

GS.TSKH. ĐỖ SANH

Động lực học máy

GS.TSKH. ĐỖ SANH

ĐỘNG LỰC HỌC MÁY



NHA 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 yêu 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 chú 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: dosanhmail.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

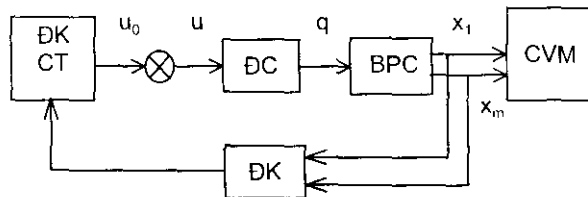
Trong sản xuất cần thực hiện các công việc khác nhau. Các công việc này được gọi là quá trình công tác. Đó là quá trình công nghệ nhằm biến các nguyên vật liệu thành bán thành phẩm; quá trình vận chuyển để di chuyển các nguyên vật liệu và bán thành phẩm đến địa điểm gia công tiếp theo; các thành phẩm 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

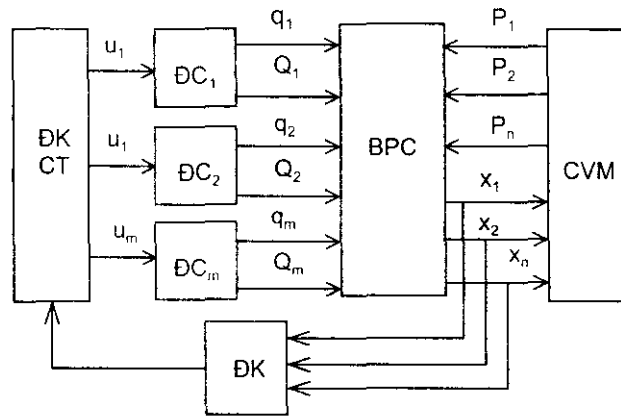
Máy là một hệ thống phức tạp bao gồm nhiều hệ con như động cơ, cơ cấu truyền động, bộ phận cơ học, hệ thống điều khiển... Máy có thể gồm tổ hợp các hệ thống được gọi là máy tổ hợp. Có loại máy tổ hợp một động cơ (hình 1.1), có loại máy tổ hợp nhiều động cơ (hình 1.2). Chuyển động cơ học của máy luôn 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 tiên 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.

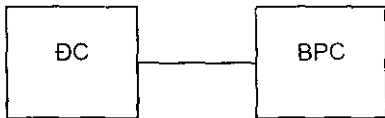
2. MÔ HÌNH MÁY HAI KHỐI LƯỢNG

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.

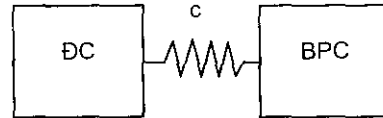
Có thể xem cơ cấu truyền là phần tử không quán tính và không bị biến dạng. Trường hợp này máy được xây dựng trong mô hình là máy có

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 mềm 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.

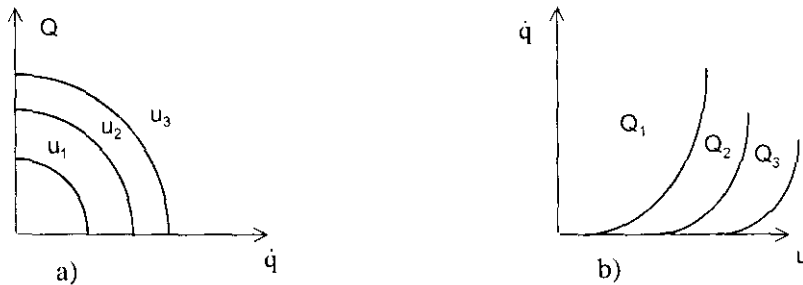
Nếu các tham số điều khiển không thể khống chế được một cách chặt chẽ ở chế độ không đổi u_0 , tức tham số điều khiển bị lệch đối với chế độ hằng u_0 với lượng rất bé thì có thể sử dụng quan hệ gần đúng, ví dụ, trong gần đúng thứ nhất có:

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

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

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 tĩnh



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 tĩnh. 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:

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

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

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:

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

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