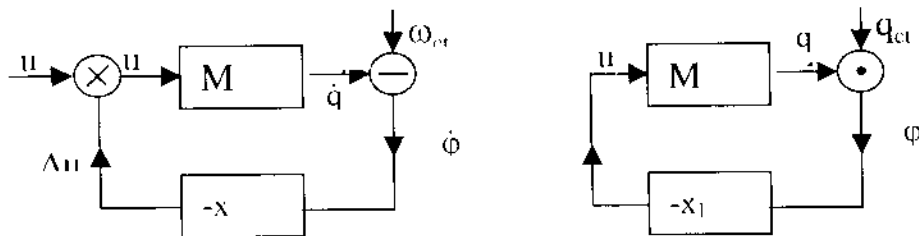
Hiệu quả của các hệ thống đóng được điều khiển phụ thuộc rất quan trọng vào chức năng của bộ điều chỉnh và đặc trưng động lực của nó. Trong đa số trường hợp bộ điều chỉnh được xem là hệ tuyến tính, các tính chất của nó được xác định qua hàm truyền nối giữa đầu ra và đầu vào, tức nối giữa tín hiệu điều khiển với sai số đo được từ qui luật chuyển động của máy.

Dưới đây sẽ khảo sát một số bộ điều chỉnh đơn giản.

1. BỘ ĐIỀU CHỈNH ỔN ĐỊNH HOÁ VẬN TỐC CỦA CHUYỂN ĐỘNG DỪNG

Sơ đồ cấu trúc của bộ điều chỉnh này được cho trên hình 9.1, ở đó M là máy với các khâu cứng và rôto của động cơ. Nhiệm vụ của bộ điều chỉnh là đảm bảo chế độ quay đều của rôto động cơ với vận tốc góc (chương trình) cho trước ω_* tương ứng với điều khiển chương trình u_* .

Điểm khác nhau giữa bài toán này và bài toán đã được khảo sát trong bài toán ở chương 3 là giá trị vận tốc góc trong chương 3 là không được cho trước, nó được xác định theo giá trị trung bình của vận tốc góc của chuyển động bình ổn. Do điều này kích động $L_c(t)$ được tính trong chương 3 không chứa thành phần hằng. Ở đây giá trị của vận tốc góc chương trình đã được định sẵn, các tác dụng gây nên độ lệch của vận tốc góc trung bình đối với giá trị này cần được xem là yếu tố kích động.



a - Hệ ổn định hoá vận tốc

b- Hệ tự động với điều khiển chu tuyến

Hình 9-1 Sơ đồ cấu trúc của hệ liên hệ ngược

Để xác định sai số vận tốc có thể sử dụng công thức (8-13), trong đó, $\Delta L = L_c(t) + \Delta M_0$, ở đó $L_c(t)$ là kích động chu kỳ được tính theo công thức đã trình bày trong chương 3, còn ΔM_0 – mômen kích động được gây nên, thí dụ, do độ lệch của thành phần không đổi của mômen cản đối với giá trị chuẩn của nó. Do đó phương trình của đối tượng điều khiển có dạng:

$$\dot{\psi} = \frac{(\tau p + 1)(L_c + \Delta M_0) + r \Delta u}{(s + v)(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1)} \quad (9.1)$$

Giả thiết rằng bộ điều tốc tạo ra tín hiệu Δu tỉ lệ với sai số vận tốc:

$$\Delta u = -\chi \dot{\psi} \quad (9.2)$$

Hệ số tỉ lệ χ được gọi là hệ số khuếch đại của liên hệ ngược (bộ điều tốc). Dấu trừ trong công thức (9-2) đảm bảo hiệu quả điều khiển.

Khi sai số dương ($\dot{q} > \omega_*$) sẽ gây nên giảm thông số điều khiển vào u và kéo theo là giảm q .

Khi ($\dot{q} < \omega_*$) làm tăng Δu và làm tăng vận tốc động cơ.

Liên hệ ngược có tính chất đã nêu được gọi là liên hệ ngược âm.

Các phương trình (9-1) và (9-2) mô tả chuyển động của hệ đóng. Khi thay (9-2) vào (9-1) ta nhận được phương trình của sai số động lực:

$$\left[1 + \frac{\chi r}{(s + v)(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1)} \right] \dot{\psi} = \frac{\tau p + 1}{(s + v)(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1)} \Delta L$$

Từ đó:
$$\dot{\psi} = \frac{\tau p + 1}{(s + v)(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1) + \chi r} \Delta L \quad (9.3)$$

ở đây: $\Delta L = L_c + \Delta M_0$.

Khi không sử dụng liên hệ ngược, tức khi $\chi = 0$, từ (9-3) ta nhận được:

$$(\dot{\psi})^0 = \frac{\tau p + 1}{(s + v)(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1)} \Delta L \quad (9.4)$$

$$\text{Từ đây} \quad \dot{\psi} = W_*(p)(\dot{\psi})^0 \quad (9.5)$$

với:

$$W_*(p) = \frac{(s + v)(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1)}{(s + v)(\tau \tau_M p^2 + \tau'_M p + 1) + \chi r} \quad (9.6)$$

Hàm truyền $W_k(p)$ cho phép đánh giá hiệu quả của bộ điều tốc. Đầu tiên hãy đánh giá mức độ giảm của sai số tĩnh (tức là hiệu giữa giá trị vận tốc góc của chuyển động bình ổn của máy và vận tốc chương trình ω_*) khi đưa liên hệ ngược vào.

Sai số tĩnh gây ra do thành phần kích động ΔM_0 khi không sử dụng liên hệ ngược:

$$\psi_t^0 = W_k(0)\Delta M_0 = \frac{\Delta M_0}{s+v}, \quad (9.7)$$

Nó trùng với kết quả tìm ở chương 3 (xem công thức (3-22)).

Khi sử dụng bộ điều tiết, từ (9-3) ta có:

$$\dot{\psi}_t = (s+v+\chi r)^{-1} \Delta M_0 \quad (9.8)$$

Do đó

$$\frac{\dot{\psi}_t}{(\dot{\psi})_t^0} = \frac{s+v}{s+v+\chi r}$$

Kết quả này có thể suy từ (9-5):

$$\dot{\psi}_t = W_*(0)(\dot{\psi})_t^0 \quad (9.9)$$

Do đó, mức độ giảm sai số tĩnh được đánh giá qua đại lượng:

$$W_*(0) = \frac{s+v}{s+v+\chi r} \quad (9.10)$$

Như vậy việc tăng hệ số khuếch đại sẽ làm giảm sai số tĩnh, thêm vào đó về nguyên lý đại lượng $\dot{\psi}_t$ có thể được làm cho tùy ý bé khi χ lấy giá trị đủ lớn.

Bây giờ xét một thành phần điều hoà nào đó của kích động chu kỳ $L_i(t)$. Khi không có liên hệ ngược thành phần này gây nên thành phần điều hoà tương ứng của sai số động lực $(\psi_t)^0$. Giả sử ω là tần số của điều hoà này, còn a_0 là biên độ của nó. Khi đó tương ứng với (9-5) và (9-6) chúng ta nhận được:

$$\begin{aligned} \psi &= |W_*(j\omega)| a_0 \cos[\omega t + \arg W_*(j\omega)] = \\ &= \left| \frac{(s+v)(1 - \tau \tau_M \omega^2 + \tau_M \omega j)}{(s+v)(1 - \tau \tau_M \omega^2 + \tau_M \omega j) + \chi r} \right| a_0 \cos[\omega_0 + \arg W_*(j\omega)] \end{aligned} \quad (9.11)$$

Hiệu quả của bộ điều khiển có thể được đánh giá qua tỉ số giữa biên độ của điều hoà tần số ω được chứa trong biểu thức (9.11) và biên độ của điều hoà của cùng tần số trong $(\psi)^0$.

Từ (9-11) chúng ta tính được:

$$|W_*(j\omega)| = \sqrt{\frac{(s+v)^2 [(1 - \tau \tau_M \omega^2)^2 + (\tau'_M)^2 \omega^2]}{[(s+v)(1 - \tau \tau_M \omega^2) + \chi r]^2 + (s+v)^2 (\tau'_M)^2 \omega^2}} \quad (9.12)$$

Rõ ràng là việc tăng χ sẽ làm giảm tỉ số $\frac{\dot{\psi}}{(\dot{\psi})^0}$ và do đó tăng hiệu quả của bộ điều khiển. Trong thực tế khả năng nâng cao hiệu quả của bộ điều khiển nhờ tăng hệ số khuếch đại của liên hệ ngược không phải là không bị giới hạn. Điều này là do sự sai lệch của hàm truyền của bộ điều tốc thực với bộ điều tốc theo dạng (9-2).

Bộ điều tốc thực không thể có hệ số khuếch đại tùy ý lớn (bộ điều tốc lý tưởng) do nó có quán tính. Việc tăng hệ số khuếch đại của nó sẽ làm hệ đóng không ổn định.

2. BỘ ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG VỚI LIÊN HỆ NGƯỢC THEO TOA ĐỘ

Khảo sát hệ tự động điều khiển chu tuyến của máy cứng một động cơ. Giả thiết rằng qui luật thay đổi của thông số đầu vào của động cơ được tạo ra do bộ điều khiển có dạng:

$$u = -\chi_1 [q - q_*(t)] \quad (9.13)$$

ở đó $q_*(t)$ là qui luật thay đổi chương trình của toạ độ q .

Bằng cách như vậy trong trường hợp này chúng ta có bộ điều khiển tỉ lệ lý tưởng với hàm truyền $W_{\text{in}} = \chi_1$, thực hiện liên hệ ngược âm. Giả thiết rằng mômen quán tính của máy là hằng, còn mômen tải phụ thuộc tuyến tính vào q , đó là:

$$M_c = -M_0 - v \dot{q}$$

Phương trình chuyển động sẽ là:

$$J_0 \ddot{q} = M_d - M_0 - v \dot{q} \quad (9.14)$$

Phương trình (8-2), (9-13) và (9-14) mô tả động lực của hệ tự động. Khi khử M_d và u từ các phương trình này ta nhận được

$$\tau J_0 \ddot{q} + (J_0 + \tau v) \dot{q} + (s+v)q + \chi_1 r q = -M_0 + \chi_1 r q_* \quad (9.15)$$

Sau khi thay vào (9.15) $q = q_* + \psi$ và chia cho $s + v$ ta tìm được phương trình của sai số động lực:

$$\begin{aligned} \tau \tau_M \ddot{\psi} + \tau'_M \dot{\psi} + \psi + \chi_1 r (s+v)^{-1} \psi = \\ = -\tau \tau_M \ddot{q}_* - \tau'_M \dot{q}_* - \dot{q}_* - M_0 (s+v)^{-1} \end{aligned} \quad (9.16)$$

Khi không tải từ đây ta nhận được hệ thức toán tử sau:

$$\psi = -\frac{\tau \tau_M p^2 + \tau_M p + 1}{\tau \tau_M p^3 + \tau_M p^2 + p + \frac{\chi_1 r}{s}} \dot{q}_* = -W_\psi(p) \dot{q}_* \quad (9.17)$$

Xét trường hợp $\dot{q}_*(t)$ đặc trưng quá trình tần số thấp, từ (9-17) ta có sai số tựa tĩnh:

$$\psi_1 = -W_\psi(0) \dot{q}_* = -\frac{s}{\chi_1 r} \dot{q}_* \quad (9.18)$$

Từ đây cho thấy sai số tựa tĩnh giảm khi tăng hệ số khuếch đại.

Tuy nhiên hệ số χ_1 bị giới hạn thậm chí trong trường hợp bộ điều khiển tỉ lệ lý tưởng. Việc tăng χ_1 sẽ phá huỷ điều kiện ổn định của hệ đóng.

Khi sử dụng tiêu chuẩn Hurwitz cho hệ (9-17), hệ sẽ không ổn định nếu:

$$a_1 a_2 - a_3 a_0 = \tau_M - \tau \tau_M \chi_1 \frac{r}{s} < 0$$

Từ đây ta có:

$$\chi_1 > \frac{s}{r \tau}$$

Vậy để hệ ổn định cần:

$$\chi_1 < \frac{s}{r \tau}$$

Do đó từ (9-18) rút ra:

$$|\psi_1| > \tau |\dot{q}_*(t)| \quad (9.19)$$

Vậy khi đưa điều khiển liên hệ ngược vào, sai số tựa tĩnh sẽ giảm $\frac{\tau_M}{\tau}$ lần.

3. BỘ ĐIỀU CHỈNH TỈ LỆ VI PHÂN

Giả thiết bộ điều chỉnh tạo ra điều khiển theo qui luật sau:

$$u = -\chi_1 (q - q_*) - \chi (\dot{q} - \dot{q}_*) \quad (9.20)$$

Bộ điều chỉnh này có hàm truyền:

$$W_{vf} = \chi_1 + \chi p \quad (9.21)$$

và được gọi là bộ điều chỉnh vi phân tỉ lệ.

Khi khử các ẩn M_d và u , từ các phương trình (8-2), (9-14) và (9-16) và đặt $\psi = q - q_*$, ta nhận được:

$$\begin{aligned} & \tau \tau_M \ddot{\psi} + \tau_M \dot{\psi} + [1 + \chi r(s+v)^{-1}] \psi + \chi_1 r(s+v)^{-1} \psi = \\ & = -\tau \tau_M \ddot{q}_* - \tau_M \dot{q}_* - \dot{q}_* - M_0(s+v)^{-1} \end{aligned}$$

Khi không tải, chúng ta nhận được sai số động lực dạng:

$$\psi = -\frac{\tau \tau_M p^2 + \tau_M p + 1}{\tau \tau_M p^3 + \tau_M p^2 + (1 + \chi r s^{-1})p + \chi_1 r s^{-1}} \dot{q}_* \quad (9.22)$$

Điều kiện ổn định trong trường hợp này sẽ là:

$$\tau_M(1 + \chi r s^{-1}) - \tau \tau_M \chi_1 r s^{-1} > 0$$

Từ đây

$$\chi_1 < \frac{s + \chi r}{\tau r}$$

Sai số tựa tĩnh theo (9-18) sẽ là: $\psi_t = \frac{s}{\chi_1 r} \dot{q}_* > \frac{\tau}{(1 + \chi r s^{-1})} \dot{q}_*$.

Vậy:

$$|\psi_t| > \tau(1 + \chi r s^{-1})^{-1} |\dot{q}_*(t)|.$$

Từ kết quả nhận được không nên ngộ nhận khả năng giảm không giới hạn sai số bằng biện pháp tăng hệ số χ vì rằng ở đây đã giả thiết rằng đặc tuyến của bộ điều chỉnh là lý tưởng và bỏ qua quán tính của nó.

4. BỘ ĐIỀU CHỈNH PHIẾM ĐỊNH

Bộ điều chỉnh này tạo nên điều khiển dạng:

$$u = -\left(\chi_1 + \frac{\chi_2}{p}\right)(q - q_*) \quad (9.23)$$

tức tạo ra điều khiển tỉ lệ với sai số và cả với tích phân của sai số. Phương trình chuyển động của bộ điều chỉnh có dạng (8-2), (9-14) và (9-23). Bỏ qua tải, sai số động lực ψ có dạng:

$$\psi = -\frac{p(\tau \tau_M p^2 + \tau_M p + 1)}{\tau \tau_M p^4 + \tau_M p^3 + p^2 + r \chi_1 s^{-1} p + r \chi_2 s^{-1}} \dot{q}_* \quad (9.24)$$

Việc xuất hiện thừa số p trong tử số của hàm truyền làm triệt tiêu sai số tĩnh gây nên thành phần không đổi trong $\dot{q}_*(t)$. Sai số tựa tĩnh gây ra do sự thay đổi chậm của vận tốc chương trình không triệt tiêu nhưng khá bé.

Bộ điều chỉnh có tính chất như vậy được gọi là bộ điều chỉnh tựa tĩnh. Khi phân tích mẫu của biểu thức (9-24) và dựa vào tiêu chuẩn Hurwitz, ta nhận được điều kiện ổn định của bộ điều chỉnh phẩm định:

$$a_1 a_2 - a_3 a_0 = \tau_M - \tau \tau_M r \chi_1 s^{-1} > 0$$

$$a_3 (a_1 a_2 - a_3 a_0) - a_0 a_1^2 = r \chi_1 s^{-1} \tau_M (1 - \tau r \chi_1 s^{-1}) - r \chi_2 s^{-1} \tau_M^2 > 0$$

Từ đây tìm được các giới hạn đối với χ_1 và χ_2 :

$$0 < \chi_1 < \frac{s}{\tau r}; \quad 0 < \chi_2 < \frac{\chi_1 (1 - \tau r \chi_1 s^{-1})}{\tau_M}.$$

5. KHẢO SÁT BỘ ĐIỀU CHỈNH

5.1. Bộ điều chỉnh như một hệ động lực (hình 9.2)

Bộ điều chỉnh thực hiện liên hệ ngược trong máy điều khiển là một hệ động lực phức tạp gồm một số bộ phận chức năng: thiết bị đo, bộ phận tính toán, bộ phận chấp hành.

Tác dụng của liên hệ ngược dựa trên việc so sánh giá trị thực của các thông số đặc trưng cho chuyển động của máy với các giá trị chương trình. Sự so sánh này được tiến hành nhờ các thiết bị đo của bộ điều chỉnh. Các thông số cần đo có thể là tọa độ của khâu ra của động cơ và của các bộ phận công tác khác. Trong một số trường hợp các đại lượng cần so sánh có thể là lực (mômen lực) tác dụng lên các khâu của máy, ví dụ, các lực liên kết giữa các khớp nối. Các tín hiệu đầu ra của thiết bị đo đặc trưng cho sai số của các thông số được đo được đưa vào thiết bị tính toán có nhiệm vụ biến đổi các tín hiệu này để tạo nên qui luật điều khiển.

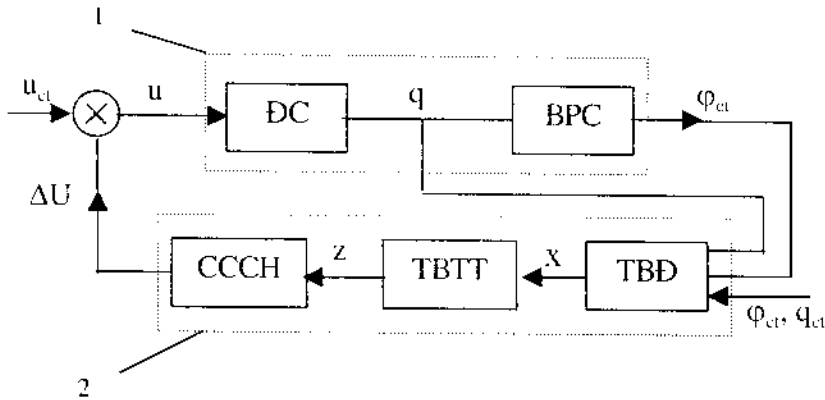
Đầu tiên trung tâm tính toán có nhiệm vụ biến đổi các tín hiệu đưa vào nhờ các phép tính (vi phân, tích phân, cộng các thành phần tỉ lệ với các sai số và đạo hàm của chúng và v.v...) để tạo nên các tín hiệu điều khiển.

Nhiệm vụ thứ hai của trung tâm tính toán là tách ra các thông tin hữu ích được chứa trong các tín hiệu từ các nhiễu, lọc các tín hiệu, tách các thành phần tần số thấp.

Nhiệm vụ thứ ba của trung tâm này là biến đổi tín hiệu liên tục ở đầu vào thành các tín hiệu rời rạc để giúp cho việc tính toán thuận tiện hơn, cũng như thực hiện các phép biến đổi ngược các tín hiệu rời rạc sang liên tục. Để thực hiện các công việc này cần có các bộ vi xử lý.

Các tín hiệu vào thường không sử dụng trực tiếp được cho việc điều khiển động cơ vì công suất không đủ. Ngoài ra, chúng thường là các tín hiệu điện, trong khi điều khiển động cơ cần các chuyển động cơ học

của các cơ quan điều khiển. Việc khuếch đại các tín hiệu ra của thiết bị tính toán và biến nó thành các điều khiển u (hoặc Δu) để đưa vào đầu vào của động cơ sẽ là nhiệm vụ của cơ cấu chấp hành của bộ điều chỉnh.



Hình 9-2 Sơ đồ chức năng của bộ điều khiển

1. Máy tổ hợp; 2. Hệ điều khiển

TBTT - thiết bị tính toán; TBD - thiết bị đo

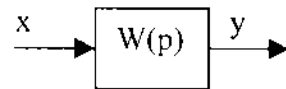
CCCH - cơ cấu chấp hành.

5.2. Hàm truyền của các phần tử của bộ điều chỉnh

Các bộ phận chức năng của bộ điều chỉnh gồm các phần tử được gọi là các khâu. Ở đây chỉ khảo sát hệ gồm các khâu tuyến tính tác dụng hướng. Mỗi khâu này có hai cực nối đầu vào x với đầu ra y thông qua hàm truyền $W(p)$ (hình 9.3):

$$y = W(p) x$$

Bộ điều chỉnh một thứ nguyên đơn giản nhất có thể biểu diễn ở dạng nối liên tiếp các khâu với hàm truyền $W_{do}(p)$ (hàm truyền của thiết bị đo), $W_{tt}(p)$ (hàm truyền của thiết bị tính), $W_{chh}(p)$ (hàm truyền của khâu chấp hành).



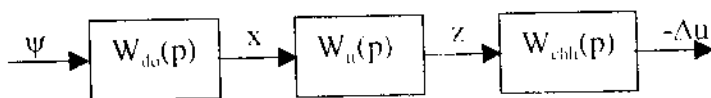
Hình 9-3 Sơ đồ cấu trúc của khâu tác dụng hướng

Hàm truyền của chuỗi nối tiếp các khâu sẽ là tích các hàm truyền của từng khâu. Như vậy hàm truyền của bộ điều chỉnh được cho trên hình 9-4 được tìm từ biểu thức:

$$-\Delta u = W_{chh}(p)z = W_{chh}(p)W_{tt}(p)x = W_{chh}(p)W_{tt}(p)W_{do}(p)\psi = W_{ng}(p)\psi$$

Hàm truyền: $W_{ng}(p) = W_{chh}(p)W_{tt}(p)W_{do}(p)$ được gọi là hàm truyền của liên hệ ngược.

Trong hệ thống điều khiển hiện đại thường sử dụng tổ hợp các thiết bị đo, thiết bị tính toán, thiết bị chấp hành (hình 9-4).



Hình 9-4- Sơ đồ cấu trúc của hệ điều tiết

Sau đây sẽ giới thiệu một số phân tử, hàm truyền có tính điển hình.

a. Máy phát đo tốc độ

Máy phát đo tốc độ dùng dòng điện một chiều (hình 9-5) là loại thiết bị đo thường được dùng cho bộ điều chỉnh ổn định hoá vận tốc góc. Nó là một máy phát với kích thích độc lập, có rôto gắn cứng với trục quay cần đo vận tốc góc. Sức điện động của máy tỉ lệ với vận tốc góc $\dot{\phi}$:

$$u_f = k \dot{\phi}$$

trong đó ϕ là từ thông của cuộn dây kích thích.

Từ đây tính được sai số vận tốc góc $\psi = \dot{\phi} - \omega_*$,

trong đó ω_* - vận tốc góc chương trình, nó tỉ lệ với tín hiệu x được tính theo u_f và thế hiệu hằng $u_0 = k \phi \omega_*$

Phương trình mạch điện cho trước:

$$x = RI = \frac{u_f - u_0}{R + R_1} R = \frac{k\dot{\phi}R}{R + R_1} (\dot{\phi} - \omega_*) = k_f \psi$$

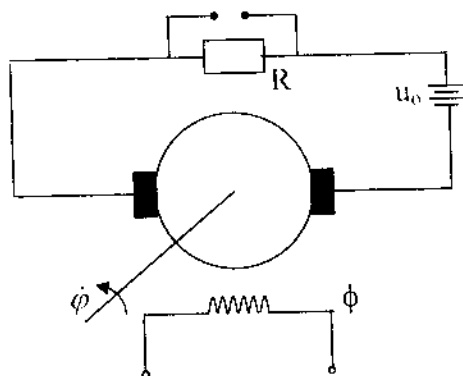
trong đó: R_1 - điện trở của lõi máy,

I - cường độ của dòng điện trong mạch.

k_f - hệ số khuếch đại, $k_f = k\phi R(R + R_1)^{-1}$.

Do đó máy phát đo tốc độ lý tưởng thuộc dạng khâu tuyến tính với hàm truyền:

$$W_d^0(p) = k_f \quad (9.25)$$



Hình 9-5 Máy phát đo tốc độ

Thực tế trong khi đo các sai số tự cảm L của lõi là đại lượng biến đổi theo thời gian. Để kể đến ảnh hưởng của đại lượng này phương trình mạch điện có thể được viết trong dạng:

$$u_i - u_0 = (R + R_l)I + L\dot{I} = k\phi \dot{\psi}$$

Từ đây:

$$x = RI = k_f(1 + \tau_f p)^{-1} \dot{\psi} = W_f(p) \dot{\psi} \quad (9.26)$$

ở đó

τ_f - hằng số thời gian của máy phát đo tốc độ:

$$\tau_f = L/(R + R_l) \quad (9.27)$$

$W_f(p)$ - hàm truyền của nó:

$$W_f(p) = k_f/(1 + \tau_f p) \quad (9.28)$$

Từ đây dễ dàng thiết lập mối quan hệ của hàm truyền của máy đo tốc độ trong trường hợp lý tưởng và không lý tưởng:

$$W_f^0(p) = W_f(p)(1 + \tau_f p) \quad (9.29)$$

Hệ thức (9-26) tương đương với phương trình vi phân:

$$\tau_f \dot{x} + x = k_f \dot{\psi} \quad (9.30)$$

Giả sử tại thời điểm đầu ($t = 0$) đầu vào của thiết bị nhận được tín hiệu không đổi của sai số. Qui luật $x(t)$ sẽ nhận được từ nghiệm tổng quát của phương trình (9-30):

$$x = C \exp\left(\frac{-t}{\tau_f}\right) + k_f \dot{\psi}_0 \quad (9.31)$$

Hằng số C được xác định từ điều kiện ban đầu:

$$C = x(0) - k_f \dot{\psi}_0 \quad (9.32)$$

Từ (9-30) nhận thấy tỉ lệ giữa x và $\dot{\psi}_0$ sẽ được thiết lập khi có thành phần thứ nhất triệt tiêu, tức sau khi đã hoàn thành quá trình chuyển tiếp, nó không có tính chu kỳ (không dao động) nên khâu với hàm truyền (9-28) có tên là khâu á chu kì (không dao động).

Nếu sai số vận tốc là quá trình điều hoà với tần số ω , tức là:

$$\dot{\psi} = v_0 \cos \omega t \quad (9.33)$$

thì nghiệm tổng quát của phương trình (9-30) có dạng:

$$x = C \exp\left(\frac{-t}{\tau_f}\right) + \frac{k_f v_0 \cos[\omega t - \arctg(\omega \tau_f)]}{\sqrt{1 + \tau_f^2 \omega^2}} \quad (9.34)$$

Như vậy trong trường hợp này cũng xảy ra quá trình chuyển tiếp không có tính chu kỳ. Sau khi quá trình chuyển tiếp kết thúc đầu ra sẽ thiết lập dao động điều hoà với tần số ω .

So sánh quá trình bình ổn này với quá trình ở đầu ra của thiết bị đo lý tưởng:

$$x^0 = k_f \psi = k_f v_0 \cos \omega t \quad (9.35)$$

sẽ thấy có độ méo được gây nên do tính chất động lực của máy phát đo tốc độ.

Thứ nhất, biên độ bị méo, nó được nhân lên với hệ số $\left[1 + (\tau_f \omega)^2\right]^{\frac{1}{2}}$.

Thứ hai có độ chậm pha của quá trình, nó bằng $\arctg(\omega \tau_f)$.

Độ méo như vậy sẽ không đáng kể nếu tích $\omega \tau_f$ là khá bé. Cùng với việc tăng tần số của quá trình đo thì độ méo tăng lên và biên độ sẽ giảm đến không, còn độ chậm pha sẽ tiến đến $\frac{\pi}{2}$. Độ giảm biên độ tín hiệu tại đầu ra của thiết bị đo xảy ra do việc đo các tín hiệu có tần số cao trong thực tế không thực hiện được, còn việc tăng độ chậm pha là do hệ điều khiển không ổn định.

b. Thiết bị li tâm đo vận tốc.

Để ổn định hoá vận tốc của các máy năng lượng (máy hơi nước, động cơ đốt trong) thường sử dụng thiết bị li tâm để đo vận tốc. Sơ đồ thiết bị li tâm cho trên hình 9-6. Khi vận tốc góc của máy thay đổi sẽ làm thay đổi vị trí các quả nặng và làm thay đổi cả x , nó liên hệ với van đóng mở của lượng hơi vào và nhờ đó điều chỉnh tốc độ quay ϕ của máy. Khi máy làm việc với chế độ quay $\phi = \omega_*$ thì $x = 0$. Khảo sát chuyển động của bộ điều chỉnh li tâm với các giả thiết sau:

+ Bỏ qua tác dụng của thiết bị đo lên máy, tức giả thiết ϕ không phụ thuộc vào tính chất động lực của thiết bị đo. Do đó thiết bị đo được xem là loại khâu chịu tác dụng theo hướng một bậc tự do. Chọn x làm toạ độ suy rộng.

+ Bỏ qua khối lượng của các bộ phận khác do bé so với các quả nặng.

+ Sai số động lực $\psi = \dot{\phi} - \omega_*$ bé so với ω_* , tức $\psi \ll \omega_*$. Các đại lượng x , cũng được xem là bé và xem máy chuyển động lân cận vị trí cân bằng $x = 0$, $\dot{\phi} = \omega_*$.

Với các giả thiết trên động năng của thiết bị đo sẽ là:

$$T = 0,5m\dot{v}^2 = 0,5m[R^2(x)\dot{\phi}^2 + l^2\dot{\alpha}^2]$$

trong đó: m - tổng khối lượng của các quả văng, chúng được xem là các chất điểm,

v - vận tốc quả văng,

l - chiều dài của khâu,

$R(x)$ - khoảng cách từ quả văng đến trục quay,

$\alpha(x)$ - góc tách giữa khâu và trục quay (hình 9-6)

Vì $\dot{\phi} = \omega_* + \dot{\psi}$ và $\dot{\alpha} = \dot{x} \frac{d\alpha}{dx}$ nên

$$T = 0,5 \left[R^2(x)(\omega_* + \dot{\psi})^2 + l^2 \dot{x}^2 \left(\frac{d\alpha}{dx} \right)^2 \right]$$

Do x , $\dot{\psi}$ được xem là bé, nên khi bỏ qua các đại lượng vô cùng bé từ bậc hai ta có:

$$R(x) = R(0) + \frac{dR}{dx}(0)x$$

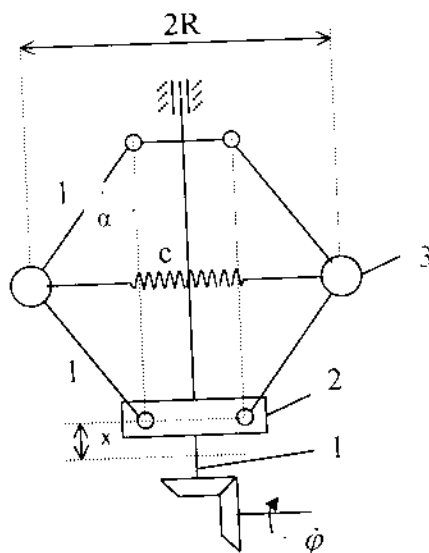
$$\frac{d\alpha}{dx} = \frac{d\alpha}{dx}(0) + \frac{d^2\alpha}{dx^2}(0)x$$

Biểu thức động năng của thiết bị khi bỏ qua các đại lượng vô cùng bé từ bậc hai sẽ có dạng:

$$T = 0,5m[R_0^2\omega_*^2 + 2R_0R'_0\omega_*^2x + R_0'^2\omega_*^2x^2 + 2\omega_*^2R_0\dot{\psi}^2 + 4R_0R'_0\omega_*\dot{x}\dot{\psi} + R_0'^2\dot{\psi}^2 + l^2\alpha_0'^2\dot{x}^2]$$

$$\text{ở đó: } R_0 = R(0); \quad R'_0 = \frac{dR}{dx}(0); \quad \alpha'_0 = \frac{d\alpha}{dx}(0)$$

Thế năng của hệ là tổng thế năng đàn hồi và trọng lực. Độ biến dạng Δ của lò xo được tính đến vô cùng bé bậc hai:



Hình 9.6 Thiết bị ly tâm đo vận tốc

$$\Delta = \Delta_0 + 2(R_0'x + 0,5R_0''x^2)$$

ở đó: Δ_0 - độ biến dạng lò xo khi $x = 0$, $R_0'' = \frac{d^2R}{dx^2}(0)$.

Vậy thế năng lò xo sẽ là:

$$\Pi_{lx} = 0,5c\Delta^2 = 0,5c[\Delta_0^2 + 4(R_0')^2x^2 + 4\Delta_0R_0'x + 2\Delta_0R_0''x^2]$$

ở đó c - độ cứng của lò xo.

Thế năng trọng lực sẽ là:

$$\Pi_p = 0,5mgx$$

Các lực không thế là các lực cản, đó là lực ma sát trong khớp tịnh tiến $Q_c = -bx$ (với b là hệ số cản nhớt).

Phương trình chuyển động của thiết bị được thiết lập nhờ phương trình Lagrange loại hai:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{\partial \Pi_{lx}}{\partial x} - \frac{\partial \Pi_p}{\partial x} + Q_c$$

Nó có dạng sau:

$$ml^2(\alpha_0')^2\ddot{x} - m(R_0')^2\omega_*^2x - mR_0R_0'\omega_*^2 - 2mR_0R_0'\omega_*\dot{\psi} = \\ = -4cR_0'^2x - 2cR_0'\Delta_0 - 2c\Delta_0R_0''x - 0,5mg - bx$$

Tại vị trí cân bằng ($x = 0$, $\dot{\psi} = 0$), phương trình này được thỏa mãn. Do đó:

$$(m\omega_*^2R_0 - 2c\Delta_0)R_0' - 0,5mg = 0$$

Khi kể đến điều kiện này, phương trình chuyển động sẽ được viết như sau:

$$ml^2\alpha_0'^2\ddot{x} + bx + [4c - m\omega_*^2]R_0'^2 + 2c\Delta_0R_0''x = 2mR_0R_0'\omega_*\dot{\psi}$$

Phương trình này có thể được viết trong dạng

$$\tau_*^2\ddot{x} + 2\xi_*\tau_*\dot{x} + x = k_*\dot{\psi}$$

ở đây

$$\tau_*^2 = \frac{ml^2\alpha_0'^2}{(4c - m\omega_*^2)R_0'^2 + 2c\Delta_0R_0''}$$

$$b[(4c - m\omega_*^2)R_0'^2 + 2c\Delta_0R_0'']^{-1} = 2\xi_*\tau_*$$

$$k_* = \frac{2mR_0^2R_0'\omega_*}{(4c - m\omega_*^2)R_0'^2 + 2c\Delta_0R_0''}$$

Hàm truyền của thiết bị đo sẽ là:

$$W(p) = k_* / (\tau_*^2 p^2 + 2\xi_* \tau_* p + 1) \quad (9.36)$$

Các điều kiện trên chỉ tồn tại khi:

$$(4c - m\omega_*^2)R_0^2 + 2c\Delta_0 R_0^2 > 0$$

Đây cũng là điều kiện để vị trí cân bằng $x = 0$ ổn định.

Quá trình chuyển tiếp của khâu ra và hàm truyền của thiết bị đo có đặc trưng dao động khi $\xi_* < 1$, nó được gọi là khâu dao động. Khi $\xi_* > 1$ thì mẫu số của hàm truyền có thể phân tích thành các thừa số

$$\tau_*^2 p^2 + 2\xi_* \tau_* p + 1 = (\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1)$$

ở đó:

$$\tau_{1,2} = \tau_* \left(-\xi_* \pm \sqrt{\xi_*^2 - 1} \right)$$

Trong trường hợp này thiết bị đo li tâm có thể được xem là nối tiếp của hai khâu không dao động.

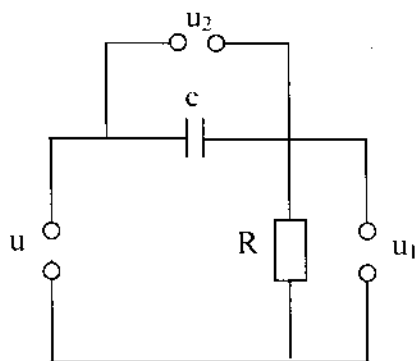
Với sai số điều hoà (9-33), quá trình bình ổn ở đầu ra của thiết bị đo với $\xi_* < 1$ có dạng sau:

$$x = \frac{k_* v_0 \cos[\omega t - \arg(1 - \tau_*^2 \omega^2 + 2\xi_* \tau_* \omega j)]}{\sqrt{(1 - \tau_*^2 \omega^2)^2 + 4\xi_*^2 \tau_*^2 \omega^2}}$$

Độ sai lệch về quy luật tỉ lệ giữa x và ψ sẽ lớn chỉ khi $\omega \tau_*$ khá lớn. Khi $\omega \tau_* \approx 1$ biên độ tại đầu ra tăng (cộng hưởng của thiết bị đo), còn độ lệch pha sẽ là $\frac{\pi}{2}$. Việc tăng tiếp tục tần số của thiết bị đo sẽ giảm biên độ x , và độ lệch pha tiến đến π khi $\omega \tau_* \rightarrow \infty$.

5.3. Hàm truyền của thiết bị tính toán

Để tạo ra các qui luật điều khiển thì các phép tính tích phân và vi phân được tiến hành nhờ thiết bị tính toán, trong đó thường sử dụng các mạch điện với các phần tử thụ động. Trên hình 9-7a là sơ đồ của mạch điện gồm điện trở R , tụ điện



Hình 9-7a- Bộ chuyển đổi RC

với điện dung C (mạch RC). Đầu vào của mạch là thế hiệu u , thí dụ, nó là đầu ra của máy phát đo tốc độ. Phương trình mạch điện có dạng:

$$u = RI + \frac{1}{C} \int_0^t I dt$$

ở đó I là cường độ dòng điện

Vì phân hai vế của phương trình nhận được ta có: $\dot{u} = RI + \frac{1}{C}$

Từ đây:
$$I = \frac{Cp}{RCp + 1} u$$

Thế hiệu đầu ra u_1 sẽ là:

$$u_1 = RI = \frac{RCp}{RCp + 1} u \quad (9.37)$$

Hàm truyền mạch RC có dạng:

$$W(p) = p \frac{RC}{RCp + 1} \quad (9.38)$$

Mạch RC có thể được xem là nối tiếp khâu vi phân với hàm truyền $W_1 = p$ và khâu không dao động với hàm truyền:

$$W_2 = \frac{RC}{RCp + 1}$$

Như vậy, sự biến đổi được khảo sát không dẫn đến phép vi phân thuần túy, thực tế có thể xem là xích các khâu vi phân nếu tần số ω có mặt trong tín hiệu thỏa mãn hệ thức $RC\omega_{\max} \ll 1$. Do đó việc thực hiện điều kiện này liên hệ với việc giảm RC và dẫn đến việc giảm hệ số khuếch đại. Thế hiệu u_2 của mạch RC sẽ được tính theo công thức:

$$u_2 = u - u_1 = (RCp + 1)^{-1} u$$

Nếu hằng số thời gian RC đủ lớn để tất cả các tần số có trong quá trình đo thực hiện điều kiện $RC\omega \gg 1$ thì khâu được khảo sát gần giống khâu tích phân với hàm truyền:

$$W = (RCp)^{-1}$$

Rõ ràng là với sự giảm tần số của quá trình đo sẽ phát sinh hiện tượng méo.

Thực hiện các phép tính tích phân chỉ bằng khâu tuyến tính nói chung là không thể. Khâu tích phân thường được thực hiện như khâu không dao động với hằng số thời gian rất lớn.

Bằng cách tương tự để khảo sát mạch LR (hình 9-7b).

Trong trường hợp này.

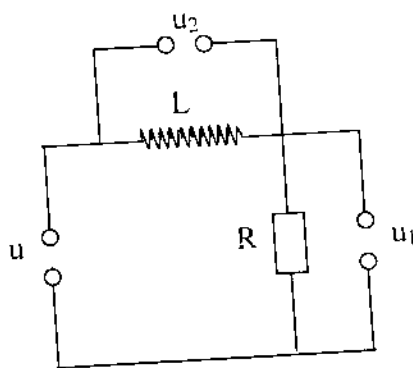
$$u_1 = \frac{1}{LR^{-1}p + 1} u; \quad u_2 = \frac{LR^{-1}p}{LR^{-1}p + 1} u \quad (9.39)$$

Khi hằng số thời gian LR^{-1} nhỏ thì $u_2 \approx LR^{-1}pu$, còn khi nó lớn thì $u_1 \approx (LR^{-1}p)^{-1}u$. Đối với trường hợp đầu xích có vai trò là xích vi phân, còn trong trường hợp thứ hai -- là xích tích phân.

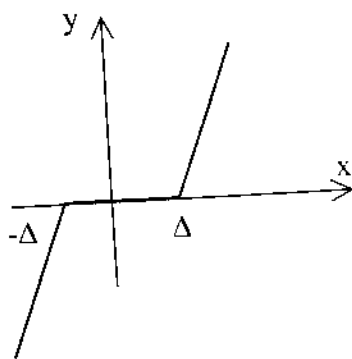
Từ các kết quả nhận được có thể kết luận rằng xích tích phân có tính chất lọc: ở tín hiệu đầu ra, biên độ của các thành phần có tần số cao của quá trình sẽ được giảm so với tần số thấp. Xích vi phân có tính chất ngược: nó khuếch đại các thành phần có tần số cao.

5.4. Cấu trúc chung của các hàm truyền của bộ điều chỉnh

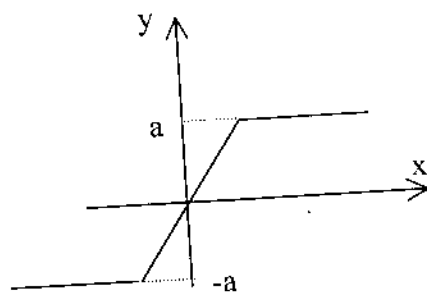
Có rất nhiều phần tử của hệ tuyến tính trong hệ điều chỉnh tự động có các đặc trưng động lực giống các phần tử đã khảo sát ở trên.



Hình 9-7b- Bộ chuyển đổi LC



a) Khâu với miền không nhạy



b) Khâu dạng bão hoà

Hình 9-8 Đặc tuyến phân tuyến của các khâu

Các hàm truyền của chúng có thể biểu diễn trong dạng nối tiếp hoặc song song của các khâu không dao động, dao động, vi phân và tích phân.

Nói chung hàm truyền của bộ điều chỉnh có thể biểu diễn dạng phân hữu tỉ của toán tử p:

$$W(p) = \frac{Q(p)}{R(p)} \quad (9.40)$$

ở đó Q và R là các đa thức

Dễ dàng thấy rằng các hàm truyền của các phần tử đã khảo sát ở trên chính là các mô hình động lực của chúng.

Khi mô phỏng chính xác hơn các tính chất của các khâu bằng cách kể đến các yếu tố thứ yếu sẽ làm tăng độ phức tạp các đặc trưng động lực của chúng, ví dụ, có thể kể thêm các hằng số thời gian bé đã bị bỏ đi khi thành lập mô hình xuất phát.

Cần nhớ rằng trong các hệ thống điều khiển hiện đại các khâu phi tuyến được sử dụng rộng rãi, các đặc tuyến của chúng không thể mô tả qua hàm truyền, chẳng hạn như trên hình 9-8. Trên hình 9-8a là vùng có đặc tuyến không nhảy: tín hiệu ra bằng không nếu tín hiệu vào có môđun bé hơn Δ . Trên hình 9-8b là đặc tuyến của khâu dạng bão hoà: tín hiệu ra tỉ lệ với tín hiệu vào nhưng không thể có môđun lớn hơn a .

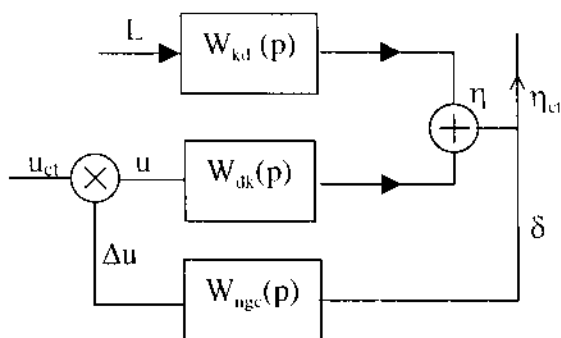
5.5. Các hàm truyền của hệ thống điều khiển trong toàn bộ

Các hệ điều khiển một thứ nguyên chỉ có một thông số vô hướng đặc trưng chuyển động của máy được kiểm soát hiện đang được sử dụng rộng rãi trong các máy một động cơ với điều khiển chương trình. Như trong các hệ làm ổn định vận tốc, thường chỉ vận tốc góc rôto động cơ được làm ổn định hoặc trong máy điều khiển chu tuyến thì chỉ sai số của toạ độ động cơ hoặc sai số vị trí của cơ quan công tác hoặc tổ hợp của hai sai số này với các hệ số đã cho, ... được kiểm soát.

Trong hệ một thứ nguyên các tính chất của đối tượng được đặc trưng bằng một hàm truyền vô hướng thiết lập mối liên hệ giữa sai số của một thông số điều khiển duy nhất δ với tín hiệu điều khiển Δu .

Hàm truyền của bộ liên hệ ngược cũng là vô hướng và có thể được biểu diễn trong dạng (9-26).

Sơ đồ cấu trúc của máy với hệ điều khiển một thứ nguyên được biểu diễn trên hình 9-9.



Hình 9-9 Hệ điều khiển một thứ nguyên

Thông số điều khiển η có thể là tọa độ của một phần tử quán tính nào đó của máy, tổ hợp tuyến tính của một số tọa độ, vận tốc (đài hoặc góc) .v.v.

Hàm truyền $W_{dk}(p)$ thiết lập mối liên hệ giữa thông số đo được với thông số u ở đầu vào động cơ; còn hàm vectơ truyền $W_{kd}(p)$ thiết lập mối liên hệ với vectơ kích động L có các thành phần là các lực suy rộng kích động ứng với các tọa độ suy rộng của hệ cơ học. Đầu vào của bộ điều chỉnh nhận được sai số δ bằng hiệu giữa giá trị thực và giá trị chương trình η_* , tức $\delta = \eta - \eta_*$.

Từ sơ đồ hình 9.9 ta có:

$$\delta = W_{dk}(p)[u_* - W_{ngc}(p)\delta] + W_{kd}(p)L - \eta_* = -W_{dk}(p)W_{ngc}(p)\delta + \delta^0 \quad (9.41)$$

ở đó

$$\delta^0 = W_{dk}(p)u_* + W_{kd}(p)L - \eta_*$$

δ^0 - sai số của hệ mở.

Tích của các hàm truyền:

$$W_{mo} = W_{dk}(p)W_{ngc}(p) \quad (9.42)$$

W_{mo} được gọi là hàm truyền của hệ mở.

Từ (9-41) ta nhận được:

$$\delta = [1 + W_{dk}(p)W_{ngc}(p)]^{-1} \delta^0 = W_{dong}(p)\delta^0 \quad (9.43)$$

nó thiết lập các quan hệ giữa các sai số của hệ thống mở (δ^0) và của hệ thống đóng (δ)

ở đó

$$W_{dong}(p) = [1 + W_{mo}(p)]^{-1} \quad (9.44)$$

là hàm truyền của hệ thống đóng ứng với hệ thống mở có hàm truyền (9.42).

Từ (9-40) rút ra:

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_* + \delta = \frac{W_{dk}(p)}{1 + W_{dk}(p)W_{ngc}(p)} u_* + \frac{W_{kd}(p)}{1 + W_{dk}(p)W_{ngc}(p)} L \\ &= W_u(p)u_* + W \end{aligned} \quad (9.45)$$

ở đó: $W_{v*}(p) = W_{dk}(p)W_*(p)$ - hàm truyền của hệ thống đóng theo điều khiển,

$W(p) = W_{kd}(p)W_*(p)$ - vector của các hàm truyền của hệ thống

đóng theo kích động, với: $W_*(p) = \frac{1}{1 + W_{dk}(p)W_{ngc}(p)}$.

Sau đây sẽ khảo sát hai thí dụ về hàm truyền của hệ mở và hệ đóng.

Thí dụ 1.

Hệ thống ổn định hoá vận tốc của máy cùng với bộ điều chỉnh tỉ lệ vi phân (TL - V). Giả sử hàm truyền của thiết bị đo có dạng (xem công thức (9-36)) sau:

$$W_{td}(p) = k_* / (\tau_*^2 p^2 + 2\xi_* \tau_* p + 1) \quad (9.46)$$

Thiết bị chấp hành có dạng khâu không dao động có hàm truyền:

$$W_{chh}(p) = k_{chh} (\tau_{chh} p + 1)^{-1} \quad (9.47)$$

Thiết bị tính toán của bộ điều chỉnh TL-V sẽ tạo ra qui luật điều khiển chứa các thành phần tỉ lệ với tín hiệu vào và đạo hàm của nó. Dựa vào các công thức (9-37), (9-39) để xây dựng các hàm truyền của thiết bị tính toán chúng ta viết hàm truyền của nó dạng sau:

$$W_u(p) = \frac{\chi p + \chi_1}{\tau_u p + 1} = \frac{k_u (T_u p + 1)}{\tau_u p + 1} \quad (9.48)$$

ở đó $k_u = \chi_1$, $T_u = \chi / \chi_1$, còn χ_1 và χ là các hệ số khuếch đại (xem hàm truyền của thiết bị tính toán, thí dụ (9-38)).

Do đó, hàm truyền của cả hệ thống sẽ bằng:

$$W_{ngc}(p) = \frac{k_{tb} k_u k_{chh} (T_u p + 1)}{(\tau_{do}^2 p^2 + 2\xi_{do} \tau_{do} p + 1)(\tau_u p + 1)(\tau_{chh} p + 1)} \quad (9.49)$$

Trong hệ thống ổn định hoá vận tốc sai số vận tốc là thông số được đo. Vì vậy hàm truyền $W_{dk}(p)$ sẽ được xác định theo công thức (8-14), (8-15). Khi đó:

$$\begin{aligned} W_{mo}(p) &= W_{dk*}(p)W_{ngc}(p) = \\ &= \chi_0 (T_u p + 1) [(\tau_{do}^2 p^2 + 2\xi_{do} \tau_{do} p + 1)(\tau_u p + 1) \times \\ &\times (\tau_{chh} p + 1)(\tau \tau_M p^2 + \tau_M p + 1)]^{-1} \end{aligned} \quad (9.50)$$

Hệ số χ_0 được gọi là hệ số khuếch đại, nó còn được gọi là hệ số chất lượng của hệ mở:

$$\chi_0 = r(s + v)^{-1} k_{do} k_u k_{chh} \quad (9.51)$$

Hàm truyền của hệ đóng theo công thức (9-44) bây giờ có dạng:

$$\begin{aligned} W_*(p) &= [1 + W_{mo}(p)]^{-1} = \\ &= (\tau_{do}^2 p^2 + 2\xi_{do} \tau_{do} p + 1)(\tau_u p + 1)(\tau_{chh} p + 1)(\tau \tau_M p^2 + \tau_M p + 1) \times \\ &\times [(\tau_{do}^2 p^2 + 2\xi_{do} \tau_{do} p + 1)(\tau_u p + 1)(\tau_{chh} p + 1) \times \\ &\times (\tau \tau_M p^2 + \tau_M p + 1) + \chi_0 (T_u p + 1)]^{-1} \end{aligned} \quad (9.52)$$

Khi sử dụng bộ điều chỉnh loại tỉ lệ vi tích phân tương tự ta có:

$$W_u(p) = \frac{k_u (T_u^2 p^2 + 2\eta_u T_u p + 1)}{p(\tau_u p + 1)} \quad (9.53)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} W_{mo}(p) &= \chi_0 (T_u^2 p^2 + 2\eta_u T_u p + 1) \times \\ &\times [p(\tau_{do}^2 p^2 + 2\xi_{do} \tau_{do} p + 1)(\tau_u p + 1)(\tau_{chh} p + 1)(\tau \tau_M p^2 + \tau_M p + 1)]^{-1} \end{aligned} \quad (9.54)$$

Thí dụ 2:

Hệ thống điều khiển máy chu tuyến với cơ cấu truyền đàn hồi và bộ điều chỉnh loại tỉ lệ vi phân. Nếu hệ thống điều khiển chỉ gồm động cơ, tức thông số điều khiển chỉ là toạ độ q_0 , thì hàm truyền điều khiển

$$W_{dk}(p) = rW_{dk}^0(p); \quad W_{dk}^0(p) \text{ được tính theo (8-33) tức } W_{dk}(p).$$

Khi dùng bộ điều chỉnh loại tỉ lệ vi phân, hàm truyền điều khiển ngược W_{ngc} được xác định theo công thức (9-49). Sau một số phép biến đổi ứng với $v = 0$, ta nhận được:

$$W_{mo}(p) = \frac{\chi_0 (T_u p + 1) [(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1]}{p(\tau_{do}^2 p^2 + 2\xi_{do} \tau_{do} p + 1)(\tau_u p + 1)(\tau_{chh} p + 1)\Delta(p)} \quad (9.55)$$

trong đó

$$\begin{aligned} \chi_0 &= k_{do} k_u k_{chh} r s^{-1} \\ \Delta(p) &= \tau_M p(\tau p + 1)(\tau_1^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1) + [(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1] \end{aligned} \quad (9.56)$$

Nếu liên hệ ngược nhận được từ tín hiệu sai số đầu ra của cơ cấu truyền thì:

$$W_{mo}(p) = W_{ngc}(p) r W_{dk}^1, \text{ với } W_{dk}^1 \text{ được tính theo } W_{dy}(p) \text{ của (8-33). Kết quả ta nhận được:}$$

$$W_{mo}(p) = \frac{\chi_0(T_u p + 1)(2\xi\tau_l p + 1)}{p(\tau_{do}^2 p^2 + 2\xi_{do}\tau_{do}p + 1)(\tau_u p + 1)(\tau_{chh}p + 1)\Delta(p)} \quad (9.57)$$

5.6. Hiệu quả của hệ điều khiển

Để xét hiệu quả của hệ điều khiển sử dụng liên hệ ngược cần so sánh sai số trong khi sử dụng và không sử dụng liên hệ ngược. Ở đây chỉ giới hạn cho trường hợp đại lượng xét là một thứ nguyên.

Đầu tiên khảo sát chuyển động dừng của máy và sai số δ^0 khi không có liên hệ ngược (hệ mở) ứng với một thành phần điều hoà có tần số ω :

$$\delta^0 = a^0 \cos \omega t$$

Sai số của thành phần điều hoà cùng tần số khi hệ đóng sẽ có dạng:

$$\delta = a \cos(\omega t + \varphi) = |W_{dong}(j\omega)| a^0 \cos[\omega t + \arg W_{dong}(j\omega)]$$

Tỉ số biên độ của hai thành phần điều hoà sẽ là:

$$\frac{a}{a_0} = |W_{dong}(j\omega)| = k(\omega) \quad (9.58)$$

Đại lượng này có thể dùng làm tiêu chuẩn đánh giá độ hiệu quả của hệ điều khiển sử dụng liên hệ ngược.

Hệ điều khiển được xem là có hiệu quả đối với tần số ω nếu

$$k(\omega) < 1 \quad (9.59)$$

Giả sử trong δ^0 chứa thành phần hằng Δ_0 của sai số tĩnh Δ . Khi ấy sai số tĩnh $\Delta = k(0) \cdot \Delta^0$. Do đó đại lượng $k(0)$ đặc trưng cho hiệu quả của hệ điều khiển đối với sai số tĩnh.

5.7. Ổn định của điều khiển chuyển động chương trình

Như đã nhận xét trong mục 5.2 việc nâng cao hiệu quả điều khiển và giảm sai số động lực bằng con đường tăng hệ số khuếch đại có thể làm hệ mất ổn định.

Do đó việc khảo sát ổn định là một nội dung bắt buộc trong bài toán tổng hợp động lực của các máy được điều khiển.

Như đã biết để khảo sát ổn định của chuyển động có thể dựa vào phương trình được tuyến tính hoá của phương trình nhiễu động [9].

Đối với hệ một thứ nguyên nó được viết trong dạng (xem (9-13)) sau:

$$D(p)\delta = R(p)\delta^0 \quad (9-60)$$

trong đó $D(p)$ và $R(p)$ là mẫu số và tử số của hàm truyền của hệ đóng (hệ với liên kết ngược).

Vế phải của phương trình (9-60) được xem là hàm đã biết của thời gian. Do đó bài toán ổn định đưa đến việc xét nghiệm của đa thức $D(p)$: nếu tất cả các nghiệm có phần thực âm thì hệ ổn định tiệm cận, nếu dù chỉ có một nghiệm có phần thực dương thì hệ không ổn định. Đối với trường hợp sai số động lực sẽ tăng theo thời gian. Như vậy đối với hệ được mô tả bằng phương trình (9-60) sai số này sẽ tăng lên vô cùng. Điều này không cho phép sử dụng mô hình đã xây dựng. Nguyên nhân gây nên có thể là khi xây dựng mô hình khảo sát đã bỏ qua một số yếu tố được xem là không có vai trò quan trọng, ví dụ, các yếu tố bé từ bậc hai. Việc khảo sát mô hình đúng đắn hơn, thường là mô hình phi tuyến là bài toán rất phức tạp. Trong động lực học máy trong đa số trường hợp như vậy không đặt vấn đề xem xét lại mô hình (phi tuyến) mà chỉ dựa vào việc phân tích phương trình (9-60) chọn lại các hệ điều khiển thích hợp để máy được điều khiển là ổn định.

Cần chú ý rằng hệ đóng gồm các khâu ổn định (tức tất cả khâu trong quá trình chuyển tiếp) có thể trở nên không ổn định khi đưa vào liên hệ ngược (xem thí dụ ở mục 5.2). Nguyên nhân gây nên không ổn định là vì độ chậm của điều khiển do quán tính của từng khâu.

Thông thường không ổn định có đặc trưng dao động, tức nghiệm của phương trình đặc trưng là phức với phần thực dương.

Cũng có thể có trường hợp có hiệu quả ngược lại: một hệ mở không ổn định (ví dụ, chứa đối tượng điều khiển không ổn định) lại trở nên ổn định (được ổn định hoá) khi đưa liên hệ ngược vào. Tuy nhiên những trường hợp như vậy là hiếm hủ vì thường máy là các đối tượng ổn định.

5.8. Điều khiển mômen phát động

a) Nguyên lý hồi hoàn mômen phát động

Trong điều khiển máy chuyển động theo chương trình có phương pháp điều khiển mômen lực, thí dụ, trong hệ các rôbôt công nghiệp ở đó đầu vào của liên hệ ngược tiếp nhận các tín hiệu tỉ lệ với mômen phát động. Với mục đích này, người ta đo cường độ dòng điện trong động cơ, nó tỉ lệ với mômen phát động (xem chương 2). Liên hệ ngược tạo nên tín hiệu Δu cho qui luật điều khiển.

$$\Delta u = \chi_M (T_M p + 1) M_d \quad (9.61)$$

ở đó T_M , χ_M tương ứng là hằng số thời gian và hệ số khuếch đại.

Khi thay vào đặc tuyến động cơ (8-2) giá trị:

$$u = u_* + \Delta u = u_* + \chi_M (T_M p + 1) M_d \quad (9.62)$$

ta nhận được

$$(\tau p + 1) M_d = r u_* + r \chi_M (T_M p + 1) M_d - spq$$

hoặc

$$[(\tau - r \chi_M T_M) p + 1 - r \chi_M] M_d = r u_* - spq \quad (9.63)$$

Giả sử χ_M và T_M được chọn từ

$$\chi_M = r^{-1}; \quad T_M = \tau (r \chi_M)^{-1} = \tau \quad (9.64)$$

Khi đó phương trình (9-60) bị suy biến thành dạng:

$$r u_* - spq = 0, \quad (9.65)$$

Biểu thức (9-65) trùng với đặc tuyến lý tưởng của động cơ.

Như vậy việc sử dụng điều khiển (9-62) trong giả thiết (9-64) cho phép nhận được, dù là hình thức, động cơ với đặc tuyến lý tưởng. Có thể chỉ ra rằng hệ như vậy đảm bảo thực hiện chính xác chuyển động chương trình tương ứng với phương trình (9-62) trong đó đảm bảo sự độc lập của cơ hệ và các kích động (động cơ).

Tuy nhiên trong thực tế có rất nhiều nguyên nhân gây nên các sai số động lực. Ta xét hai nguyên nhân sau:

+ *Độ không chính xác về đặc tuyến động lực của bộ điều chỉnh.*

Điều kiện (9-64) không thể được thực hiện chính xác vì các giá trị r và τ được cho từ thực nghiệm nên chỉ là gần đúng. Giả sử:

$$1 - r \chi_M = \alpha; \quad \tau - r \chi_M T_M = \tau - T_M (1 - \alpha) = \theta$$

ở đó α và θ là các tham số đặc trưng cho độ sai lệch do độ sai lệch của các đại lượng r và τ khi $\alpha \equiv 0$, $\theta \equiv 0$ thì điều kiện (9.64) được thực hiện chính xác.

Khi đó đặc tuyến (9-63) có dạng:

$$(\alpha^{-1} \theta p + 1) M_d = r \alpha^{-1} u_* - \alpha^{-1} p q$$

Như vậy, khi α bé độ hiệu quả của điều khiển đã chọn theo mômen làm tăng các thông số động cơ r và s lên α^{-1} lần và làm thay đổi hằng số thời gian của nó.

$$\tau' = \theta \alpha^{-1} = (\tau - T_M) \alpha^{-1} + T_M$$

Dễ dàng nhìn thấy rằng chính việc tăng mômen mở máy và độ cong của đặc tuyến rất có ích cho trường hợp khi tải có đặc trưng quán tính.

Nếu kể thêm quán tính của bộ điều chỉnh (của các bộ phận đo, tính toán và chấp hành) bằng việc đưa hằng số thời gian vào hàm truyền của nó, tức là:

$$\Delta u = \chi_M (T_M p + 1) (\tau_p + 1)^{-1} M_d$$

thì khi thực hiện điều kiện (9-64) ta có:

$$\tau_p p (\tau p + 1) (\tau p + 1)^{-1} M_d = ru_* = spq \quad (9-66)$$

Trong cả hai trường hợp đã kể (do không thực hiện được chính xác hệ thức (9.64) và kể thêm quán tính của bộ điều chỉnh) sự bồi hoàn một cách hoàn toàn mômen phát động sẽ không xảy ra. Điều này cũng có nghĩa là không thể làm cho hệ cơ và động cơ độc lập với nhau.

+ *Sự suy biến của hệ và các quá trình chuyển tiếp*

Như đã nêu ở trên sự bồi hoàn một cách hoàn toàn mômen phát động chỉ là trường hợp suy biến do việc rút gọn hàm truyền ở tử số và mẫu số một đại lượng không phải là hằng và kết quả là làm mất nghiệm của bài toán.

Để minh chứng điều này ta xét thí dụ sau:

Xét hệ hai khối lượng với điều khiển mômen. Phương trình chuyển động của hệ trong dạng toán tử (với $M_c = 0$) có dạng:

$$\begin{aligned} (J_{co} p^2 + bp + c)\theta - (bp + c)\varphi &= 0 \\ - (bp + c)\theta + (J_{do} p^2 + bp + c)\varphi - M_d &= 0 \\ sp\varphi + (\tau p + 1)M_d &= ru \end{aligned}$$

Khi giải phương trình này đối với φ , θ và M_d ta nhận được:

$$\theta = \frac{rs^{-1}(2\xi\tau_1 p + 1)}{p\{\tau_M p(\tau p + 1)(\tau_1^2 p^2 + 2\xi\tau_1 p + 1) + (\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi\tau_1 p + 1\}} \cdot u \quad (9.67)$$

$$\varphi = \frac{rs^{-1}[(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi\tau_1 p + 1]}{p\{\tau_M p(\tau p + 1)(\tau_1^2 p^2 + 2\xi\tau_1 p + 1) + (\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi\tau_1 p + 1\}} \cdot u \quad (9.68)$$

$$M_d = \frac{r\tau_M p(\tau_1^2 p^2 + 2\xi\tau_1 p + 1)}{\tau_M p(\tau p + 1)(\tau_1^2 p^2 + 2\xi\tau_1 p + 1) + (\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi\tau_1 p + 1} \cdot u \quad (9.69)$$

Các hàm truyền trong (9-67), (9-68) và (9-66) trùng với $rW_{dy}(p)$ và $rW_{dx}(p)$ trong (8-33). Khi thay (9-62) vào (9-67) ÷ (9-69) chúng ta có:

$$M_d = \frac{r\tau_M p(\tau_1^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1)S(p)}{[(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1]S(p)} u_*$$

$$\theta = \frac{rs^{-1}(2\xi \tau_1 p + 1)S(p)}{p[(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1]S(p)} u$$

$$\varphi = \frac{rs^{-1}(\tau_1^0 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1)S(p)}{p[(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1]S(p)} u$$

Trong đó:

$$S(p) = \tau_M p(\tau p + 1)(\tau_1^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1) + (\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1$$

Sau khi rút gọn tử thức và mẫu thức cho thừa số $S(p)$ ta có:

$$M_d = \frac{r\tau_M p(\tau_1^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1)}{(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1} u_*$$

$$\theta = \frac{r(2\xi \tau_1 p + 1)}{sp[(\tau_1^0)^2 p^2 + 2\xi \tau_1 p + 1]} u$$

$$\phi = \frac{r}{sp} u_*$$

Hệ thức cuối cùng trùng với (9-65), tức hệ làm việc với động cơ lý tưởng. Tuy nhiên kết luận như vậy là không đúng đắn vì việc rút gọn như trên tương đương với việc bỏ qua quá trình chuyển tiếp, nó chỉ cho một nghiệm riêng ứng với điều kiện đầu xác định.

Hai nhận xét trên cho thấy cần lưu ý khi sử dụng nguyên lý bởi hoàn mômen phát động.

Điều khiển mômen có thể được xem như là một trong những phương pháp có hiệu nghiệm để giảm sai số động lực. Muốn thế cần tăng độ cong của đặc tuyến động cơ và mômen khởi động của nó.

CHƯƠNG 10

MỘT SỐ BÀI TOÁN TỔNG HỢP TỐI ƯU ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY

Một nhiệm vụ rất cơ bản để nâng cao chất lượng của máy là giảm các sai số động lực làm cho qui luật hoạt động thực của máy càng gần với qui luật của chuyển động chương trình càng tốt.

Một trong những phương pháp cơ bản làm giảm sai số động lực là sử dụng điều khiển liên hệ ngược (với đặc trưng động lực của phần máy được xem là cố định). Vì vậy bài toán tổng hợp tối ưu tối thiểu các sai số động lực về thực chất là bài toán tổng hợp tối ưu các hệ điều khiển.

Việc làm giảm sai số động lực không thể tránh một số hệ quả xấu xảy ra như làm xấu đi một số tiêu chuẩn chất lượng khác của máy như: việc tăng hệ số khuếch đại làm xấu đi tính chất ổn định hoặc việc tăng khối lượng của vô lăng làm tăng tải trọng động tác dụng lên cơ cấu truyền, v...v.

Ngoài ra việc sử dụng hệ thống điều khiển sẽ làm tăng độ phức tạp của cơ cấu máy và do đó làm tăng công suất tiêu hao. Do đó chất lượng của máy được điều khiển phải được xem xét trên một quan điểm chung và cần phải đưa ra một tiêu chuẩn tổng hợp thể hiện yêu cầu nhiều mặt như: mức độ của sai số động lực, của tải trọng động và tiêu hao năng lượng, v...v. Trong chương này sẽ đưa ra một số tiêu chuẩn thể hiện các yêu cầu trên.

1. MỘT SỐ TIÊU CHUẨN TỔNG HỢP TỐI ƯU

1.1. Bình phương sai số vận tốc

Khi mục đích điều khiển là ổn định hoá vận tốc góc của trục vào của máy, thì trong tiêu chuẩn chất lượng điều khiển trong chế độ bình ổn có thể sử dụng đại lượng bình phương của sai số vận tốc:

$$I_1 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \dot{\psi}^2 dt \quad (10.1)$$

trong đó $\dot{\psi}$ là độ lệch của vận tốc góc đối với giá trị chương trình.

Nếu trong chuyển động bình ổn vận tốc góc thay đổi theo qui luật chu kỳ T thì:

$$I_1 = \frac{1}{T} \int_0^T \dot{\psi}^2 dt \quad (10.2)$$

1.2. Bình phương giá trị của mômen xoắn của một trong các khâu của cơ cấu truyền

Mức độ chịu tải động lực của cơ cấu truyền có thể được đánh giá qua đại lượng bình phương của mômen xoắn được thu về trục đầu ra của động cơ hoặc trục đầu vào của máy.

$$I_2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T M_x^2 dt \quad (10.3)$$

Khi mômen xoắn là hàm chu kỳ T của thời gian thì:

$$I_2 = \frac{1}{T} \int_0^T M_x^2 dt \quad (10.4)$$

1.3. Bình phương của độ lệch toạ độ (góc) giữa khâu ra và khâu vào của cơ cấu truyền.

Do tính đàn hồi của cơ cấu truyền, toạ độ của khâu vào và khâu ra của nó có sai lệch, nó được tính qua sai lệch của góc quay của trục ra của động cơ và của trục vào của máy. Do đó có thể sử dụng tiêu chuẩn:

$$I_3 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T (\psi_d - \psi_m)^2 dt \quad (10.5)$$

Trong trường hợp các toạ độ của động cơ và máy thay đổi cùng chu kỳ T thì:

$$I_3 = \frac{1}{T} \int_0^T (\psi_d - \psi_m)^2 dt \quad (10.6)$$

trong đó: ψ_d và ψ_m tương ứng là toạ độ (góc quay) của trục ra của động cơ và trục vào của máy.

Trong trường hợp bỏ qua quán tính và bỏ qua các lực hao tán thì cơ cấu truyền chịu tác dụng mômen xoắn bằng:

$$M_x = c (\psi_d - \psi_m)$$

trong đó c là độ cứng của cơ cấu truyền. Trong trường hợp như vậy thì các tiêu chuẩn I_2 và I_3 là tương đương nhau.

1.4. Bình phương của giá trị điều khiển

Mức độ tiêu hao cho điều khiển trong chế độ bình ổn có thể được đặc trưng bằng đại lượng bình phương giá trị của tác dụng điều khiển khi đưa vào bộ điều khiển liên hệ ngược. Trong trường hợp điều khiển lực có thể lấy tiêu chuẩn dạng:

$$I_4 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T u^2 dt \quad (10.7)$$

Trong chuyển động chu kỳ thì:

$$I_4 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt \quad (10.8)$$

Với trường hợp điều khiển lực trong các tiêu chuẩn trên có thể thay u bằng Δu ở đầu vào của động cơ hoặc tổ hợp tuyến tính của u và Δu .

1.5. Tiêu chuẩn tổ hợp

Mỗi tiêu chuẩn được nêu trên cho phép đánh giá từng mặt chất lượng của máy, nghĩa là việc làm tối thiểu của một tiêu chuẩn nào đó có thể nâng cao chất lượng của máy theo tiêu chuẩn đó. Có thể xảy ra trường hợp là việc nâng cao chất lượng của máy theo tiêu chuẩn này lại có thể làm xấu chất lượng của máy ứng với tiêu chuẩn khác. Vì vậy có thể đặt bài toán là làm tối thiểu theo một tiêu chuẩn nào đó trong điều kiện các tiêu chuẩn khác bị giới hạn hoặc làm tối thiểu một tiêu chuẩn là tổ hợp của một số tiêu chuẩn. Ví dụ, làm tối thiểu giá trị trung bình của sai số vận tốc trong điều kiện tải trọng động trong cơ cấu truyền bị giới hạn. Điều này tương đương với việc làm cực tiểu phiếm hàm.

$$I_5 = I_1 + \chi^2 I_2 \quad (10.9)$$

ở đó χ^2 là trọng số.

Một cách tương tự, phiếm hàm:

$$I_6 = I_1 + \delta^2 I_3 \quad (10.10)$$

đặc trưng cho chất lượng của chế độ dừng với tiêu chuẩn làm tối thiểu bình phương sai số vận tốc kèm điều kiện giới hạn về sai số tọa độ $\psi_d - \psi_m$.

Còn phiếm hàm:

$$I_7 = I_1 + \rho^2 I_4 \quad (10.11)$$

là trường hợp kể thêm giới hạn đối với điều khiển.

Các trọng số sẽ được chọn dựa trên chiến lược giải bài toán tối ưu [13].

1.6. Tiêu chuẩn tối ưu điều khiển trong quá trình chuyển tiếp

Trong điều khiển quá trình chuyển tiếp có thể đặt bài toán là làm tối thiểu giá trị bình phương sai số động lực trong khoảng thời gian

chuyển tiếp, trong đó sai số động lực được hiểu như trước là độ lệch của qui luật chuyển động thực so với chuyển động chương trình.

Do đó thay phiếm hàm I_1 bằng phiếm hàm I_8 :

$$I_8 = \int_0^{T_*} \dot{\psi}^2 dt \quad (10.12)$$

trong đó T_* là thời gian chuyển tiếp.

Trong trường hợp quá trình chuyển tiếp có đặc trưng là dao động tắt dần, một cách hợp lý thay tiêu chuẩn (10-12) bằng tiêu chuẩn sau:

$$I'_\infty = \int_0^\infty \dot{\psi}^2 dt \quad (10.13)$$

Khi đánh giá chất lượng của quá trình chuyển tiếp có thể đưa ra một số tiêu chuẩn khác, ví dụ, tiêu chuẩn về thời gian tắt dần hoặc công suất cần thiết cho mô máy.

Nói chung việc xây dựng các tiêu chuẩn để đánh giá chất lượng của máy có thể dựa trên các tiêu chí khác nhau phụ thuộc yêu cầu của thiết kế, công nghệ hoặc khai thác hoạt động của máy. Trong lý thuyết điều khiển, chúng được gọi chung là hàm mục tiêu và để giải quyết các bài toán như vậy có thể sử dụng các phương pháp đã biết về điều khiển tối ưu [1, 2, 6, 7, 9 và 12].

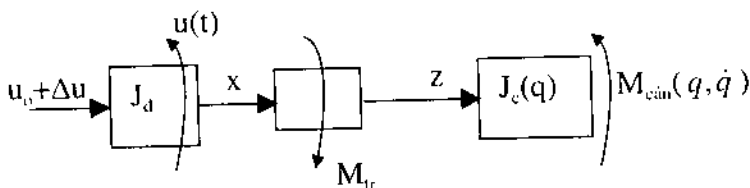
2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI BÀI TOÁN TỐI ƯU

Như đã biết tồn tại nhiều phương pháp giải bài toán tối ưu, về cơ bản chúng dựa trên ba nguyên lý điều khiển tối ưu: nguyên lý biến phân [9, 12], nguyên lý Poangtriaghim [7, 9, 12] và nguyên lý Belman [1, 2, 6, 7, 9 và 12].

Dưới đây sẽ giới thiệu lộ trình giải bài toán tối ưu trong các hệ động lực tuyến tính theo tiêu chuẩn bình phương bé nhất của các phiếm hàm qua các bài toán cụ thể. Việc tìm hiểu sâu về mặt lý thuyết có thể tìm trong tài liệu [1, 7 và 12].

2.1. Bài toán điều khiển tối ưu không có giới hạn về điều khiển

Khảo sát máy cứng theo sơ đồ trên hình 10.1.



Hình 10-1 Sơ đồ máy tổ hợp với khâu cứng

Giả thiết rằng điều khiển chuyển động bình ổn bằng cách tác dụng gia số mômen điều khiển tại đầu vào của động cơ và mômen điều khiển $u(t)$ tại khâu ra của nó.

Phương trình chuyển động của máy có thể viết trong dạng:

$$\left[J_0 + \tilde{J}(q) \right] \ddot{q} + \frac{1}{2} \tilde{J}'(q) \dot{q}^2 = M_d + M_c^0(\dot{q}) + \tilde{M}_c(q, \dot{q}) \quad (10.14)$$

$$\tau \dot{M}_d + M_d = M_{dr}(u_0 + \Delta u, \dot{q}) \quad (10.15)$$

Để khảo sát chuyển động bình ổn với chế độ vận tốc không đổi ω_0 , ta đưa vào các nhiễu động:

$$\xi = q - \omega_0 t; \quad \dot{\xi} = \dot{q} - \omega_0; \quad \mu = M_d - M_0. \quad (10.16)$$

Các phương trình (10-14), (10-15) phù hợp với (3.83) và (8.2) sẽ có dạng:

$$\begin{aligned} J_0 \ddot{\xi} + v \dot{\xi} - \mu &= L_c(t) + u(t) \\ s \ddot{\xi} + \tau \dot{\mu} + \mu &= r \Delta u(t) \end{aligned} \quad (10.17)$$

Trong đó $L_c(t)$ là hàm chu kỳ của thời gian với chu kỳ $\frac{2\pi i}{\omega_0}$

$$r = \frac{\partial M_d^0}{\partial u(u_0, \omega_0)}; \quad s = -\frac{\partial M_c^0}{\partial \dot{q}}(\omega_0)$$

Tiêu chuẩn chất lượng của hệ điều khiển được chọn theo tiêu chuẩn (10-9).

$$I = \frac{1}{2} I_s = \frac{1}{2T} \int_0^T (\dot{\xi}^2 + \chi^2 \tilde{M}_{tr}^2) dt \quad (10.18)$$

ở đó \tilde{M}_{tr} - mômen xoắn động lực trong cơ cấu truyền, còn hệ số $\frac{1}{2}$ để rút gọn kết quả nhận được.

Như đã biết, phương trình chuyển động của hệ cơ có dạng

$$J_c(q) \ddot{q} + \frac{1}{2} J_c'(q) \dot{q}^2 = M_{tr} + M_c(q, \dot{q})$$

Do đó:

$$M_{tr} = -M_c(q, \dot{q}) + J_c(q) \ddot{q} + \frac{1}{2} J_c'(q) \dot{q}^2$$

Sử dụng phép biến đổi (10.16) ta có:

$$M_u = -M_c^0(\omega_0) - \tilde{M}_c(\omega_0 t, \omega_0) + v\ddot{\xi} + J_{co}\ddot{\xi} + \frac{1}{2}J_c'(\omega_0 t)\omega_0^2 = \\ = -M_c^0(\omega_0) + v\ddot{\xi} + J_{co}\ddot{\xi} - L_c(t) = M_0 + \tilde{M}_r(t)$$

Vậy thành phần biến đổi của mômen truyền sẽ là:

$$\tilde{M}_r = J_{co}\ddot{\xi} + v\ddot{\xi} - L_c(t) \quad (10.19)$$

Khi ký hiệu $\dot{\xi} = v$, phiếm hàm (10-18) được viết trong dạng:

$$I = \frac{1}{2T} \int_0^T \{v^2 + \chi^2 [J_{co}\dot{v} + vv - L_c(t)]^2\} dt \quad (10.20)$$

Bài toán tổng hợp động lực tối ưu được phát biểu như sau:

Tìm các điều khiển $u(t)$ và $\Delta u(t)$ làm cực tiểu phiếm hàm (10-20) được tính ứng với chuyển động bình ổn của hệ, nó tương ứng với nghiệm chu kỳ của chuyển động này.

Sẽ chứng minh trong trường hợp này chỉ cần xác định một điều khiển tối ưu.

Muốn thế ta khử μ từ phương trình (10-17). Từ phương trình đầu ta có:

$$\mu = J_0\ddot{\xi} + v\ddot{\xi} - L_c(t) - u(t) \quad (10.21)$$

Do đó:

$$\dot{\mu} = J_0\ddot{\xi} + v\ddot{\xi} - \dot{L}_c - \dot{u} \quad (10.22)$$

Khi thay (10-21) và (10-22) vào phương trình thứ hai của (10-17) ta nhận được:

$$\tau J_0 \ddot{v} + (J_0 + \tau v)\dot{v} + (s + v)v = \tau \dot{L}_c(t) + L_c + \tau \dot{u} + u + r \Delta u \quad (10.23)$$

Như vậy bài toán đưa đến việc xác định các điều khiển $u(t)$ và $\Delta u(t)$ làm tối thiểu phiếm hàm (10-20) tính ứng với nghiệm bình ổn của phương trình (10-23).

Rõ ràng để giải quyết bài toán đặt ra thì cần xác định một điều khiển:

$$V(t) = \tau \dot{u}(t) + u(t) + r \Delta u \quad (10.24)$$

Chú ý rằng hàm cần xác định $u(t)$ là hàm của thời gian khả vi từng khúc.

Để giải quyết bài toán đặt ra, sử dụng phương pháp biến phân có diện bằng cách thành lập phương trình Ole - Lagorăng [1]

Muốn thế viết phương trình (10-23) trong dạng:

$$\dot{v} = \frac{1}{\tau J_0} \left[- (J_0 + \tau v) \dot{v} - (s + v)v + \tau \dot{L}_c + L_c + V \right] \quad (10.25)$$

Hàm vô hướng Haminton có dạng:

$$H = \frac{1}{2} [v^2 + \chi^2 (J_{co} \dot{v} + vv - L_c)^2] + \lambda_1 \dot{v} + \frac{\lambda_2}{\tau J_0} \left[- (J_0 + \tau v) \dot{v} - (s + v)v + \tau \dot{L}_c + V \right] \quad (10.26)$$

trong đó λ_1 và λ_2 là các nhân tử chưa xác định.

Hệ phương trình Ole – Lagorăng gồm phương trình (10-25) và các phương trình xác định các nhân tử:

$$\dot{\lambda}_1 = - \frac{\partial H}{\partial v} = -\chi^2 (J_{co} \dot{v} + vv - L_c) v + \frac{s+v}{\tau J_0} \lambda_2 - v \quad (10.27)$$

$$\dot{\lambda}_2 = - \frac{\partial H}{\partial \dot{v}} = -\chi^2 J_{co} (J_{co} \dot{v} + vv - L_c) - \lambda_1 + \frac{J_0 + \tau v}{\tau J_0} \lambda_2 \quad (10.28)$$

và điều kiện tối ưu:

$$\frac{\partial H}{\partial V} = \frac{1}{\tau J_0} \lambda_2 \equiv 0 \quad (10.29)$$

Từ các phương trình nhận được ta tính các đại lượng v , λ_1 , λ_2 và V .

Từ (10-29) rút ra $\lambda_2(t) \equiv 0$ và do đó từ (10-28) ta có:

$$\lambda_1 = \chi^2 J_{co} (J_{co} \dot{v} + vv - L_c); \quad \lambda_2 = -\chi^2 J_{co} (J_{co} \dot{v} + vv - L_c)$$

Khi thay biểu thức này vào (10-27), ta có phương trình để xác định $v(t)$:

$$J_{co}^2 \ddot{v} - (v^2 + \chi^{-2}) v = J_{co} \dot{L}_c - v L_c \quad (10.30)$$

Chúng ta chỉ chú ý đến nghiệm chu kỳ với chu kỳ T , nó có thể viết trong dạng toán tử:

$$v(p) = \frac{J_{co} p - v}{J_{co}^2 p^2 - (v + \chi^{-2})} L_c(t) = W_v(p) L_c(t) \quad (10.31)$$

Hàm $W_v(p)$ ở đây chỉ thuần túy có ý nghĩa hình thức, nó không có các tính chất thông thường của hàm truyền của hệ tuyến tính, trong trường hợp riêng không thỏa mãn điều kiện ổn định (mẫu số có nghiệm dương). Biểu thức (10-31) xác lập mối quan hệ giữa hàm chu kỳ $v(t)$ và kích động chu kỳ $L_c(t)$. Nếu:

$$L_c(t) = \sum_{r=1}^n I_r \cos\left(\frac{2\pi r}{T}t + \gamma_r\right) \quad (10.32)$$

thì sai số vận tốc trong chế độ bình ổn ứng với điều khiển tối ưu sẽ được xác định bằng biểu thức:

$$v(t) = \sum_{r=1}^n \left| W_v\left(i \frac{2\pi r}{T}\right) \right| I_r \cos\left[\frac{2\pi r}{T}t + \gamma_r + \arg W_v\left(i \frac{2\pi r}{T}\right)\right]$$

Khi thay (10-31) vào phương trình (10-25), ta tìm được:

$$\begin{aligned} V(t) &= \left\{ \frac{\tau J_0 p^2 + (J_0 + \tau v)p + (v + s)(J_{co}p - v)}{J_{co}^2 p^2 - (v^2 + \chi^2)} - (\tau p + 1) \right\} L_c(t) \\ &= W_v(p) L_c(t) \end{aligned} \quad (10.33)$$

Biểu thức (10-33) xác định điều khiển tối ưu làm cực tiểu phiếm hàm (10-20) ứng với kích động $L_c(t)$. Điều khiển này có thể thực hiện bằng nhiều cách khác nhau hoặc trong dạng mômen $u(t) = (\tau p + 1)^{-1} V(t)$ đặt vào trục động cơ hoặc bằng gia số mômen điều khiển $\Delta u = r^{-1} V(t)$ đặt lên đầu vào động cơ hoặc trong dạng tổ hợp.

Thực tế việc thực hiện điều khiển dạng này hay dạng khác là rất khó khăn. Ngoài ra, không thể tránh khỏi sai số khi xác định các yếu tố điều khiển thực và do đó chúng không phải là các điều khiển tối ưu.

Việc thực hiện bằng cách này hay cách khác hàm truyền $W_v(p)$ ứng với việc đưa vào điều khiển theo kích động $L_c(t)$ từ (10-33) rất khó khăn vì để thực hiện nó nhờ các khâu tuyến tính là không thể được do không ổn định (mẫu số của $W_v(p)$ có nghiệm dương). Do đó cũng không thể thực hiện cả điều khiển ở đầu ra với hàm truyền sau:

$$\begin{aligned} W_{vv} &= \frac{W_v(p)}{W_v(p)} = \tau J_0 p^2 + (J_0 + \tau v)p + (s + v) - \\ &- (\tau p + 1)(J_{co}p - v)^{-1} [J_{co}^2 p^2 - (v^2 + \chi^2)] \end{aligned} \quad (10.34)$$

Hàm truyền này thiết lập sự liên hệ giữa điều khiển (10-33) với sai số động lực (10-31).

Nếu có thể thực hiện bằng liên hệ ngược với hàm truyền như vậy thì có thể tạo nên điều khiển tối ưu theo đại lượng đo được của sai số động

lực, nhưng điều này là không thể được do hàm truyền (10-34) cũng không thoả mãn điều kiện ổn định.

Từ các phân tích trên cho thấy việc thực hiện các điều khiển tối ưu là rất khó khăn và trong số lớn trường hợp không thực hiện được. Tuy nhiên lời giải được tìm ra có ý nghĩa thực tiễn của nó. Khi thay các biểu thức tìm được của $v(t)$ vào (10-20) có thể tính được giá trị cực tiểu của tiêu chuẩn chất lượng điều khiển. Lẽ tất nhiên các điều khiển nào đó $V_*(t)$ thực hiện theo cách nào cũng khác với tối ưu, sẽ cho một giới hạn lớn hơn hoặc ít nhất không bé hơn giá trị tối ưu. Từ đây ta sẽ ước lượng được độ sai lệch của điều khiển được thực hiện cho bài toán và từ đó có thể xây dựng một thuật toán tìm điều khiển để thực hiện bài toán tối ưu đặt ra.

2.2. Bài toán điều khiển tối ưu khi có giới hạn đặt lên điều khiển

Xét bài toán làm cực tiểu sai số động lực với giới hạn đặt lên giá trị của mômen điều khiển.

Giả sử phương trình chuyển động của máy cứng (10-17) trong đó $\Delta u \equiv 0$, đó là:

$$\begin{aligned} J_0 \ddot{\xi} + v \dot{\xi} - \mu &= L_c(t) + u(t) \\ s \dot{\xi} + \tau \dot{\mu} + \mu &= 0 \end{aligned}$$

Bài toán đặt ra là tìm điều khiển chu kỳ $u(t)$ làm cực tiểu phiếm hàm:

$$I = \frac{1}{2} I_7 = \frac{1}{2T} \int_0^T (\dot{\xi}^2 + \rho^2 u^2) dt \quad (10.35)$$

Hàm Haminton có dạng:

$$H = \frac{1}{2} (v^2 + \rho^2 u^2) + \lambda_1 v + \lambda_2 J_0^{-1} (-v v + \mu + L_c + u) + \lambda_3 \tau^{-1} (-s v - \mu)$$

Các phương trình vi phân đối với nhân tử sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\lambda}_1 &= -\frac{\partial H}{\partial \xi} = 0; \\ \dot{\lambda}_2 &= -\frac{\partial H}{\partial v} = -v - \lambda_1 + v J_0^{-1} \lambda_2 + s \tau^{-1} \lambda_3 \\ \dot{\lambda}_3 &= -\frac{\partial H}{\partial \mu} = -J_0^{-1} \lambda_2 + \tau^{-1} \lambda_3 \end{aligned} \right\} \quad (10.36)$$

Điều kiện tối ưu sẽ là:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = \rho^2 u + J_0^{-1} \lambda_2 = 0 \quad (10.37)$$

Khi giải các phương trình (10-17), (10-36) và (10-37) ta tìm được:

$$u = - \frac{\tau^2 p^2 - 1}{\rho^2 [(J_0 p + v)(\tau p + 1) + s] [(J_0 p - v)(\tau p - 1) + s] - (\tau^2 p^2 - 1)} L_c \quad (10.38)$$

$$v = \frac{\rho^2 (\tau p + 1) [(J_0 p - v)(\tau p - 1) + s]}{\rho^2 [(J_0 p + v)(\tau p + 1) + s] [(J_0 p - v)(\tau p - 1) + s] - (\tau^2 p^2 - 1)} L_c \quad (10.39)$$

-Khi $\rho = 0$ tức khi không có giới hạn đặt lên điều khiển ta nhận được $v = 0, u = -L_c$, điều này tương ứng với ổn định hoá hoàn toàn vận tốc góc

-Khi $\rho \rightarrow \infty$ thì $u \rightarrow 0$ và $v(t)$ có biểu thức trùng với (3-85).

2.3. Bài toán điều khiển tối ưu của quá trình mở máy

Khảo sát quá trình mở máy của máy hai khối lượng với cơ cấu truyền đàn hồi, có phương trình chuyển động dạng (5-13), (5-14) ở đó các mômen quán tính của động cơ và máy là các hằng, còn mômen động cơ được xem là đại lượng điều khiển, mômen cân bằng không.

Với các giả thiết như vậy, phương trình chuyển động của máy tổ hợp có dạng sau:

$$\left. \begin{aligned} J_{d0} \ddot{\varphi} + b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) + c(\varphi - \theta) &= u \\ J_{c0} \ddot{\theta} - b(\dot{\varphi} - \dot{\theta}) - c(\varphi - \theta) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10.40)$$

Yêu cầu của quá trình mở máy đã được nêu trong chương 7, 2.1, đó là:

$$\left. \begin{aligned} \varphi(0) = \theta(0) = 0; \quad \dot{\varphi}(0) = \dot{\theta}(0) &= 0 \\ \varphi(T) = \theta(T); \quad \dot{\varphi}(T) = \dot{\theta}(T) &= \omega_0 \end{aligned} \right\} \quad (10.41)$$

ở đó: T là thời gian mở máy, còn điều khiển $u(t)$ cần đạt giá trị "không" khi $t > T$. Ngoài ra, điều khiển $u(t)$ còn thoả mãn điều kiện:

$$\int_0^T u(t) dt = (J_{d0} + J_{c0}) \omega_0 \quad (10.42)$$

(10.42) có thể được suy trực tiếp từ hệ phương trình (10.40) hoặc từ các định lý tổng quát của động lực học.

Bài toán đặt ra là xác định điều khiển $u(t)$ đảm bảo được các yêu cầu đề ra đối với quá trình mở máy là năng lượng tiêu hao cực tiểu. Như đã biết, công phát sinh do mômen động cơ trong khoảng thời gian mở máy bằng:

$$\frac{1}{2}(J_{do} + J_{co})\omega_0^2 \quad (10.43)$$

và công hao tán bằng:

$$W_h = \int_0^T b(\dot{\varphi} - \dot{\theta})^2 dt \quad (10.44)$$

Việc yêu cầu cực tiểu về năng lượng tiêu hao trong mở máy dẫn đến bài toán chọn điều khiển làm cực tiểu (10-44). Vì b là đại lượng đã biết, nên điều đó tương đương với yêu cầu làm cực tiểu tích phân sau:

$$\int_0^T (\dot{\varphi} - \dot{\theta})^2 dt$$

Từ các yêu cầu đặt ra cần tìm điều khiển làm cực tiểu phiếm hàm:

$$I = \frac{1}{2} \left[\int_0^T (\dot{\varphi} - \dot{\theta})^2 + \rho^2 u^2 \right] dt + \chi \left[\int_0^T u dt - (J_{do} + J_{co})\omega_0 \right] \quad (10.45)$$

trong đó ρ^2 là trọng số, χ – thừa số chưa được xác định

Để đơn giản, ta đưa vào biến mới:

$$\delta = \varphi - \theta$$

Từ các phương trình (10-40) dễ dàng nhận được:

$$\ddot{\delta} + 2n\dot{\delta} + k^2\delta = \frac{1}{J_{do}} \cdot u \quad (10.46)$$

$$\text{trong đó: } 2n = \frac{b}{J_*}; \quad k^2 = \frac{c}{J_*}; \quad J_* = \frac{J_{do}J_{co}}{J_{do} + J_{co}} \quad (10.47)$$

Phù hợp với các điều kiện (10-41) và (10-45) ta có:

$$\sigma(0) = \sigma(T) = 0; \quad \dot{\sigma}(0) = \dot{\sigma}(T) = 0, \quad (10.48)$$

$$I = \frac{1}{2} \int_0^T (\dot{\sigma}^2 + \rho^2 u^2) dt + \chi \left[\int_0^T u dt - (J_{do} + J_{co})\omega_0 \right]; \quad (10.49)$$

Hàm Haminton sẽ có dạng

$$H = \frac{1}{2}(\dot{\sigma}^2 + \rho^2 u^2 + 2\chi u) + \lambda_1 \dot{\sigma} + \lambda_2 (-2n\dot{\sigma} + k^2 \sigma + J_{do}^{-1} u); \quad (10.50)$$

Còn các phương trình vi phân đối với các nhân tử λ_1 và λ_2 sẽ là:

$$\dot{\lambda}_1 = -\frac{\partial H}{\partial \sigma} = k^2 \lambda_2; \quad \dot{\lambda}_2 = -\frac{\partial H}{\partial \dot{\sigma}} = -\dot{\sigma} - \lambda_1 + 2n\lambda_2 \quad (10.51)$$

và điều kiện tối ưu sẽ là:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = \rho^2 u + \chi + J_{do}^{-1} \lambda_2 = 0 \quad (10.52)$$

Từ các phương trình (10-51) ta có:

$$\ddot{\lambda}_2 - 2n\dot{\lambda}_2 + k^2 \lambda_2 = -\ddot{\sigma}$$

và viết trong dạng toán tử

$$\lambda_2 = -p^2 (p^2 - 2np + k^2)^{-1} \sigma \quad (10.53)$$

Từ (10-52), ta nhận được:

$$u = -\frac{\chi}{\rho^2} - \frac{1}{J_{do}\rho^2} \lambda_2^2 \quad (10.54)$$

Thay (10-53) vào (10-54) và thay kết quả nhận được vào (10-46), phương trình đối với σ có dạng sau:

$$\left[(p^2 + k^2)^2 - 4n^2 p^2 - \alpha p^2 \right] \sigma = -\chi k^2 J_{do}^{-1} p^{-2} \quad (10.55)$$

ở đó: $\alpha = J_{do}^{-1} \cdot \rho^{-2}$

Qui luật tối ưu của $\sigma(t)$ sẽ ứng với nghiệm riêng của phương trình (10-55), thoả mãn các điều kiện (10-41), còn giá trị của thừa số chưa xác định χ được tìm từ điều kiện (10-42), khi kể đến (10-46) nó sẽ có dạng:

$$\int_0^T u dt = \int_0^T J_{do} (p^2 + 2np + k^2) \sigma(t) dt - (J_{do} + J_{co}) \omega_0 \quad (10.56)$$

Đưa vào các đại lượng không thứ nguyên sau:

$$\tau = kt; \quad v = \frac{n}{k}; \quad \alpha^* = \frac{\alpha}{k^2} = (\rho J_{do} k)^{-2}; \quad u^* = \frac{u}{J_{do} k^2}; \quad z_0 = \frac{\omega_0}{k}$$

và ký hiệu $\phi = \frac{p}{k}$ --, toán tử vi phân theo τ .

Phương trình (10-55) bây giờ sẽ là:

$$[(\phi^2 + 1)^2 - (\alpha^* + 4v^2)\phi^2]\sigma = -\chi^* \quad (10.57)$$

Điều kiện (10-56) sẽ có dạng:

$$\int_0^{kT} (\phi^2 + 2v\phi + 1)\sigma d\tau = \frac{J_{do} + J_{co}}{J_{do}} z_0 \quad (10.58)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình (10-57) sẽ là:

$$\sigma = \sum_{m=1}^{\infty} A_m e^{\phi_m \tau} - \chi^* \quad (10.59)$$

trong đó ϕ_m là nghiệm của phương trình đặc trưng sau:

$$(\phi^2 + 1)^2 - (\alpha^* + 4v^2)\phi^2 = (\phi^2 + 1 - \sqrt{\alpha^* + 4v^2}\phi)(\phi^2 + 1 + \sqrt{\alpha^* + 4v^2}\phi) = 0$$

Giả sử $\alpha^* + 4v^2 < 4$ thì phương trình trên có hai cặp nghiệm phức liên hợp

$$\phi_{1,2,3,4} = \frac{1}{2} \left[\pm \sqrt{\alpha^* + 4v^2} \pm i\sqrt{4 - \alpha^* - 4v^2} \right] = \pm \eta \pm i\xi, \quad (10.60)$$

trong đó $\eta > 0$, $\xi > 0$, $\eta^2 + \xi^2 = 1$

Nhờ đó ta nhận được

$$\sigma = e^{\eta\tau} (C_1 \cos \xi\tau + C_2 \sin \xi\tau) + e^{-\eta\tau} (C_3 \cos \xi\tau + C_4 \sin \xi\tau) \quad (10.61)$$

Đặt $kT = \frac{2\pi r}{\xi}$ với r là số nguyên.

Thay (10-61) vào điều kiện biên và điều kiện (10-58) chúng ta nhận được hệ phương trình xác định các hằng số C_1, C_2, C_3, C_4 và χ^* . Từ đây ta tìm được:

$$\chi^* = \frac{J_{do} + J_{co}}{J_{do}} z_0 \left(4\eta \frac{e^{\eta kT} - 1}{e^{\eta kT} + 1} - kT \right)^{-1} \quad (10.62)$$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \chi^* (e^{\eta kT} + 1)^{-1}; & C_2 &= -\frac{\eta}{\xi} C_1 \\ C_3 &= e^{\eta kT} C_1; & C_4 &= \frac{\eta}{\xi} e^{\eta kT} C_1 \end{aligned} \right\} \quad (10.63)$$

Khi thay (10-63) vào (10-61) ta nhận được qui luật thay đổi của $\sigma(t)$ ứng với điều khiển tối ưu:

$$[\sigma(\tau)]_{\text{opt}} = \frac{\chi^*}{e^{\eta kT} + 1} \left[e^{\eta \tau} \left(\cos \xi \tau - \frac{\eta}{\xi} \sin \xi \tau \right) + e^{\eta(kT - \tau)} \left(\cos \xi \tau + \frac{\eta}{\xi} \sin \xi \tau \right) \right] - \chi^* \quad (10.64)$$

Vì phân biểu thức này theo τ ta tính được $\dot{\sigma}(\tau)$ và $\ddot{\sigma}(\tau)$:

$$\begin{aligned} [\dot{\sigma}(\tau)]_{\text{opt}} &= -\frac{\chi^*}{\xi(e^{\eta kT} + 1)} \sin \xi \tau [e^{\eta \tau} + e^{\eta(kT - \tau)}] \\ [\ddot{\sigma}(\tau)]_{\text{opt}} &= -\frac{\chi^*}{e^{\eta kT} + 1} \left\{ -\frac{\eta}{\xi} \sin \xi \tau [e^{\eta \tau} - e^{\eta(kT - \tau)}] - [e^{\eta \tau} + e^{\eta(kT - \tau)}] \cos \xi \tau \right\} \end{aligned}$$

Do đó

$$\begin{aligned} [u^*(\tau)]_{\text{opt}} &= \ddot{\sigma} + 2\nu \dot{\sigma} + \sigma = \\ &= -\frac{2\eta \chi^*}{\xi(e^{\eta kT} + 1)} \left[e^{\eta \tau} \left(1 + \frac{\nu}{\eta} \right) + e^{\eta(kT - \tau)} \left(1 - \frac{\nu}{\eta} \right) \right] \sin \nu \tau - \chi^* \quad (10.65) \end{aligned}$$

Qui luật thay đổi vận tốc của động cơ trong thời gian mở máy trong chế độ tối ưu của mômen động cơ (10-65) sẽ là:

$$\dot{\varphi} = \frac{J_{\text{co}}}{J_{\text{do}} + J_{\text{co}}} \ddot{\sigma} + \frac{1}{J_{\text{do}} + J_{\text{co}}} \int_0^t u(t) dt \quad (10.66)$$

Sau khi chuyển về các thông số không thứ nguyên và thay (10-64) và (10-65) vào (10-66) ta nhận được:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}(\tau) &= \frac{\chi^*}{e^{\eta kT} + 1} \left\{ \left[e^{\eta \tau} \left(-1 - \frac{2\nu \eta}{\beta} + \frac{\rho^2 - \eta^2}{\beta} \right) + e^{\eta(kT - \tau)} \left(-1 + \frac{2\nu \eta}{\beta} + \frac{\rho^2 - \eta^2}{\beta} \right) \right] \frac{\sin \xi \tau}{\xi} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{2}{\beta} [e^{\eta \tau} (\nu + \eta) + e^{\eta(kT - \tau)} (\nu - \eta)] \cos \xi \tau - \frac{2}{\beta} [\nu + \eta + e^{\eta kT} (\nu - \eta)] \right\} - \frac{\chi^* \tau}{\beta} \quad (10.67) \end{aligned}$$

trong đó: $\beta = \frac{J_{\text{do}} + J_{\text{co}}}{J_{\text{do}}}$

Sử dụng (10-67) xây dựng đồ thị biểu diễn phụ thuộc $\dot{\varphi}'(\tau)$ trong chế độ mômen động cơ tối ưu trên hình 10-2 với các tham số sau: $\nu = 0,05$; $z_0 = 1,5$; $\alpha^* = 0,5$; $\beta = 6$; $r = 2$; $kT = 13,4$ (ứng với đường liền nét).

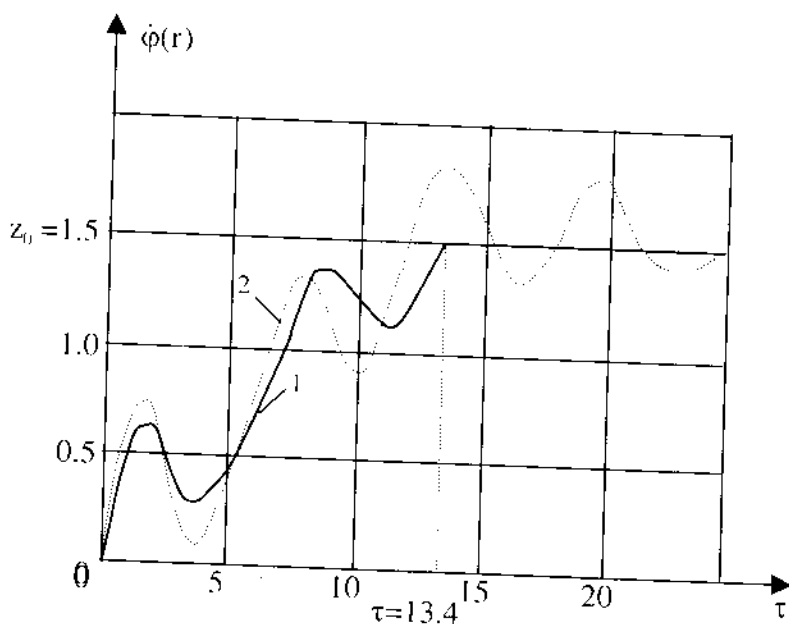
Để so sánh ta xây dựng đồ thị $\dot{\varphi}'(\tau)$ trong mở máy ứng với mômen động cơ là hằng $u^* = \frac{\beta z_0}{kT}$. Dễ dàng chỉ ra rằng đây là giá trị cần thiết để sau khoảng thời gian mở máy kT đạt được vận tốc góc z_0 (với giả thiết là

động cơ gắn cứng vào máy) với qui luật mở máy $\varepsilon_0 = \frac{kz_0}{T}$. Đồ thị ứng với trường hợp này là đường nét đứt.

Phiếm hàm (10-45) trong dạng không thứ nguyên có dạng:

$$I^* = \frac{1}{k} = \frac{1}{2} \int_0^{kT} \left[(\sigma')^2 + \left(\frac{u^*}{\alpha^*} \right)^2 \right] d\tau + \frac{\chi^*}{(\alpha^*)^2} \left(\int_0^{kT} u^* d\tau - \beta z_0 \right) \quad (10.68)$$

Giá trị của phiếm hàm ứng với điều khiển tối ưu sẽ là $I_{opt}^* = 0,394$, còn trong trường hợp mômen động cơ hằng là $I^* = 1,13$. Trong trường hợp khảo sát thì vận tốc góc của chế độ bình ổn của máy vượt tần số riêng của hệ ($z_0 > 1$).



Hình 10.2 Sự phụ thuộc vận tốc góc động cơ vào thời gian khi mở máy
1. Tương ứng với điều khiển tối ưu
2. Khi mômen động cơ là hằng

Như đã biết cộng hưởng thông thường xảy ra với tần số của các thành phần kích động gần vận tốc góc quay. Do đó nhận xét trên cho thấy trong chế độ bình ổn máy làm việc sau cộng hưởng. Vậy máy sẽ qua vùng cộng hưởng khi mở máy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bryson A., Ho Y. C.,
Applied Theory of Optimal Control “ Mir Publishers Moscow “,
1972. 544 pp.
2. Derusso P. et al.
State Variables for Engineers,
John Wiley & Sons, Inc. New York 1965.
3. Đỗ Sanh,
Cơ học, Tập 2, Động lực học,
Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 2003 (tái bản lần thứ bảy).
4. Haminton H. Mabie, Fred W. Ocvirk,
Mechanism and Dynamics of Machinery,
Second Edition, 1963.
5. Kolovxki M. Z. ,
Động lực học máy
“ Mashinostroje “, Leningrad, 1989. (Tiếng Nga)
6. Kononenko V.O.,
Dao động của các hệ cơ học với nguồn kích động bị giới hạn,
NXB “ Nauka “, Moskow, 1964 (tiếng Nga).
7. Leondes C. T.,
Modern Control Systems Theory
McGraw – HILL BOOK COMPANY, INC., New York, 1965.
8. Nguyễn Văn Khang,
Dao động kỹ thuật,
NXB “ Khoa học và Kỹ thuật “, Hà Nội, 2004 (tái bản lần thứ ba).
9. Nguyễn Nhật Lệ
Tối ưu hoá ứng dụng
NXB Khoa học và Kỹ thuật , Hà Nội, 2000.
10. Phan Nguyên Di, Nguyễn Văn Khang, Đỗ Sanh,
Ổn định chuyển động trong kỹ thuật ,
NXB Khoa học và Kỹ thuật , Hà Nội, 1986.

11. Poliakov V. S. et al.,

Sổ tay tra cứu về nối trục

“ Mashinostroenie ” 1981 (tiếng Nga).

12. Tou, J.,

Modern Control Theory,

Mc. Graw Hill Book Company, Inc. New York, 1964.

13. Tshilikin M. G., et al.,

Lý thuyết về truyền dẫn điện tự động,

NXB “ Enecgi ”, Moscow, 1979 (tiếng Nga)

14. Veitz V. L. et al.,

Động lực học của các máy tổ hợp,

NXB “ Nauka ”, Moscow, 1984 (tiếng Nga)

15. Veshenevski S. N.,

Các đặc tuyến của động cơ truyền động điện,

NXB “ Enecgi ”, Moscow, 1977 (tiếng Nga).

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	3
Chương 1. Các khái niệm cơ bản và định nghĩa	5
1. Quá trình công tác, máy và mô hình cấu trúc máy	5
2. Mô hình máy hai khối lượng	6
3. Các đặc trưng của quá trình công tác	21
Chương 2. Chuyển động của máy cứng một bậc động	25
1. Mô hình máy cứng một bậc động	25
2. Các chế độ chuyển động của máy	33
Chương 3. Động lực của quá trình bình ổn	37
1. Chuyển động bình ổn của máy với động cơ có đặc tuyến động học lý tưởng	37
2. Chuyển động bình ổn của máy với động cơ có đặc tuyến tĩnh	38
3. Chuyển động bình ổn của máy với động cơ có đặc tuyến động lực	59
Chương 4. Động lực của quá trình mở máy và tắt máy	68
1. Quá trình mở máy	68
2. Quá trình hãm	79
Chương 5. Phương trình chuyển động của máy với cơ cấu truyền động đàn tính	82
1. Đặc trưng đàn hồi và cản của cơ cấu truyền động	82
2. Phương trình chuyển động của máy với cơ cấu truyền động đàn hồi	89
Chương 6. Chuyển động bình ổn của máy với cơ cấu truyền động đàn tính	91
1. Chuyển động bình ổn của máy với động cơ có đặc tuyến động học lý tưởng	91

2. Chuyển động bình ổn của máy có cơ cấu truyền động đàn hồi với động cơ có đặc tuyến tĩnh	97
Chương 7. Động lực học của quá trình chuyển tiếp	109
1. Phương trình chuyển động	109
2. Quy luật chuyển động trong quá trình mở máy không có tải ($M_c = 0$)	109
3. Quá trình chuyển tiếp có kể đến tải	116
4. Các biện pháp giảm sai số động lực	118
Chương 8. Điều khiển chuyển động của máy theo chương trình	120
1. Chuyển động chương trình của máy	120
2. Chuyển động chương trình của máy với các khâu cứng	124
3. Máy với cơ cấu truyền đàn hồi	129
Chương 9. Hệ điều khiển với liên kết ngược	132
1. Bộ điều chỉnh ổn định hoá vận tốc của chuyển động dừng	132
2. Bộ điều chỉnh tuỷ động với liên kết ngược theo toạ độ	135
3. Bộ điều chỉnh tỉ lệ vi phân	136
4. Bộ điều chỉnh phiếm định	137
5. Khảo sát bộ điều chỉnh	138
Chương 10. Một số bài toán tổng hợp tối ưu điều khiển chuyển động máy	157
1. Một số tiêu chuẩn tổng hợp tối ưu	157
2. Phương pháp giải bài toán tối ưu	160
Tài liệu tham khảo	172
Mục lục	174

ĐỘNG LỰC HỌC MÁY

Tác giả: GS.TSKH. Đỗ Sanh

Chịu trách nhiệm xuất bản: PGS.TS Tô Đăng Hải
Biên tập và sửa chế bản: Diệu Thuý
Trình bày và chế bản: Việt Hà, Thụy Anh
Vẽ bìa: Hương Lan

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI 2004

In 1000 cuốn khổ 16 x 24cm tại Xưởng in Báo Người Hà Nội.
Giấy phép xuất bản số : 6-86 do Cục xuất bản cấp
ngày 12 tháng 8 năm 2004.
In xong và nộp lưu chiểu tháng 8/2004

204 150

động lực học máy



1 004090 600484

22.000 VNĐ

Giá : 22.000đ