

GS. TSKH. ĐỖ SANH

ĐỘNG LỰC HỌC MÁY

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA – HÀ NỘI

Mã số: 47 – 2010/CXB/723 – 01/BKHN

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 sản xuất linh hoạt, vấn đề động lực máy càng được quan tâm.

Nội dung cuốn sách tập trung vào việc xây dựng mô hình động lực của máy trong mô hình máy tổ hợp: Máy – Động cơ, trong đó xây dựng mối tương tác vật lý giữa Máy và Động cơ. 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 và 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). Trong 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, các nghiên cứu sinh và các kỹ sư làm việc trong các lĩnh vực liên quan đến động lực máy.

Quyển sách đã được xuất bản lần thứ nhất năm 2004 do Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. Lần xuất bản này tác giả đã sửa chữa các sai sót in ấn, hoàn chỉnh việc trình bày các thí dụ và bổ sung một số nội dung với mục đích nâng cao chất lượng cuốn sách.

Tác giả cảm ơn PGS. TS. Đinh Văn Phong, PGS. TS. Phan Bùi Khôi và TS. Nguyễn Quang Hoàng đã đóng góp nhiều ý kiến quý báu và 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. Tác giả cảm ơn Nhà xuất bản Bách Khoa – Hà Nội đã tạo điều kiện thuận lợi cho việc xuất bản cuốn sách.

Để cuốn sách được hoàn thiện hơn trong lần tái bản sau, tác giả mong nhận được các ý kiến đóng góp của các độc giả. Các ý kiến đóng góp xin gửi về địa chỉ sau:

Nhà xuất bản Bách Khoa – Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội.

Hoặc gửi trực tiếp cho tác giả theo địa chỉ sau:

GS. TSKH. Đỗ Sanh

Bộ môn Cơ học ứng dụng, Trường đại học Bách Khoa Hà Nội

E-mail: dosanh@mail. hut. edu.vn; dosanhbka@gmail.com

ĐT: (04).38680469, DĐ. 01234154996

Hà Nội, tháng 07 năm 2009

TÁC GIẢ

MỤC LỤC

Chương 1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ ĐỊNH NGHĨA.....	7
§1. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC, MÁY VÀ MÔ HÌNH CẤU TRÚC MÁY	7
1.1. Quá trình công tác.....	7
1.2. Máy.....	7
1.3. Mô hình các bộ phận cấu thành máy.....	7
§2. MÔ HÌNH MÁY HAI KHỐI LƯỢNG.....	8
2.1. Động cơ.....	9
2.2. Mô hình động lực của bộ phận cơ.....	19
§3. CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC	21
3.1. Tải làm việc	21
3.2. Các loại tải khác.....	23
Chương 2. CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY CỨNG MỘT BẬC ĐỘNG.....	24
§1. MÔ HÌNH MÁY CỨNG MỘT BẬC ĐỘNG	24
1.1. Biểu thức động năng của máy.....	24
1.2. Lực suy rộng	29
§2. CÁC CHẾ ĐỘ CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY.....	32
2.1. Phương trình chuyển động của máy.....	32
2.2. Phương trình chuyển động của máy đối với từng loại đặc tuyến	33
2.2. Các chế độ chuyển động của máy	34
Chương 3. ĐỘNG LỰC CỦA QUÁ TRÌNH BÌNH ỔN	36
§1. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI ĐỘNG CƠ CÓ ĐẶC TUYẾN ĐỘNG HỌC LÝ TƯỞNG.....	36
§2. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI ĐỘNG CƠ CÓ ĐẶC TUYẾN TĨNH	37
2.1. Xác định chế độ chuyển động bình ổn	37
2.2. Sự ổn định của các nghiệm trong gần đúng bậc "0"	39
2.3. Độ nhạy của quá trình bình ổn	41
2.4. Xây dựng nghiệm trong gần đúng thứ nhất.....	42
2.5. Sai số động lực	45
2.6. Xác định mômen phát động lớn nhất.....	46
2.7. Ảnh hưởng của độ không đều của chuyển động quay đối với việc tiêu hao công suất của động cơ.....	47
2.8. Tải trọng động trong cơ cấu truyền động	49
2.9. Các biện pháp làm giảm các kích động (biên độ).....	52
§3. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI ĐỘNG CƠ CÓ ĐẶC TUYẾN ĐỘNG LỰC.....	57
3.1. Xác định chế độ bình ổn.....	57
3.2. Sự ổn định của nghiệm gần đúng bậc "0"	59

3.3. Sai số động lực	59
3.4. Đặc trưng biên độ – tần số	61
3.5. Mômen động lực trong cơ cấu truyền.....	62
Chương 4. ĐỘNG LỰC CỦA QUÁ TRÌNH MỞ MÁY VÀ TẮT MÁY	66
§1. QUÁ TRÌNH MỞ MÁY	66
1.1. Quá trình mở máy với động cơ có đặc tuyến tĩnh	66
1.2. Quá trình mở máy với động cơ có đặc tuyến động lực	70
§2. QUÁ TRÌNH HẮM	76
2.1. Thời gian hãm máy.....	76
2.2. Mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền động	77
Chương 5. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY VỚI CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG ĐÀN TÍNH	79
§1. ĐẶC TRƯNG ĐÀN HỒI VÀ CẢN CỦA CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG	79
1.1. Mô hình động lực của máy	79
1.2. Độ cứng của cơ cấu truyền động	79
1.3. Hệ số cản của cơ cấu truyền.....	83
§2. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY VỚI CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG ĐÀN HỒI	86
Chương 6. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI CƠ CẤU TRUYỀN ĐÀN TÍNH	88
§1. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY VỚI CƠ CẤU ĐẶC TUYẾN ĐỘNG HỌC LÝ TƯỞNG	88
1.1. Quy luật chuyển động.....	88
1.2. Mômen động lực trong cơ cấu truyền động (hình 6.1)	90
1.3. Sai số động lực	92
§2. CHUYỂN ĐỘNG BÌNH ỔN CỦA MÁY CÓ CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG ĐÀN HỒI VỚI ĐỘNG CƠ CÓ ĐẶC TUYẾN TÍNH	94
2.1. Phương trình chuyển động của máy	94
2.2. Ổn định của chuyển động quay đều	95
2.3. Sai số động lực	96
2.4. Mômen động lực tác dụng lên cơ cấu truyền động	98
2.5. Mômen phát động (mômen động cơ)	99
Chương 7. ĐỘNG LỰC HỌC CỦA QUÁ TRÌNH CHUYỂN TIẾP	104
§1. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG	104
§2. QUY LUẬT CHUYỂN ĐỘNG TRONG QUÁ TRÌNH MỞ MÁY KHÔNG CÓ TẢI.....	104
2.1. Chọn quy luật chuyển động của trục động cơ	104
2.2. Phương trình chuyển động.....	106
§3. QUÁ TRÌNH CHUYỂN TIẾP CÓ KÈ ĐẾN TẢI.....	111
§4. CÁC BIỆN PHÁP GIẢM SAI SỐ ĐỘNG LỰC.....	112

Chương 8. ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY THEO CHƯƠNG TRÌNH.....	114
§1. CHUYỂN ĐỘNG CHƯƠNG TRÌNH CỦA MÁY	114
1.1. Điều khiển theo chương trình.....	114
1.2. Phương pháp tạo các chuyển động chương trình.....	114
1.3. Hệ thống các điều khiển chương trình	115
1.4. Các phương pháp điều khiển	116
§2. CHUYỂN ĐỘNG CHƯƠNG TRÌNH CỦA MÁY VỚI CÁC KHẨU CỨNG.....	117
2.1. Phương trình chuyển động.....	117
2.2. Phương trình nhiều động	118
§3. MÁY VỚI CƠ CẤU TRUYỀN ĐÀN HỒI	122
Chương 9. HỆ ĐIỀU KHIỂN VỚI PHẢN HỒI	125
§1. BỘ ĐIỀU CHỈNH ỔN ĐỊNH HOÁ VẬN TỐC CỦA CHUYỂN ĐỘNG DỪNG	125
§2. BỘ ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG VỚI PHẢN HỒI THEO TOẠ ĐỘ.....	128
§3. BỘ ĐIỀU CHỈNH TỈ LỆ - VI PHÂN	129
§4. BỘ ĐIỀU CHỈNH PHIẾM ĐỊNH	130
§5. KHẢO SÁT BỘ ĐIỀU CHỈNH	131
5.1. Bộ điều chỉnh như một hệ động lực	131
5.2. Hàm truyền của các phần tử của bộ điều chỉnh	132
5.3. Hàm truyền của thiết bị tính toán.....	138
5.4. Cấu trúc chung của các hàm truyền của bộ điều chỉnh.....	140
5.5. Các hàm truyền của hệ thống điều khiển trong toàn bộ	141
5.6. Hiệu quả của hệ điều khiển.....	144
5.7. Ổn định của điều khiển chuyển động chương trình.....	145
5.8. Điều khiển mômen phát động.....	145
Chương 10. MỘT SỐ BÀI TOÁN TỔNG HỢP TỐI ƯU ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG	
 CỦA MÁY	149
§1. MỘT SỐ TIÊU CHUẨN TỔNG HỢP TỐI ƯU.....	149
1.1. Bình phương sai số vận tốc	149
1.2. Bình phương giá trị của mômen xoắn của một trong các khâu của cơ cấu truyền.....	150
1.3. Bình phương của độ lệch toạ độ (góc) giữa khâu ra và khâu vào của cơ cấu truyền.....	150
1.4. Bình phương của giá trị điều khiển	151
1.5. Tiêu chuẩn tổ hợp	151
1.6. Tiêu chuẩn tối ưu điều khiển trong quá trình chuyển tiếp.....	152
§2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI BÀI TOÁN TỐI ƯU.....	152
2.1. Nguyên lý cực đại Pontraghin	152
2.1. Bài toán điều khiển tối ưu không có giới hạn đặt lên điều khiển	159
2.2. Bài toán điều khiển tối ưu khi có giới hạn đặt lên điều khiển.....	163
2.3. Bài toán điều khiển tối ưu của quá trình mở máy.....	164
TÀI LIỆU THAM KHẢO	170

Chương 1

CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ ĐỊNH NGHĨA

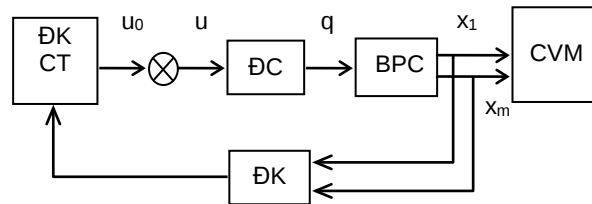
§1. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC, MÁY VÀ MÔ HÌNH CẤU TRÚC MÁY

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 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... 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 không bao gồm các máy loại sau cùng này.



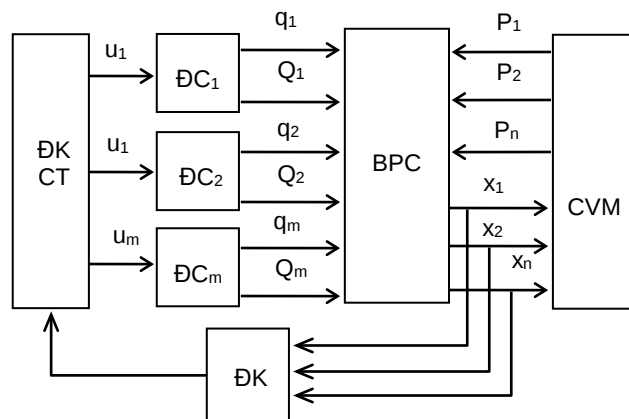
Hình 1.1. Sơ đồ máy một động cơ

ĐC–Động cơ, BPC–Bộ phận cơ
CVM – Công việc máy
ĐK–Hệ điều khiển
ĐKCT–Điều khiển chương trình

1.3. Mô hình 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 1.2. Sơ đồ máy nhiều động cơ

Tuỳ thuộc vào dạng năng lượng được biến đổi mà có các loại động cơ khác

nhau như 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 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. Số đầu vào của các hệ cơ thường bằng số động cơ, được gọi là số bậc động của máy.

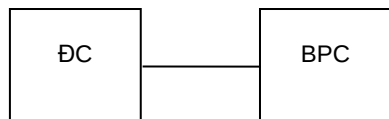
Để có thể thích ứng với các quá trình công tác khác nhau của máy hoặc với các biến động của quá trình công tác do các tác nhân khác nhau (có thể tiền định hoặc ngẫu nhiên) người ta sử dụng các hệ thống điều khiển và điều chỉnh. Các hệ thống này hoạt động nhờ các tham số điều khiển u_i ($i = \overline{1, n}$), 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

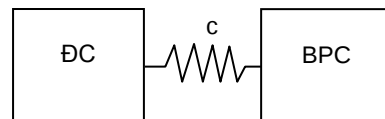
Ta khảo sát máy trong mô hình đơn giản nhất nhưng rất cơ bản. Đó là máy hai khối lượng, nó là một hệ thống gồm hai phần tử có quán tính là động cơ và bộ phận cơ học (gọi tắt là bộ phận cơ hoặc cơ cấu chấp hành) được nối với nhau. Nói khác đi, để xây dựng mô hình này, ta bỏ qua quán tính của cơ cấu truyền. 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 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 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 hoạt động tuân theo quy luật 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 như động cơ điện, động cơ nhiệt, động cơ thủy lực, động cơ khí nén... Quá trình biến đổi 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 xây dựng dựa theo mối quan hệ giữa các thông số đầu ra của động cơ (toạ độ q và vận tốc $\dot{q}$) với lực do động cơ tạo nên và truyền đi 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. Ta xét ba mô hình cơ bản sau [6, 14].

a) Động cơ với đặc tuyến lý tưởng

α) 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 là 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.

β) Động cơ với đặc tuyến động lực lý tưởng

Khi lực suy rộng phát động không phụ thuộc vào chuyển động của khâu ra của động cơ và được xác định 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 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 $u = u_0 = \text{const}$, làm việc theo đặc tuyến động học lý tưởng thì

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

tức 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

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

tức 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 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.

