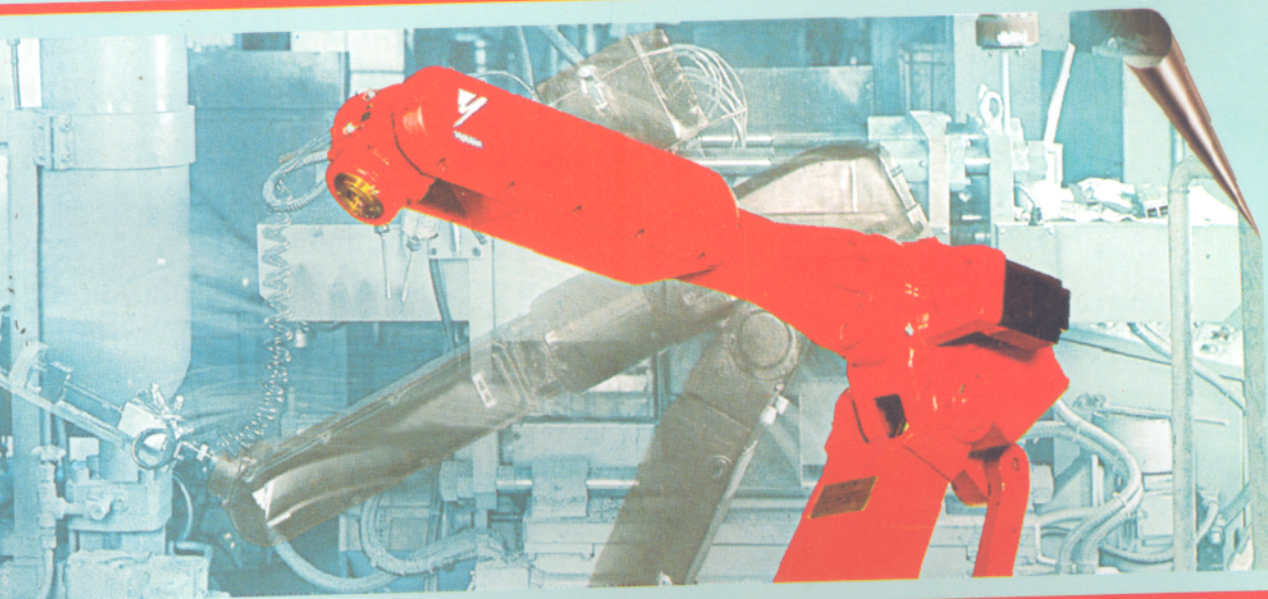


ĐINH GIA TUỜNG - PHAN VĂN ĐỒNG - TẠ KHÁNH LÂM

NGUYÊN LÝ MÁY



TẬP 2



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

ĐINH GIA TƯỜNG - PHAN VĂN ĐỒNG - TẠ KHÁNH LÂM

NGUYÊN LÝ MÁY

TẬP HAI

(Tái bản lần thứ hai)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

LỜI NÓI ĐẦU

Tập 1 của giáo trình đã giới thiệu các nội dung truyền thống của môn học Nguyên lý máy. Trong tập 2 này chúng tôi sẽ giới thiệu một số chương bổ sung với các nội dung sau đây:

1/ Một số vấn đề về chống rung, cụ thể là các bài tính sau:

- Giảm chấn cho một hệ dao động xoắn có nhiều bậc tự do.
- Cân bằng trục mềm.
- Cách rung.

2/ Một số khái niệm về cơ cấu tay máy mà về nhiều mặt có những khác biệt so với các cơ cấu truyền thống đã được giới thiệu trong tập 1.

Ngoài các chương bổ sung, trong tập 2 này còn có phần phụ lục giới thiệu các chương trình dùng để giải một số các bài tính được đề cập đến trong giáo trình. Các chương trình này được viết bằng Turbo - Pascal.

Chương 15

GIẢM CHẤN CHO HỆ DAO ĐỘNG XOẮN CÓ NHIỀU BẬC TỰ DO

15.1. Đại cương

15.1.1. Đặt vấn đề

Trước đây ta đã giả thiết các khâu của máy đều là các vật rắn **không** biến dạng. Thực ra mọi khâu đều ít nhiều có tính đàn hồi. Ngoài ra, trong máy còn thường dùng các khâu thực sự đàn hồi như đai truyền, khớp đàn hồi, các loại lò xo khác nhau. Trong nhiều bài tính, phải kể đến tính đàn hồi của các khâu. Khi có kể đến tính đàn hồi này của các khâu, thì máy sẽ có mô hình là hệ dao động có nhiều hoặc vô số bậc tự do. (Thông thường, các hệ có vô số bậc tự do được đưa về trường hợp hệ có số bậc tự do hữu hạn). Một vấn đề được đặt ra là khi máy làm việc, không được để xảy ra hiện tượng cộng hưởng ở bất kỳ tần số nào của dãy tần số riêng của hệ. Hơn thế nữa, để đảm bảo máy hoạt động bình thường cần phải hạn chế dao động và biến dạng của các khâu của máy trong giới hạn cho phép. Đây chính là nội dung của bài tính giảm chấn.

Để giải quyết bài tính giảm chấn cho máy, người ta dùng các bộ giảm chấn khác nhau. Trong chương này sẽ giới thiệu nguyên tắc tính toán một số hệ giảm chấn cho một hệ có n bậc tự do và việc giải một số bài tính dao động cơ bản, cần thiết cho việc thiết kế các bộ giảm chấn. Hệ được xét là hệ dao động xoắn (sau đây viết tắt là hệ đdx). Sở dĩ chọn hệ đdx là vì bài tính giảm chấn của hệ đdx là một bài tính phổ biến và điển hình. Ngoài ra hệ đdx là mô hình kỹ thuật một lớp rộng các bài tính về động lực học máy.

15.1.2. Hệ dao động xoắn và lược đồ tính của nó

1. Hệ dao động xoắn có một trục hoặc nhiều trục quay với vận tốc khác nhau nối với nhau bằng các bộ truyền chuyển động quay như bộ truyền bánh răng, bộ truyền đai v.v...

Trên mỗi trục của hệ dao động xoắn có một hay nhiều đĩa, mỗi đĩa này có thể là một chi tiết quay như rô to, puli, bánh răng, khớp trục v.v... hoặc cũng có thể là khâu thay thế cho một cơ cấu nhiều khâu, ví dụ khâu thay thế của cơ cấu tay quay con trượt trong động cơ nổ. Các đĩa được coi là tuyệt đối cứng và momen quán tính của đĩa hoàn toàn xác định, momen quán tính này bằng hằng số trong trường hợp đĩa là một chi tiết quay, còn trong trường hợp đĩa là khâu thay thế của một cơ cấu nhiều khâu, momen quán tính của nó là một hàm số của vị trí khâu thay thế.

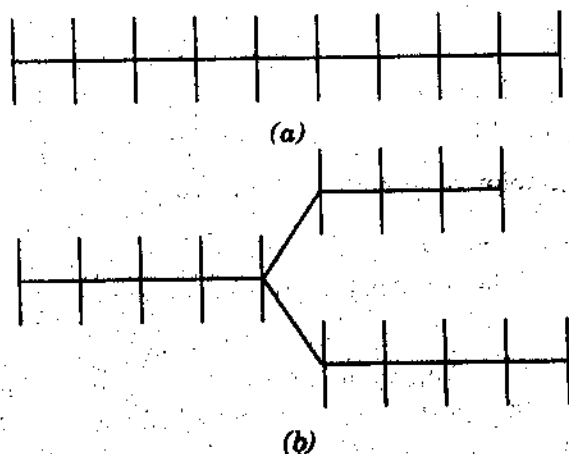
Các đoạn trục giữa hai đĩa được xem là đàn hồi, tức là có biến dạng xoắn khi chịu tải. Vì momen quán tính của một đơn vị chiều dài trục thường nhỏ hơn momen quán tính của đĩa rất nhiều nên ta có thể bỏ qua khối lượng của trục.

Do đã giả thiết các đĩa (còn gọi là phần tử quán tính) của hệ tuyệt đối cứng và các trục đàn hồi (còn gọi là phần tử đàn hồi của hệ) không có khối lượng, nên hệ ddx được xét với các giả thiết trên có một số hữu hạn bậc tự do (nếu kể đến cả khối lượng các trục đàn hồi thì hệ có vô số bậc tự do).

Ngoài biến dạng xoắn của các đoạn trục, còn phải kể đến biến dạng trong các bộ truyền ví dụ biến dạng uốn của các bánh răng khi ăn khớp, biến dạng của dây đai khi truyền động v.v... Do các biến dạng này, trong mỗi bộ truyền sẽ có một "biến dạng tương đương" và ứng với mỗi bộ truyền động quay sẽ có một trục đàn hồi tương đương có độ cứng hoàn toàn xác định.

2. Để viết phương trình chuyển động cho hệ ddx, trên cơ sở đó giải quyết các bài toán động lực học khác nhau của nó, trước hết phải xây dựng cho hệ một lược đồ tính. Khác với mô hình kỹ thuật, lược đồ tính của hệ ddx chỉ gồm một trục quay hoặc nếu có nhiều trục thì các trục có cùng một vận tốc. Các đoạn trục đàn hồi trong lược đồ đều là các trục trơn và có cùng một đường kính. Do giả thiết các đĩa tuyệt đối cứng nên trên lược đồ chiều dài các đĩa không có ý nghĩa gì và do đã quy định các đoạn trục trên lược đồ đều cùng là trục trơn và có cùng đường kính nên chiều dài của các đoạn trục trên lược đồ tỷ lệ nghịch với độ cứng của chúng, nếu như ta giả thiết các trục là đàn hồi tuyến tính.

Có nhiều dạng lược đồ tính khác nhau của hệ ddx: lược đồ dây (hình 15.1a), lược đồ có nhánh (hình 15.1b). Lược đồ có nhánh ứng với trường hợp có hai truyền dẫn được dùng cho một bộ phận công tác của máy hoặc một bộ phận truyền dẫn được dùng để dẫn động hai bộ phận công tác khác nhau của máy.



Hình 15.1

Từ một hệ dao động xoắn cụ thể để lập lược đồ tính, cần phải làm một số phép thay thế. Các phép thay thế này phải đảm bảo nguyên tắc bảo toàn các dạng năng lượng của hệ.

Các phép thay thế cần thiết cho việc xây dựng lược đồ tính của một hệ ddx gồm:

- Thay thế momen quán tính.
- Thay thế độ cứng.
- Thay thế hệ số giảm chấn.
- Xác định độ cứng xoắn tương đương của các bộ phận chuyển động quay.

Sau cùng, các trục trong hệ ddx có thể có dạng phức tạp (trục rỗng, trục khuỷu v.v...), do đó cũng cần có công thức tính độ cứng các trục phức tạp, từ đó suy ra thông số của các trục trơn trong lược đồ.

Trong phần phụ lục ở cuối chương này sẽ giới thiệu các phép thay thế và các công thức tính độ cứng của các kiểu trục, cần thiết cho việc xây dựng lược đồ tính.

15.1.3. Phương trình chuyển động của hệ ddx

Để viết phương trình chuyển động cho hệ ddx khi đã cho lược đồ của nó, ta có thể dùng phương trình Lagrangio II (Lagrange II) hoặc nguyên lý Đalămbe (d'Alembert).

Ví dụ đối với lược đồ dây tuyến tính n đĩa (hình 15.2), phương trình chuyển động được viết dựa vào nguyên lý Đalămbe như sau:

Xét một đĩa J_k trên lược đồ, theo nguyên lý Đalămbe tất cả các lực đặt lên đĩa khi kể cả lực quán tính phải cân bằng với nhau. Gọi φ_k là tọa độ của đĩa J_k , các lực tác động lên đĩa là:

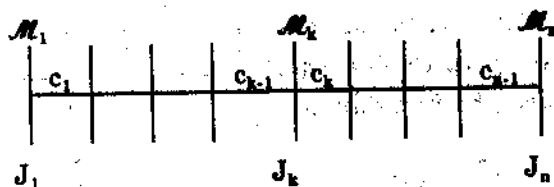
- Lực quán tính: $-J_k \ddot{\varphi}_k$ (với $\ddot{\varphi}_k = \frac{d^2 \varphi_k}{dt^2}$)

- Các lực phục hồi M_{k-1} , và M_k do các trục đàn hồi c_{k-1} và c_k bị biến dạng xoắn tác động lên đĩa:

$$M_{k-1} = c_{k-1}(\varphi_{k-1} - \varphi_k)$$

$$M_k = c_k(\varphi_{k+1} - \varphi_k)$$

- Ngoại lực M_k



Hình 15.2

Vì các lực này phải cân bằng với nhau nên ta có:

$$-J_k \ddot{\varphi}_k + c_{k-1}(\varphi_{k-1} - \varphi_k) + c_k(\varphi_{k+1} - \varphi_k) + M_k = 0$$

hay:

$$J_k \ddot{\varphi}_k - c_{k-1}(\varphi_{k-1} - \varphi_k) + c_k(\varphi_{k+1} - \varphi_k) = M_k$$

Do có n đĩa, chỉ số k phải cho chạy từ 1 đến n. Ngoài ra lược đồ trên hình 15.2 có hai đầu tự do, do đó phải lấy:

$$c_0 = c_n = 0$$

Như vậy hệ phương trình chuyển động của lược đồ này là:

$$\left. \begin{aligned} J_k \ddot{\varphi}_k - c_{k-1}(\varphi_{k-1} - \varphi_k) + c_k(\varphi_k - \varphi_{k+1}) &= M_k \\ (k = 1, 2, \dots, n; c_0 = c_n = 0) \end{aligned} \right\} \quad (15.1)$$

Trường hợp có giảm chấn tuyến tính (lực ma sát tỉ lệ với vận tốc dao động của đĩa hoặc vận tốc dao động tương đối giữa hai đĩa kế nhau) thì trong các vế trái của hệ phương trình trên phải thêm các hạng thức sau:

- Trường hợp lực ma sát tỉ lệ với vận tốc dao động của đĩa: $b_k \dot{\varphi}_k$

- Trường hợp lực ma sát tỉ lệ với vận tốc dao động tương đối giữa các đĩa kế nhau:

$$b_{k-1}(\dot{\varphi}_{k-1} - \dot{\varphi}_k) + b_k(\dot{\varphi}_k - \dot{\varphi}_{k+1})$$

Do đó hệ (15.1) được thay bằng:

$$\left. \begin{aligned} J_k \ddot{\varphi}_k - b_k \dot{\varphi}_k - b_{k-1}(\dot{\varphi}_{k-1} - \dot{\varphi}_k) + b_k(\dot{\varphi}_k - \dot{\varphi}_{k+1}) \\ - c_{k-1}(\varphi_{k-1} - \varphi_k) + c_k(\varphi_k - \varphi_{k+1}) &= M_k \\ (k = 1, 2, \dots, n; b_0 = b_n = 0; c_0 = c_n = 0) \end{aligned} \right\} \quad (15.2)$$

15.2. Dao động tự do của hệ ddx

15.2.1. Phương trình tần số và các dạng dao động chính

1. Hãy xét một hệ ddx tuyến tính có lược đồ dây gồm n đĩa (hình 15.3). Phương trình dao động tự do của hệ này suy từ phương trình chuyển động (15.1), bằng cách cho ngoại lực $M_k = 0$, ($k = 1, 2, \dots, n$):

$$\left. \begin{aligned} J_k \ddot{\varphi}_k - c_{k-1}(\varphi_{k-1} - \varphi_k) + c_k(\varphi_k - \varphi_{k+1}) &= 0 \\ (k = 1, 2, \dots, n; c_0 = c_n = 0) \end{aligned} \right\} \quad (15.3)$$

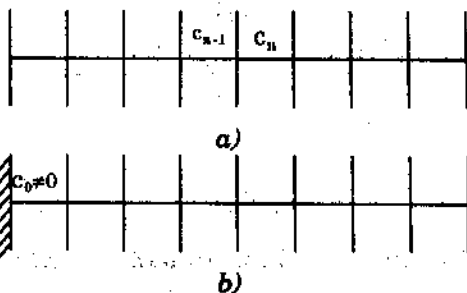
Đặt:

$$\varphi_k = A_k \sin(pt + \alpha) \quad (15.4)$$

A_k là biên độ dao động tự do của đĩa thứ k , p là tần số dao động tự do của hệ, (hay tần số riêng), α là góc pha ban đầu của dao động tự do.

Thay (15.4) vào (15.3), sau khi ước lược sẽ được một hệ phương trình đại số với các ẩn là các biên độ dao động tự do A_k (nếu coi p là đại lượng đã xác định). Hệ phương trình đại số này có dạng:

$$\left. \begin{aligned} -c_{k-1}A_{k-1} + (c_{k-1} + c_k - p^2 J_k)A_k - c_k A_{k+1} &= 0 \\ (k = 1, 2, \dots, n; c_0 = c_n = 0) \end{aligned} \right\} \quad (15.5)$$



Hình 15.3

(*) Nếu lược đồ có một đầu ngàm như trong ví dụ hình 15.3b trong đó đĩa J_1 được nối với ngàm bằng một đoạn trục c_0 thì trong (15-3) phải lấy $c_0 \neq 0$.

với các vế phải đều bằng không. Hệ (15.5) trước hết có một nghiệm tầm thường:

$$A_k = 0 \quad (k=1, 2, \dots, n)$$

ứng với trường hợp hệ ddx không dao động.

Điều kiện để hệ ddx có dao động tự do, tức là (15.5) có nghiệm không tầm thường là: định thức các hệ số của A_k trong vế trái phải bằng không. Gọi định thức này là Δ , ta có:

$$\Delta(p) = 0 \quad (15.6)$$

Đặt:

$$[J_k] = (c_{k-1} + c_k - p^2 J_k) \quad (15.7)$$

Với ký hiệu (15.7), thì (15.6) có dạng:

$$\Delta(p) = \begin{vmatrix} [J_1] & -c_1 & & & \\ -c_1 & [J_2] & -c_2 & & \\ & -c_2 & [J_3] & -c_3 & \\ & & & & \\ & & & -c_{n-2} & [J_{n-1}] & -c_{n-1} \\ & & & & -c_{n-1} & [J_n] \end{vmatrix} = 0 \quad (15.8)$$

Định thức $\Delta(p)$, khi khai triển ra sẽ cho một đa thức bậc n của p^2 .

$$\Delta(p) = a_0(p^2)^n + a_1(p^2)^{n-1} + \dots + a_{n-1}(p^2) + a_n = 0 \quad (15.9)$$

(15.8) và (15.9) là phương trình tần số của hệ ddx được xét.

Các nghiệm thực, dương của phương trình tần số gọi là các tần số riêng của hệ. Có thể chứng minh (15.8) có một nghiệm $p_0 = 0$ và $(n-1)$ nghiệm p_s ($s = 1, 2, \dots, n-1$), thực, dương, khác nhau. Nghiệm $p_0 = 0$ ứng với trường hợp hệ không dao động, vì vậy sau đây ta chỉ quan tâm với các giá trị $p_s > 0$.

2. Vì có $(n-1)$ giá trị p_s khác nhau nên nghiệm tổng quát của (15.3) có dạng:

$$\varphi_k = \sum_{s=1}^{n-1} A_{ks} \sin(p_s t + \alpha_s) \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (15.10)$$

Như vậy trong trường hợp tổng quát dao động tự do của mỗi đĩa J_k là hợp của $(n-1)$ dao động điều hoà, mỗi dao động điều hoà này ứng với một tần số riêng p_s .

Trong (15.10), các giá trị p_s hoàn toàn chỉ phụ thuộc vào các tham số cấu trúc của hệ, tức là vào các giá trị J_k, c_k ; còn các biên độ A_{ks} và góc pha α_s phụ thuộc vào các điều kiện đầu, tức là các giá trị: $\varphi_k^0, \dot{\varphi}_k^0$ ở thời điểm ban đầu $t = 0$.

Trong những điều kiện đầu nhất định, có thể chỉ tồn tại một biên độ $A_{k1} \neq 0$ ($k=1, 2, \dots, n$) ứng với một tần số riêng p_1 . Khi đó (15.10) có dạng:

$$\varphi_k = \varphi_{k1} = A_{k1} \sin(p_1 t + \alpha_1) \quad (15.11)$$

Mỗi dạng dao động điều hoà (15.11) gọi là một dạng *dao động chính*.

15.2.2. Quan hệ giữa biên độ dao động của các đĩa trong một dạng dao động chính. Điểm nút

1. Biên độ dao động tự do của các đĩa phụ thuộc vào các điều kiện đầu nhưng quan hệ tỉ lệ giữa biên độ dao động của các đĩa trong mỗi dạng dao động chính chỉ phụ thuộc các thông số động lực học của hệ và tần số riêng ứng với dạng dao động chính được xét.

1) Hãy xét hệ phương trình (15.5) - Đối với dạng dao động chính ứng với tần số p_1 , phương trình này có dạng:

$$\left. \begin{aligned} -c_{k-1}A_{k-1,l} + [J_k]_l A_{k,l} - c_k A_{k+1,l} &= 0 \\ (k = 1, 2, \dots, n; c_0 = c_n = 0) \end{aligned} \right\} \quad (15.12)$$

với:

$$[J_k]_l = c_{k-1} + c_k - p_1^2 J_k \quad (15.13)$$

và $A_{k,l}$ là biên độ dao động chính thứ l (ứng với tần số riêng p_l).

Từ hệ phương trình trên có thể suy ra quan hệ giữa biên độ dao động của các đĩa như sau:

Phương trình cuối của hệ (15.12) là:

$$-c_{n-1}A_{n-1,l} + [J_n]_l A_{n,l} = 0$$

Từ phương trình này có thể suy ra công thức tính $A_{n-1,l}$ theo $A_{n,l}$.

Phương trình kế trên phương trình cuối của hệ (15.12) là:

$$-c_{n-2}A_{n-2,l} + [J_{n-1}]_l A_{n-1,l} - c_{n-1}A_{n,l} = 0$$

Vì trên đây, ta vừa tính được $A_{n-1,l}$ theo $A_{n,l}$ cho nên với phương trình này ta sẽ tính được $A_{n-2,l}$ theo $A_{n,l}$.

Cứ tiếp tục như thế ta sẽ tính được biên độ dao động tự do của các đĩa k ($k \leq n-1$) trong một dạng dao động chính thứ l bất kỳ theo $A_{n,l}$. Công thức truy chứng dùng để tính có dạng:

$$\left. \begin{aligned} A_{k,l} &= \frac{1}{c_{k,l}} \left([J_{k+1}]_l A_{k+1,l} - c_{k+1} A_{k+2,l} \right) \\ (k = 1, 2, \dots, n-1; c_0 = c_n = 0) \end{aligned} \right\} \quad (15.14)$$

2) Cũng có thể dùng công thức sau để xác định quan hệ tỉ lệ giữa biên độ dao động các đĩa trong một dạng dao động chính (xem [3]):

$$A_{1,l} : A_{2,l} : \dots : A_{n-1,l} : A_{n,l} = \Delta_1(p_l) : c_1 \Delta_2(p_l) : \dots : \prod_{k=1}^{n-2} c_k \Delta_{n-1}(p_l) : \prod_{k=1}^{n-2} c_k \Delta_n \quad (15.15)$$

với định nghĩa sau đây về Δ_k :

Δ_k ($k = 1, 2, \dots, n-1$) là định thức con suy từ định thức $\Delta(p)$ (15.8) bằng cách gạch đi k dòng, k cột đầu và $\Delta_n = 1$.

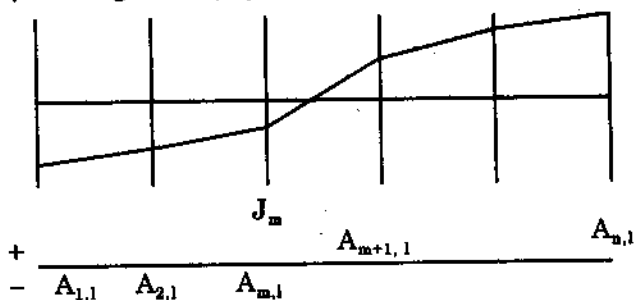
2. Khi đã cho $A_{n,1}$ một dấu nhất định thì trong dãy $A_{k,1}$ ($k = 1, 2, \dots, n-1$), có những phần tử cùng dấu với $A_{n,1}$, và những phần tử trái dấu với $A_{n,1}$.

1) Giả thử ta có:

$$A_{k,1} < 0 \quad k \leq m$$

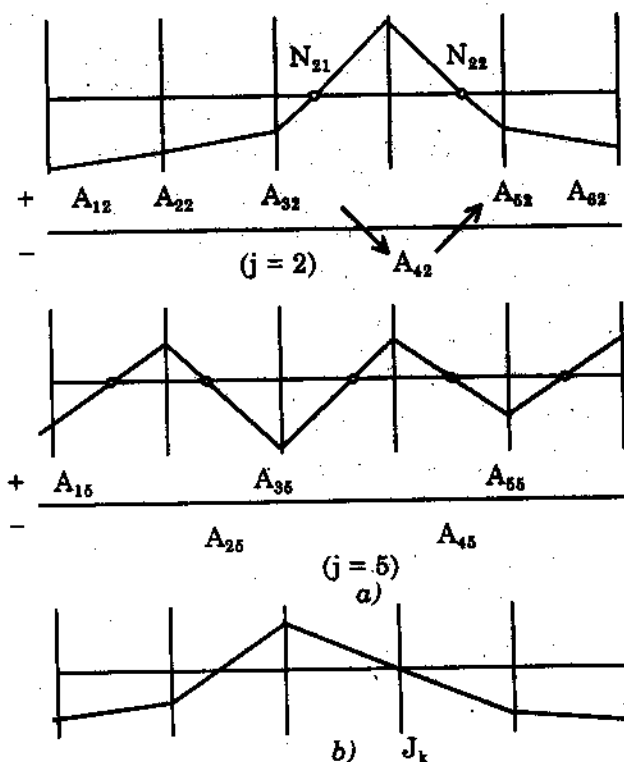
$$A_{k,1} > 0 \quad k > m$$

Khi đó trong dãy $A_{k,1}$ đã có một lần đổi dấu. Các biên độ $A_{m,1}$ và $A_{m+1,1}$ trái dấu nhau, như vậy các đĩa J_m, J_{m+1} dao động ngược pha nhau. Do đó trên đoạn trục nối các đĩa này có một tiết diện không dao động, gọi là điểm nút (hình 15.4).



Hình 15.4

2) Có thể chứng minh rằng (xem [3]) ứng với mỗi dạng dao động chính, biên độ dao động tự do lại có một số lần đổi dấu nhất định và trên lược đồ có một số điểm nút nhất định. Cụ thể là ở dạng dao động chính thứ k , có k điểm nút, ở dạng dao động chính thứ $n-1$ có $(n-1)$ điểm nút (hình 15.5).



Hình 15.5

3) Trong một dạng dao động chính thứ r , ứng với tần số riêng p_r ($r < n-1$), rất có thể xảy ra trường hợp một điểm nút nằm đúng trên một đĩa J_k nào đó. Đĩa J_k khi đó coi như bị ngàm. Có thể nhận thấy hai hệ con được tạo từ các phần bên phải và bên trái đĩa J_k và có đầu ngàm tại đĩa này và hệ n đĩa ban đầu có cùng một tần số p_r (hình 15.5b).

Như sau đây sẽ chỉ rõ, vị trí điểm nút (hoặc các điểm nút) trên lược đồ tính có ý nghĩa trong việc chọn vị trí để lắp bộ (hoặc các bộ) giảm chấn.

15.2.3. Quan hệ p_n (J_k)

Trong một hệ ddx, khi thay đổi momen quán tính J_k của một đĩa k bất kỳ, thì dãy tần số riêng p_n cũng thay đổi. Sau đây ta sẽ phân tích mối quan hệ này. Giả sử ta cho momen quán tính của đĩa thứ k biến thiên và gọi momen quán tính này là J_{kx} .

1. Để xác định mối quan hệ giữa dãy p_n và J_{kx} , ta khai triển $\Delta(p)$ theo các phân tử của dòng thứ k , trong đó có chứa J_{kx} .

$$[J_{kx}] \bar{\Delta}_{k-1} \cdot \Delta_k - c_{k-1}^2 \bar{\Delta}_{k-2} \cdot \Delta_k - c_k^2 \bar{\Delta}_{k-1} \cdot \Delta_{k+1} = 0$$

trong đó:

$$[J_{kx}] = c_{k-1} + c_k - p^2 J_{kx}$$

- Δ_k là định thức con suy từ định thức $\Delta(p)$ (15.8) bằng cách gạch đi k dòng k cột đầu.

- $\bar{\Delta}_k$ là định thức con suy từ định thức $\Delta(p)$ (15.8) bằng cách gạch đi $(n-k)$ dòng và $(n-k)$ cột cuối.

Từ công thức trên đây suy ra:

$$J_{kx} = \frac{1}{p^2} \left\{ c_{k-1} \left(1 - c_{k-1} \frac{\bar{\Delta}_k(p)}{\Delta_{k-1}(p)} \right) + c_k \left(1 - c_k \frac{\Delta_{k+1}(p)}{\Delta_k(p)} \right) \right\} \quad (15.16)$$

2. Bây giờ, dựa vào (15.16), hãy xác định đường cong $J_{kx}(p)$. Trước hết, chú ý rằng $\Delta_k(p) = 0$ có $(n-k)$ nghiệm $p_{k,j}$ ($j = 1, 2, \dots, n-k$), khác các nghiệm của $\Delta_{k+1}(p) = 0$. Cũng như vậy, $\bar{\Delta}_{k-1}(p) = 0$ có $k-1$ nghiệm, $\bar{p}_{k-1,l}$ ($l=1, 2, \dots, k-1$), khác các nghiệm của $\bar{\Delta}_{k-2}(p) = 0$.

a) Giả thiết $\Delta_k(p) = 0$ và $\bar{\Delta}_{k-1}(p) = 0$ không có nghiệm chung, khi đó các phân tử $p_{k,j}$ ($j = 1, 2, \dots, n-k$) và các phân tử $\bar{p}_{k-1,l}$ ($l=1, 2, \dots, k-1$) có giá trị khác nhau. Hãy sắp xếp các phân tử của hai dãy này theo thứ tự có giá trị tăng dần, ta sẽ được một dãy gồm $(n-k) + (k-1) = (n-1)$ phân tử, ký hiệu là $(p_s^*)_k$.

Đường cong $J_{kx}(p)$ như vậy có $(n-1)$ tiệm cận đứng đi qua các điểm có hoành độ $p = (p_s^*)_k$.

b) Nếu cho $p \rightarrow \infty$, thì theo (15.16), $J_{kx} \rightarrow 0$. Như vậy đường cong $J_{kx}(p)$ có một tiệm cận ngang đi qua tung độ $J_{kx} = 0$.

Sau cùng, nếu cho $p = 0$, thì J_{kx} có dạng

$$J_{kx}(0) = \frac{0}{0}$$

Dùng qui tắc Lôpitan, dễ dàng suy ra:

$$\lim_{p \rightarrow 0} J_{kx}(p) = - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^n J_l$$

c) Từ những nhận xét trên, vẽ được đồ thị hình 15.6. Vì $J_k \geq 0$ nên đồ thị chỉ một miền có nghĩa (miền không gạch chéo).

Đồ thị gồm n nhánh: nhánh $p_0 = 0$ trùng với trục tung, $(n-1)$ nhánh khác được ký hiệu là $(p_s)_k$ ($s = 1, 2, \dots, n-1$).

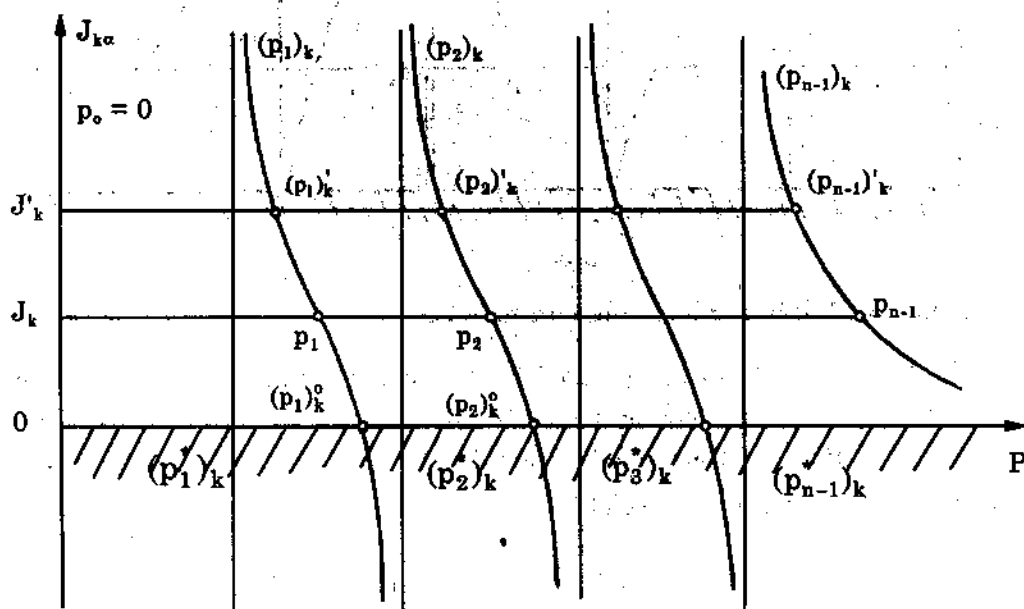
Khi cho J_{kx} một giá trị J_k nào đó thì đường $J_{kx} = J_k$ sẽ cắt các nhánh $p_0, (p_s)_k$ ($s = 1, 2, \dots, n-1$) ở n điểm.

$$p_0 = 0 < p_1 < p_2 < p_3 < \dots < p_{n-1}.$$

Đây chính là dãy tần số riêng của hệ ddx được xét.

Khi tăng J_{kx} , dãy tần số riêng nói trên giảm ví dụ các điểm $(p_1)'_k, (p_2)'_k, \dots, (p_{n-1})'_k$ trừ tần số $p_0 = 0$. Khi cho $J_{kx} \rightarrow \infty$, dãy $(p_s)_k$ sẽ tiến tới dãy $(p_s^*)_k$ ($k = 1, 2, \dots, n-1$) chính là dãy tần số riêng của hệ ddx được xét khi ta ngàm đĩa thứ k .

Khi cho $J_{kx} = 0$, tức là bỏ đĩa thứ k đi, số bậc tự do của hệ sẽ giảm đi một đơn vị. Đường $J_{kx} = 0$ cắt các nhánh $p_0, (p_s)_k$ ($k = 1, 2, \dots, n-2$) ở $(n-1)$ điểm có hoành độ: $p_0=0, (p_s)_k$. Như vậy dãy tần số riêng cũng giảm đi một phần tử.



Hình 15.6

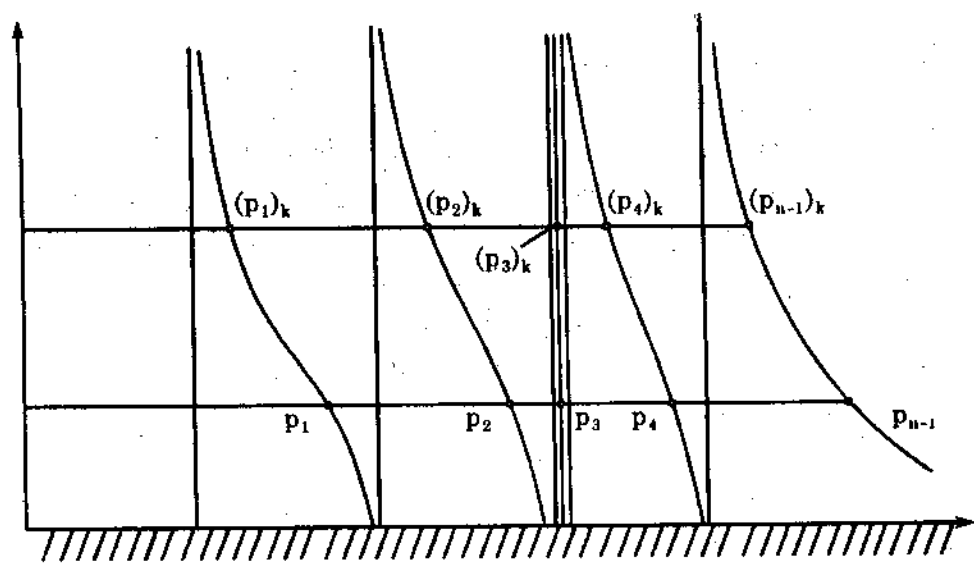
d) Trên đây đã giả thiết $\Delta_k(p) = 0$ và $\bar{\Delta}_{k-1}(p) = 0$ không có nghiệm chung. Thực ra, hai phương trình này có thể có một hay một số nghiệm chung - Giả thử nghiệm p_{k1} của $\Delta_k(p) = 0$ bằng nghiệm $\bar{p}_{k-1,h}$ của $\bar{\Delta}_{k-1}(p) = 0$. Khi đó trong dãy $(p_s^*)_k$ ($k = 1, 2, \dots, n-1$), sẽ có hai phần tử có giá trị bằng nhau:

$$(p_r^*)_k = p_{k1} = (p_{r+1}^*)_k = \bar{p}_{k-1,h}$$

Hai đường tiệm cận thứ r và $r + 1$ của đường cong $J_{kx}(p)$ sẽ chạm lại với nhau. Nhánh $(p_r)_k$ của đường cong $J_{kx}(p)$ khi đó cũng biến thành đường thẳng đứng, trùng với hai đường tiệm cận trên (hình 15.7).

Trong trường hợp này khi cho J_{kx} biến thiên, không những $p_0 = 0$ không đổi mà ngay cả giá trị của tần số p_r cũng không đổi. Nói một cách khác, J_{kx} không ảnh hưởng tới giá trị của p_r . Có thể nhận thấy rằng đã có một điểm nút trong dạng dao động chính ứng với tần số p_r trùng với đĩa J_k .

Trường hợp $\Delta_k(p) = 0$ và $\bar{\Delta}_{k-1}(p) = 0$ có q nghiệm trùng nhau thì trong dãy tần số riêng $p_0, p_1, p_2, \dots, p_{n-1}$ của hệ ddx, sẽ có $(q+1)$ tần số riêng có giá trị không đổi khi thay đổi J_{kx} .



Hình 15.7

15.2.4. Xác định dãy tần số riêng của hệ ddx

Để xác định dãy tần số riêng của hệ ddx, có thể dùng nhiều phương pháp khác nhau. Sau đây sẽ giới thiệu một trong các thuật toán để giải phương trình tần số (15.8) trên máy tính: Thuật toán Ruthihaodơ (Ruthihauser).

1. Hãy xét phương trình tần số (15.8):

$$\Delta(p) = \begin{vmatrix} c_1 - p^2 J_1 & -c_1 & & & \\ -c_1 & c_1 + c_2 - p^2 J_2 & & & \\ & & -c_2 & & \\ & & & c_{n-2} + c_{n-1} - p^2 J_{n-1} & -c_{n-1} \\ & & & -c_{n-1} & c_{n-1} - p^2 J_n \end{vmatrix} = 0$$

Vì các J_i ($i = 1, 2, \dots, n$) đều khác không nên ta có thể viết:

$$\Delta(p) = \begin{vmatrix} \frac{c_1}{J_1} - p^2 & & -\frac{c_1}{J_1} & & \\ & -\frac{c_1}{J_2} & \frac{c_1 + c_2}{J_2} - p^2 & & -\frac{c_2}{J_2} \\ & & & \ddots & \\ & & -\frac{c_{n-2}}{J_{n-1}} & \frac{c_{n-2} + c_{n-1}}{J_{n-1}} - p^2 & -\frac{c_{n-1}}{J_{n-1}} \\ & & & -\frac{c_{n-1}}{J_n} & \frac{c_{n-1}}{J_n} - p^2 \end{vmatrix} = 0$$

hay:

$$\Delta(\lambda) = \begin{vmatrix} \alpha_1 - \lambda & \beta_1 & & & \\ \gamma_1 & \alpha_2 - \lambda & \beta_2 & & \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & \gamma_{n-2} & \alpha_{n-1} - \lambda & \beta_{n-1} \\ & & & & \gamma_{n-1} & \alpha_n - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (15.17)$$

với

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i &= \frac{c_{i-1} + c_i}{J_i} \\ \beta_i &= -\frac{c_i}{J_i} \\ \gamma_i &= \frac{-c_i}{J_{i+1}} \end{aligned} \right\} \quad (i = 1, 2, \dots, n; c_0 = c_n = 0) \quad (15.18)$$

và $\lambda = p^2 \quad (15.19)$

Gọi D_k là định thức con suy từ $D(\lambda)$ bằng cách gạch đi k dòng, k cột đầu, ta có:

$$\left. \begin{aligned} D(\lambda) &= (\alpha_1 - \lambda)D_1 - \gamma_1\beta_1D_2 \\ &\dots\dots\dots \\ D_k &= (\alpha_{k+1} - \lambda)D_{k+1} - \gamma_{k+1}\beta_{k+1}D_{k+2} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \quad (15.20)$$

Các công thức (15-20) cho thấy giá trị của các D_k và của $D(\lambda)$ chỉ phụ thuộc tích của các đại lượng γ_i, β_i ($i = 1, 2, \dots, n-1$). Do đó các nghiệm λ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) của phương trình (15-17) cũng là các nghiệm của phương trình sau:

$$\Delta(\lambda) = \begin{vmatrix} \alpha_1 - \lambda & \delta_1 & & & \\ 1 & \alpha_2 - \lambda & \delta_2 & & \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & 1 & \alpha_{n-1} - \lambda & \delta_{n-1} \\ & & & & 1 & \alpha_n - \lambda \end{vmatrix} \quad (15.21)$$

với :

$$\delta_i = \gamma_i \beta_i = \frac{c_i^2}{J_i J_{i+1}} \quad (15.22)$$

Định thức $\Delta(p)$ trên đây là định thức đặc trưng của ma trận K sau đây:

$$K = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} & \alpha_1 & & & & & \\ & 1 & \alpha_2 & \delta_2 & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{array} \\ \begin{array}{ccccccc} & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{array} \end{array} \quad (15.23)$$

và các nghiệm của phương trình (15.21) chính là các trị riêng của ma trận này. Do đó việc xác định dãy tần số riêng của hệ ddx được quy về việc xác định các trị riêng của ma trận K trên đây.

2. Ma trận K trên đây là một ma trận ba đường chéo, một dạng đặc biệt của ma trận á tam giác. Do đó để tính các trị riêng của K , ta sẽ ứng dụng các tính chất của ma trận á tam giác được trình bày dưới đây.

a) Gọi C_0 , R_0 , S_0 lần lượt là các ma trận á tam giác, tam giác trên và tam giác dưới cùng cấp, và C_0 là tích của R_0 với S_0 .

$$C_0 = \begin{array}{|c|} \hline \text{Ma trận á tam giác} \\ \hline \end{array} ; \quad R_0 = \begin{array}{|c|} \hline \text{Ma trận tam giác trên} \\ \hline \end{array} ; \quad S_0 = \begin{array}{|c|} \hline \text{Ma trận tam giác dưới} \\ \hline \end{array}$$

$$C_0 = R_0 \times S_0$$

Giả thử đã cho trước các phần tử ma trận C_0 và một trong hai ma trận R_0 , S_0 có các phần tử trên đường chéo chính đều bằng 1 thì ta có thể suy ra các phần tử của R_0 và S_0 và lời giải là duy nhất.

Bây giờ nếu lại nhân S_0 với R_0 ta sẽ được một ma trận C_1 cũng là ma trận á tam giác

$$C_1 = S_0 \times R_0$$

Lập lại hai bước tính trên nhiều lần ta sẽ được một dãy các ma trận C_n :

$$\begin{aligned} R_0 \times S_0 &= C_0 \\ C_1 &= S_0 \times R_0 \\ R_1 \times S_1 &= C_1 \\ C_2 &= R_1 \times S_1 \\ &\dots\dots\dots \\ C_n &= R_{n-1} \times S_{n-1} \end{aligned}$$

Dãy ma trận C_i này có các tính chất sau:

- Tất cả các ma trận trong dãy có cùng các trị riêng.
- Khi n tiến tới vô cùng C_n tiến tới một ma trận tam giác và khi đó các phần tử nằm trên đường chéo chính của nó là các trị riêng của nó, tức là của dãy ma trận C_i .

b) Thực ra để xác định các trị riêng của C_0 ta chỉ cần làm như sau:

Trước hết từ phương trình:

$$C_0 = R_0 \times S_0 \quad (a)$$

xác định các phần tử khác của R_0, S_0 , sau đó lấy:

$$C_1 = S_0 \times R_0 \quad (b)$$

và lập lại hai bước tính (a) (b) trên đây cho tới khi các phần tử của đường chéo kể trên đường chéo chính đều nhỏ hơn một giá trị nhỏ tùy ý cho trước.

3. Bây giờ hãy áp dụng thuật toán trên đây cho việc xác định các trị riêng của ma trận K (công thức 15.23).

a) Hãy lần lượt chọn cho R và S các dạng sau:

$$R = \begin{vmatrix} r_1 & & & \\ 1 & r_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & 1 & r_n \end{vmatrix} \quad (15.24)$$

$$S = \begin{vmatrix} 1 & s_1 & & \\ & 1 & s_2 & \\ & & \ddots & \\ & & & 1 \end{vmatrix} \quad (15.25)$$

Thay các biểu thức (15.23), (15.24), (15.25) vào phương trình sau:

$$K = R \times S$$

Ta được :

$$\begin{vmatrix} \alpha_1 & \delta_1 & & \\ 1 & \alpha_2 & \delta_2 & \\ & & \ddots & \\ & & & 1 & \alpha_{n-1} & \delta_{n-1} \\ & & & & 1 & \alpha_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} r_1 & & & \\ 1 & r_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & 1 & r_{n-1} \\ & & & & 1 & r_n \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & s_1 & & \\ & 1 & s_2 & \\ & & \ddots & \\ & & & 1 \end{vmatrix}$$

Từ đó suy ra:

$$\alpha_1 = r_1 \rightarrow r_1 = \alpha_1$$

$$\delta_1 = r_1 s_1 \rightarrow s_1 = \frac{\delta_1}{r_1}$$

$$\alpha_2 = s_1 + r_2 \rightarrow r_2 = \alpha_2 - s_1$$

$$\delta_2 = r_2 s_2 \rightarrow s_2 = \frac{\delta_2}{r_2}$$

.....

hay :

$$\left. \begin{aligned} r_i &= \alpha_i - s_{i-1} \\ s_i &= \frac{\delta_i}{r_i} \\ (i &= 1, 2, \dots, n; s_0 = 0, \delta_n = 0) \end{aligned} \right\} \quad (15.26)$$

Các công thức (15.26) cho phép tính các phần tử r_i ($i = 1, 2, \dots, n$) và s_i ($i = 1, 2, \dots, n-1$) theo các giá trị cho trước α_i ($i = 1, 2, \dots, n$) và δ_i ($i = 1, 2, \dots, n-1$). Nhớ rằng α_i, δ_i được tính theo các thông số của hệ ddx được xét bằng các công thức sau (xem (15.18) và (15.22)):

$$\alpha_i = \frac{c_i + c_{i+1}}{J_i}$$

$$\delta_i = \frac{c_i^2}{J_i J_{i+1}}$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; c_0 = c_n = 0)$$

b) Bây giờ lấy K bằng tích của ma trận S với ma trận R :

$$K = S \times R$$

hay:

$$\begin{vmatrix} \alpha_1 & \delta_1 & & & \\ 1 & \alpha_2 & \delta_2 & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & 1 & \alpha_{n-1} & \delta_{n-1} \\ & & & 1 & \alpha_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & s_1 & & & \\ & 1 & s_2 & & \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & 1 & s_{n-1} \\ & & & & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} r_1 & & & & \\ 1 & r_2 & & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & 1 & r_{n-1} & \\ & & & 1 & r_n \end{vmatrix}$$

ta suy ra được các phần tử mới của K .

$$\alpha_1 = r_1 + s_1$$

$$\delta_1 = s_1 r_2$$

$$\alpha_2 = r_2 + s_2$$

$$\delta_2 = s_2 r_3$$

$$\dots\dots\dots$$

hay:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i &= r_i + s_i \\ \delta_i &= s_i r_{i+1} \\ (i &= 1, 2, \dots, n; s_n = 0) \end{aligned} \right\} \quad (15.27)$$

c) Để xác định các trị riêng của K , ta lập lại các bước tính sau nhiều lần:

- Xác định r_i, s_i bằng công thức (15.26).
- Xác định các phần tử mới α_i, δ_i của K bằng công thức (15.27).

Sau chu trình tính kiểm tra giá trị của các phần tử δ_i cho tới khi thoả mãn các điều kiện sau:

$$|\delta_i| \leq \varepsilon$$

với ε là một số được chọn tuỳ ý tuỳ theo độ chính xác yêu cầu.

Để tiết kiệm thời gian tính, thay vì xác định tất cả các phần tử của R và S, và sau đó mới xác định các phần tử mới α_i, δ_i của K, ta có thể lồng hai bước tính này vào với nhau. Cụ thể là thực hiện các bước tính theo trình tự sau:

$$\left. \begin{array}{l} r_1 = \alpha_1 \\ s_1 = \frac{\delta_1}{r_1} \\ r_2 = \alpha_2 - s_1 \end{array} \right\} \text{ các phần tử của R và S}$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_1 = r_1 + s_1 \\ \delta_1 = s_1 r_2 \end{array} \right\} \text{ các phần tử mới của K}$$

$$\left. \begin{array}{l} s_2 = \frac{\delta_2}{r_2} \\ r_3 = \alpha_3 - s_2 \end{array} \right\} \text{ các phần tử tiếp theo của R và S.}$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_2 = r_2 + s_2 \\ \delta_2 = s_2 r_3 \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\} \text{ các phần tử mới tiếp theo của K}$$

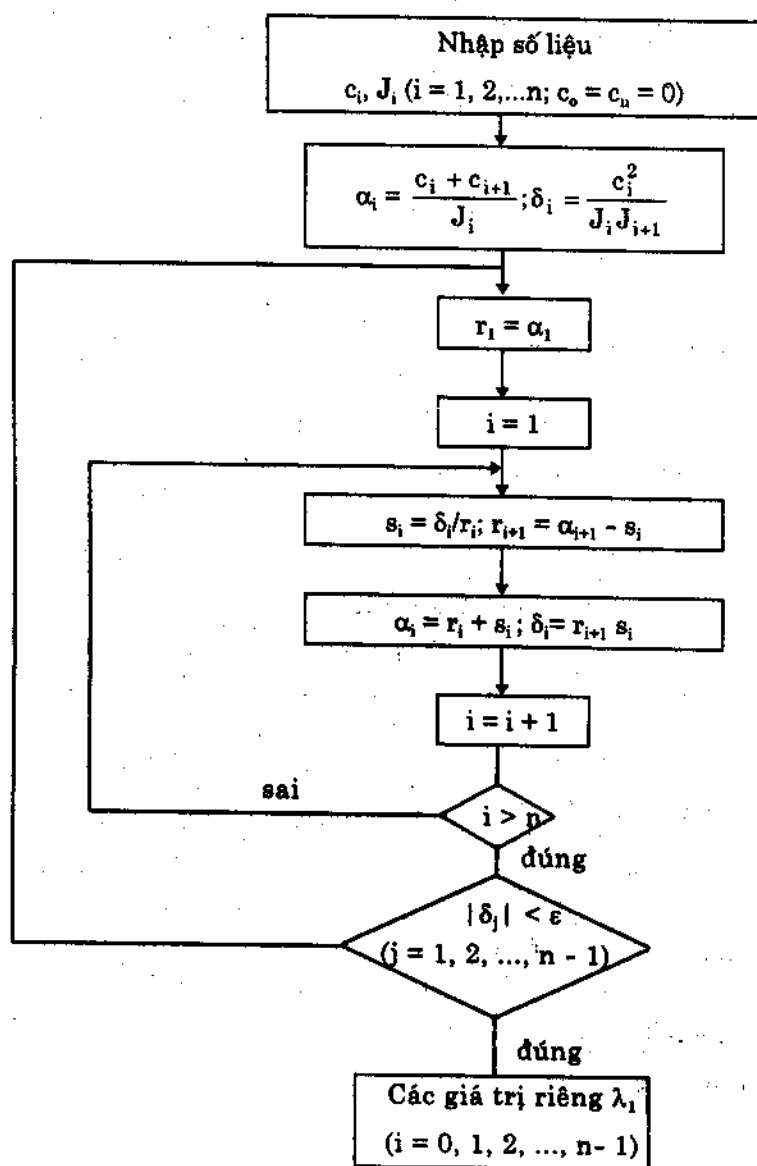
hay một cách tổng quát:

$$\left. \begin{array}{l} r_i = \alpha_i - s_{i-1} \\ s_i = \frac{\delta_i}{r_i} \\ r_{i+1} = \alpha_{i+1} - s_i \end{array} \right\} \text{ phần tử R, S}$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_i = r_i + s_i \\ \delta_i = s_i r_{i+1} \end{array} \right\} \text{ phần tử mới của K}$$

($i = 1, 2, \dots, n$; $s_0 = s_n = 0$; $r_n = 0$)

Ta có sơ đồ khối sau (hình 15.8)

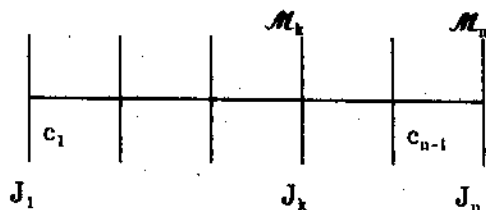


Hình 15.8

15.3. Dao động cưỡng bức và tải trọng động

15.3.1. Đặt vấn đề

Cho một hệ ddx có n bậc tự do chịu tác động của các momen ngoại lực đặt trên một số đĩa của hệ. Hãy xét cách xác định dao động cưỡng bức của các đĩa và tải trọng động (momen xoắn) trên các đoạn trục của hệ dưới tác động của các ngoại lực này.



Hình 15.9

Để giải bài tính, theo nguyên tắc tác dụng độc lập của các lực, ta có thể lần lượt xác định dao động cưỡng bức và tải trọng động dưới tác động của riêng từng ngoại lực, sau đó dùng phương pháp cộng tác dụng ta sẽ có được lời giải của bài tính.

Bây giờ xét hệ ddx chỉ chịu tác dụng của một ngoại lực M_k đặt trên đĩa J_k . Giả sử momen M_k biến thiên tuần hoàn và có thể phân thành một chuỗi Furiê (Fourrier).

Vấn với nguyên tắc tác dụng độc lập của các lực, ta có thể lần lượt xét riêng từng thành phần của chuỗi Furiê biểu diễn ngoại lực M_k . Riêng trong bài tính giảm chấn, ta chỉ cần xét một thành phần của chuỗi Furiê này, đó là thành phần ứng với cấp vận tốc ở đó có nguy cơ cộng hưởng, cụ thể thành phần:

$$M_{km} = B_{km} \sin(m\omega t + \gamma_m)$$

khi: $m\omega \approx p_k$

p_k là một tần số riêng của hệ.

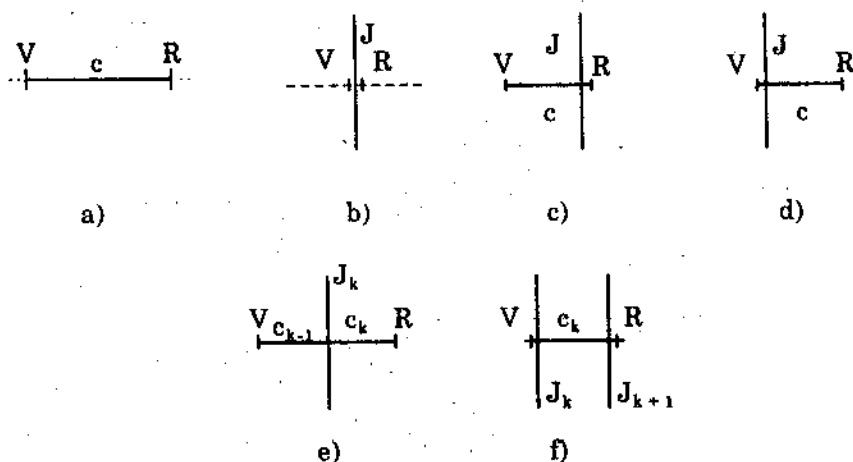
Sau đây sẽ giới thiệu cách xác định dao động cưỡng bức của các đĩa và tải trọng động trên các trục của một hệ ddx, chịu tác động của một ngoại lực điều hoà đặt trên một đĩa J_k của hệ. Bài tính sẽ được giải bằng phương pháp ma trận.

15.3.2. Các hệ con cơ bản. Ma trận chuyển

1. Trên lược đồ của một hệ ddx, kiểu lược đồ dây, không có giảm chấn, hãy dùng hai mặt cắt tại hai điểm V, R bất kỳ để trích ra một hệ nằm trong phạm vi hai mặt cắt này. Hệ được trích ra được gọi là hệ con của hệ ddx được xét. Các hệ con đơn giản nhất được gọi là các hệ con cơ bản gồm:

- Hệ một trục, ký hiệu là $(-c-)$, hình 15.10a.
- Hệ một đĩa ký hiệu là $(-J-)$, hình 15.10b.
- Hệ trục-đĩa, ký hiệu là $(-c-J-)$, hình 15.10c.
- Hệ đĩa-trục, ký hiệu là $(-J-c-)$, hình 15.10d.
- Hệ trục - đĩa - trục, ký hiệu là $(-c-J-c-)$, hình 15.10e.

- Hệ đĩa - trục- đĩa, ký hiệu là $(-J - c - J -)$, hình 15.10f.



Hình 15.10

Đối với tất cả các hệ con trên đây, mặt cắt V. (bên trái) được gọi là đầu vào và mặt cắt R (bên phải) được gọi là đầu ra.

2. Giả thử hệ ddx chịu tác dụng của một ngoại lực điều hoà đặt trên một đĩa k của hệ. Khi đó dao động cưỡng bức và tải trọng động tại các điểm khác nhau trên lược đồ cũng là các hàm điều hoà cùng pha với ngoại lực (vì ta đã giả thiết là không có giảm chấn).

Gọi biên độ dao động cưỡng bức và biên độ tải trọng động ở đầu vào của mỗi hệ con là A_v , B_v và ở đầu ra của nó là A_R , B_R thì các vectơ (ma trận cột) sau đây:

$$\begin{Bmatrix} A_v \\ B_v \end{Bmatrix}, \begin{Bmatrix} A_R \\ B_R \end{Bmatrix}$$

lần lượt được gọi là vectơ đặc trưng đầu vào và vectơ đặc trưng đầu ra của hệ con được xét.

a) Nếu trên hệ con không đặt ngoại lực (điều này là mặc định đối với hệ con một trục) thì ta có quan hệ sau:

$$\begin{Bmatrix} A_v \\ B_v \end{Bmatrix} = K \begin{Bmatrix} A_R \\ B_R \end{Bmatrix} \quad (15.28)$$

với K là một ma trận vuông cấp 2, có các phần tử phụ thuộc thông số động lực học của hệ con được xét và được gọi là ma trận chuyển của hệ con này.

b) Nếu trong hệ con có đĩa trên đó có đặt ngoại lực, có biên độ B , thì:

$$\begin{Bmatrix} A_v \\ B_v \end{Bmatrix} = K \begin{Bmatrix} A_R \\ B_R \end{Bmatrix} + YB \quad (15.29)$$

Với K là ma trận chuyển của hệ con được xét, và Y là vectơ (ma trận cột) có hai phần tử phụ thuộc vào thông số của hệ con được xét. Y gọi là vectơ tác động của ngoại lực.

3. Trong việc xác định dao động cưỡng bức và tải trọng động bằng phương pháp ma trận sẽ được trình bày sau đây, ta sẽ dùng tới các hệ con một đĩa và đĩa trục. Vì vậy cần xác định ma trận chuyển K và vectơ tác động Y của ngoại lực ứng với các hệ con này.

1) *Hãy xét một hệ đĩa (- J -).*

a) Trước hết giả thử trên đĩa không có ngoại lực (hình 15.11a). Điều kiện cân bằng lực của hệ con này là:

$$-J_k \ddot{\varphi}_k + M_{kV} - M_{kR} = 0 \quad (15.30)$$

với :

- M_{kV} là momen từ phần trước của hệ con tác động lên nó, ở đây:

$$M_{kV} = M_{k-1}$$

tức là momen xoắn trên đoạn trục c_{k-1} .

- M_{kR} là momen từ hệ con tác động lên phần phía sau nó, ở đây là bằng momen xoắn trên đoạn trục c_k .

Ngoài ra ta có:

$$\varphi_{kV} = \varphi_{kR} = \varphi_k \quad (15.31)$$

vì hai mặt cắt V, R lần lượt nằm sát hai bên đĩa J_k .

Vì đã giả thiết dao động cưỡng bức và tải trọng động đều là các hàm điều hoà nên ta có thể viết :

$$\left. \begin{aligned} \varphi_k &= A_k \sin(\Omega t + \gamma) \\ M_{kV} &= B_{kV} \sin(\Omega t + \gamma) \\ M_{kR} &= B_{kR} \sin(\Omega t + \gamma) \end{aligned} \right\} \quad (15.32)$$

Thay vào (15.30), được:

$$\Omega^2 J_k A_k + B_{kV} - B_{kR} = 0$$

Ngoài ra từ (15.31):

$$A_k = A_{kV} = A_{kR}$$

Do đó:

$$A_{kV} = A_{kR}$$

$$B_{kV} = A_{kR} (-\Omega^2 J_k) + B_{kR}$$

hay dưới dạng ma trận:

$$\begin{Bmatrix} A_{kV} \\ B_{kV} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 \\ -\Omega^2 J_k & 1 \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} A_{kR} \\ B_{kR} \end{Bmatrix}$$

hay

$$\begin{Bmatrix} A_{kV} \\ B_{kV} \end{Bmatrix} = K_J \begin{Bmatrix} A_{kR} \\ B_{kR} \end{Bmatrix}$$

Vậy :

$$K_J = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\Omega^2 J_k & 1 \end{bmatrix} \quad (15.33)$$

là ma trận chuyển của hệ con một đĩa.

b) Bây giờ nếu trên đĩa J_k có đặt momen ngoại lực (hình 15.11b)

$$M_k = B_k \sin(\Omega t + \gamma) \quad (15.34)$$

Phương trình cân bằng lực của hệ con một đĩa bây giờ là:

$$-J_k \ddot{\phi}_k + M_{kV} - M_{kR} + M_k = 0$$

Thay (15.32) và (15.34) vào phương trình này, sẽ được :

$$\Omega^2 J_k A_k + B_{kV} - B_{kR} + B_k = 0$$

hay :

$$B_{kV} = -\Omega^2 J_k A_k + B_{kR} - B_k$$

Ngoài ra:

$$A_{kV} = A_{kR}$$

Hai phương trình trên đây có thể viết dưới dạng ma trận như sau:

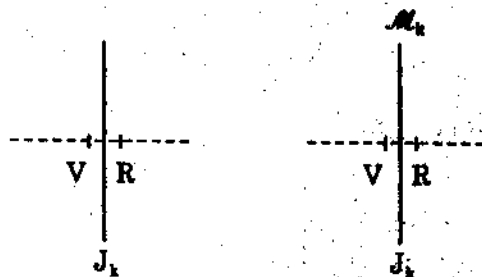
$$\begin{bmatrix} A_{kV} \\ B_{kV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\Omega^2 J_k & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_{kR} \\ B_{kR} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix} B_k$$

hay:

$$\begin{bmatrix} A_{kV} \\ B_{kV} \end{bmatrix} = K_J \begin{bmatrix} A_{kR} \\ B_{kR} \end{bmatrix} + Y_J B_k \quad (15.35)$$

với

$$Y_J = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (15.36)$$



Hình 15.11

2) Bây giờ hãy xét hệ trục đĩa (- c - J -)

a) Trước hết xét hệ một trục hình 15.12a, với mặt cắt V sát bên phải đĩa J_k bên trái và mặt cắt R sát bên trái đĩa J_{k+1} bên phải của đoạn trục này.

Phương trình cân bằng lực của hệ con này là:

$$M_{kv} = M_{kr} \quad (15.37)$$

Ngoài ra :

$$M_{kr} = c_k(\varphi_{kv} - \varphi_{kr}) \quad (15.38)$$

với:

- M_{kv} , M_{kr} đều là momen xoắn trên đoạn trục c_k .
- φ_{kv} là toạ độ của đĩa J_k và φ_{kr} là toạ độ của đĩa J_{k+1} .

Thay (15.32) vào (15.37) và (15.38) được:

$$B_{kv} = B_{kr}$$

$$B_{kr} = c_k(A_{kv} - A_{kr})$$

hay:

$$A_{kv} = A_{kr} + \frac{1}{c_k} B_{kr}$$

$$B_{kv} = B_{kr}$$

hay:

$$\begin{Bmatrix} A_{kv} \\ B_{kv} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 & \frac{1}{c_k} \\ 0 & 1 \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} A_{kr} \\ B_{kr} \end{Bmatrix}$$

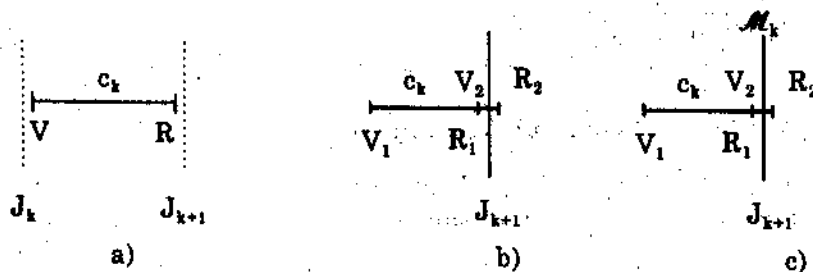
hay:

$$\begin{Bmatrix} A_{kv} \\ B_{kv} \end{Bmatrix} = K_c \begin{Bmatrix} A_{kr} \\ B_{kr} \end{Bmatrix}$$

với:

$$K_c = \begin{Bmatrix} 1 & \frac{1}{c_k} \\ 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad (15.39)$$

là ma trận chuyển của hệ con một trục.



b) Bây giờ từ các công thức của hệ một đĩa và hệ một trục ta hãy suy ra các công thức của hệ trục đĩa.

Trước hết xét trường hợp trên đĩa không đặt ngoại lực (hình 15.12b). Với các ký hiệu trên hình vẽ, ta có:

$$\begin{Bmatrix} A_{V1} \\ B_{V1} \end{Bmatrix} = K_c \begin{Bmatrix} A_{R1} \\ B_{R1} \end{Bmatrix} = K_c \begin{Bmatrix} A_{V2} \\ B_{V2} \end{Bmatrix} = K_c K_J \begin{Bmatrix} A_{R2} \\ B_{R2} \end{Bmatrix}$$

hay:

$$\begin{Bmatrix} A_{V1} \\ B_{V1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{c_k} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\Omega^2 J_{k+1} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} A_{R2} \\ B_{R2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{\Omega^2 J_{k+1}}{c_k} & \frac{1}{c_k} \\ -\Omega^2 J_{k+1} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} A_{R2} \\ B_{R2} \end{Bmatrix}$$

Do đó, ma trận chuyển K_{cJ} của hệ con trục đĩa (-c-J-) bằng:

$$K_{cJ} = \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{\Omega^2}{c_k} J_{k+1}\right) & \frac{1}{c_k} \\ -\Omega^2 J_{k+1} & 1 \end{bmatrix} \quad (15.40)$$

Nếu trên đĩa J_{k+1} có đặt momen ngoại lực (hình 15.12c) ta có (xem 15.35):

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} A_{V1} \\ B_{V1} \end{Bmatrix} &= K_c \begin{Bmatrix} A_{R1} \\ B_{R1} \end{Bmatrix} = K_c \begin{Bmatrix} A_{V2} \\ B_{V2} \end{Bmatrix} = K_c \left\{ K_J \begin{Bmatrix} A_{R2} \\ B_{R2} \end{Bmatrix} + Y_J \mathcal{B}_{k+1} \right\} \\ &= K_c K_J \begin{Bmatrix} A_{R2} \\ B_{R2} \end{Bmatrix} + K_c Y_J \mathcal{B}_{k+1} \end{aligned}$$

hay

$$\begin{Bmatrix} A_{V1} \\ B_{V1} \end{Bmatrix} = K_{cJ} \begin{Bmatrix} A_{R2} \\ B_{R2} \end{Bmatrix} + Y_{cJ} \mathcal{B}_{k+1} \quad (15.41)$$

với:

$$Y_{cJ} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{c_k} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

hay:

$$Y_{cJ} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{c_k} \\ -1 \end{bmatrix} \quad (15.42)$$

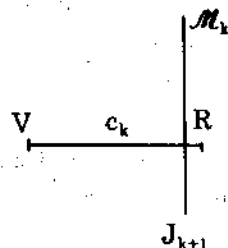
Véc tơ Y_{cJ} là véc tơ tác động của ngoại lực trên đĩa của hệ con trục đĩa (-c-J-).

Bây giờ nếu ký hiệu đầu vào của trục đĩa là V và đầu ra của nó là R (hình 15.13) thì công thức (15.41a) sẽ được viết lại như sau:

$$\begin{Bmatrix} A_V \\ B_V \end{Bmatrix} = K_{cJ} \begin{Bmatrix} A_R \\ B_R \end{Bmatrix} + Y_{cJ} \mathcal{B}_{k+1} \quad (15.43)$$

với K_{cJ} cho bằng (15.40)

và Y_{cJ} cho bằng (15.42)



Hình 15.13

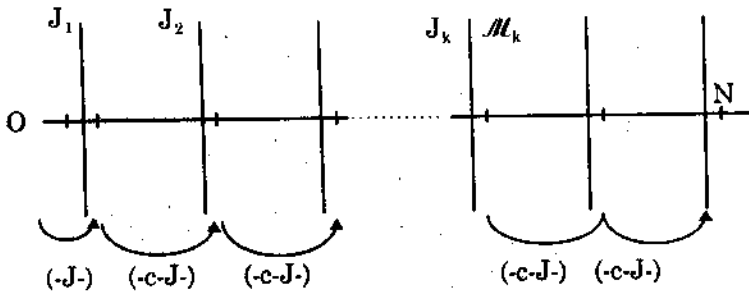
15.3.3. Dao động cưỡng bức và tải trọng động trên hệ ddx

Để xác định dao động cưỡng bức của một đĩa bất kỳ và tải trọng động trên một đoạn trục bất kỳ trên lược đồ của hệ ddx, trước hết ta hãy xác định các đặc trưng ở đầu vào và đầu ra của toàn bộ hệ ddx được xét, tức là xác định các đại lượng: A_0, B_0 và A_n, B_n với O là mặt cắt của đoạn trục c_0 nằm trước đĩa J_1 và sát bên trái đĩa J_1 và N là mặt cắt trên đoạn trục c_n nằm sau đĩa J_n và sát bên phải đĩa này.

Các đoạn trục c_0, c_n ta có thể thêm vào lược đồ mà không ảnh hưởng gì tới bài tính (hình 15.14).

Sau khi biết A_0, B_0, A_n, B_n ta sẽ dựa vào các giá trị này mà tính biên độ dao động cưỡng bức và biên độ tải trọng động trên toàn hệ.

1) Hãy chia hệ ddx ban đầu thành tập hợp các hệ con gồm hệ đĩa ($-J_1-$) và $(n-1)$ hệ trục đĩa ($-c_{i-1} - J_i-$) ($i = 2, \dots, n$) (hình 15.14). Chú ý là momen ngoại lực được đặt trên đĩa J_k bất kỳ.



Hình 15.14

Bây giờ xét hệ có đầu vào là mặt cắt O , với các phân tử của vectơ đặc trưng là A_0, B_0 và với đầu ra là mặt cắt K sát sau đĩa J_k với các phân tử của vectơ đặc trưng là A_k, B_k . Ta có (xem hình 15.14).

$$\begin{Bmatrix} A_0 \\ B_0 \end{Bmatrix} = K_{J_1} \begin{Bmatrix} A_1 \\ B_1 \end{Bmatrix} = K_{J_1} \left\{ K_{c_1 J_2} \begin{Bmatrix} A_2 \\ B_2 \end{Bmatrix} \right\} = K_{J_1} \left\{ K_{c_1 J_2} \left[\dots \left(K_{c_{k-2} J_{k-1}} \begin{Bmatrix} A_{k-1} \\ B_{k-1} \end{Bmatrix} \right) \right] \right\}$$

hay:

$$\begin{Bmatrix} A_0 \\ B_0 \end{Bmatrix} = K_{J_1} \prod_{i=1}^{k-2} K_{c_i J_{i+1}} \begin{Bmatrix} A_{k-1} \\ B_{k-1} \end{Bmatrix} \quad (15.44)$$

Vì trên đĩa J_k trong hệ con ($-c_{k-1} - J_k -$) có đặt ngoại lực do đó ta có (xem công thức (15.43)):

$$\begin{Bmatrix} A_{k-1} \\ B_{k-1} \end{Bmatrix} = K_{c_{k-1} J_k} \begin{Bmatrix} A_k \\ B_k \end{Bmatrix} + Y_{c_{k-1} J_k} \mathcal{B}_k \quad (15.45)$$

với:

$$K_{c_{k-1}J_k} = \begin{bmatrix} 1 - \Omega^2 \frac{J_k}{c_{k-1}} & \frac{1}{c_{k-1}} \\ -\Omega^2 J_k & 1 \end{bmatrix}; \quad Y_{c_{k-1}J_k} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{c_{k-1}} \\ -1 \end{bmatrix}$$

Ta lại có:

$$\begin{bmatrix} A_k \\ B_k \end{bmatrix} = K_{c_k J_{k+1}} \begin{bmatrix} A_{k+1} \\ B_{k+1} \end{bmatrix} = K_{c_k J_{k+1}} \left\{ K_{c_{k+1} J_{k+2}} \left\{ \dots \left\{ K_{c_{n-1} J_n} \begin{bmatrix} A_n \\ B_n \end{bmatrix} \right\} \dots \right\} \right\} \quad (15.46)$$

Thay (15.46) vào (15.45) rồi sau đó (15.44), cuối cùng được:

$$\begin{bmatrix} A_0 \\ B_0 \end{bmatrix} = K_{J_1} \left\{ \prod_{l=1}^{n-1} K_{c_l J_{l+1}} \begin{bmatrix} A_n \\ B_n \end{bmatrix} + \prod_{m=1}^{k-2} K_{c_m J_{m+1}} Y_{c_{k-1} J_k} \mathcal{B}_k \right\} \quad (15.47)$$

Vì hai đầu của hệ ddx được xét là hai đầu tự do nên:

$$B_0 = B_n = 0$$

Thay vào (15.47) ta được:

$$\begin{bmatrix} A_0 \\ 0 \end{bmatrix} = K_{J_1} \left\{ \prod_{l=1}^{n-1} K_{c_l J_{l+1}} \begin{bmatrix} A_n \\ 0 \end{bmatrix} + \prod_{m=1}^{k-2} K_{c_m J_{m+1}} Y_{c_{k-1} J_k} \mathcal{B}_k \right\} \quad (15.48)$$

trong đó, cần nhắc lại rằng:

$$K_{c_l J_{l+1}} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{\Omega^2}{c_l} J_{l+1} & \frac{1}{c_l} \\ -\Omega^2 J_{l+1} & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y_{c_{k-1} J_k} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{c_{k-1}} \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$K_{J_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\Omega^2 J_1 & 1 \end{bmatrix}$$

Gọi α_{ij} ($i = 1, 2; j = 1, 2$) là các phần tử của tích ma trận $K_{J_1} \prod_{l=1}^{n-1} K_{c_l J_{l+1}}$ và β_{ij} là các phần tử của tích ma trận $K_{J_1} \prod_{m=1}^{k-2} K_{c_m J_{m+1}}$ ($i = 1, 2; j = 1, 2$) thì (15.48) có thể viết lại như sau:

$$\begin{bmatrix} A_0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_n \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\frac{1}{c_{k-1}} \\ -1 \end{bmatrix} \mathcal{B}_k \quad (15.49)$$

Phương trình ma trận này tương đương với hai phương trình đại số sau:

$$\begin{cases} A_0 = \alpha_{11} A_n - \left(\frac{\beta_{11}}{c_{k-1}} + \beta_{12} \right) \mathcal{B}_k & (a) \\ 0 = \alpha_{21} A_n - \left(\frac{\beta_{21}}{c_{k-1}} + \beta_{22} \right) \mathcal{B}_k & (b) \end{cases} \quad (15.50)$$

Từ (15.50b) ta suy ra giá trị của A_n :

$$A_n = \frac{1}{\alpha_{21}} \left(\frac{\beta_{21}}{c_{k-1}} + \beta_{22} \right) B_k$$

Thay giá trị này của A_n vào (15.50a) sẽ suy ra được giá trị của A_0 .

2) Sau khi đã xác định được giá trị của A_0 và A_n , ta có thể suy ra giá trị của biên độ dao động cường bức của một đĩa bất kỳ và tải trọng động trên đoạn trục bất kỳ của lược đồ tính của hệ dầm được xét.

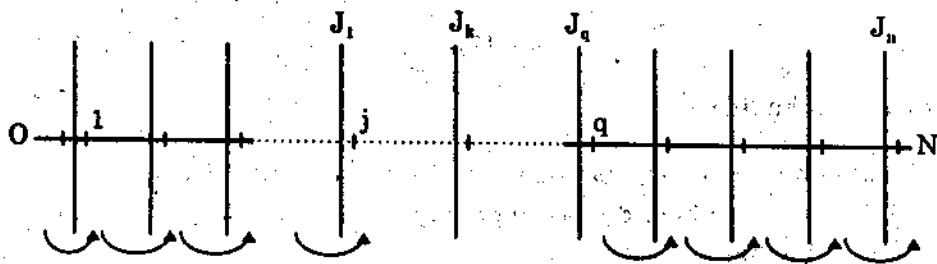
Để cho việc tính toán được đơn giản, đối với các đĩa và đoạn trục nằm trước (bên trái) đĩa J_k trên đó đặt ngoại lực, ta xuất phát từ mặt cắt O, tức là giá trị A_0 (vừa tính được) và $B_0 = 0$ để xác định biên độ dao động cường bức và tải trọng động. Còn đối với phần của lược đồ nằm sau đĩa J_k , ta xuất phát từ tiết diện N, tức là từ các giá trị A_n và $B_n = 0$. Ví dụ để xác định biên độ dao động cường bức A_j và tải trọng động trên đoạn trục c_j ($j < k$) ta có (hình 15.15):

$$\begin{Bmatrix} A_0 \\ 0 \end{Bmatrix} = K_{J_1} \prod_{l=1}^{j-1} K_{c_{lj+1}} \begin{Bmatrix} A_j \\ B_j \end{Bmatrix} \quad (15.51)$$

Đối với đĩa J_q và đoạn trục c_q ($q > k$), ta có (hình 15.16)

$$\begin{Bmatrix} A_q \\ B_q \end{Bmatrix} = \prod_{l=q}^{n-1} K_{c_{lj+1}} \begin{Bmatrix} A_n \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (15.52)$$

Mỗi phương trình ma trận (15.51), (15.52) cho ta hai phương trình đại số. Mỗi hệ hai phương trình đại số này cho phép ta xác định A_j, B_j hoặc A_q, B_q .



Hình 15.15

3) Trên đây ta đã giả thiết hai đầu ngoài cùng của lược đồ tính là các đầu tự do. Nếu một trong hai đầu này là đầu ngàm, thì sẽ có sự thay đổi trong phương trình (15.47).

a) Ví dụ nếu đĩa J_1 là đầu ngàm thì thay vì phương trình (15.47) ta có phương trình sau (hình 15.16):

$$\begin{Bmatrix} A_1 \\ B_1 \end{Bmatrix} = K_{J_1} \prod_{l=1}^{n-1} K_{c_{lj+1}} \begin{Bmatrix} A_n \\ B_n \end{Bmatrix} + \prod_{m=1}^{k-2} K_{c_{mj+1}} Y_{c_{k+1}J_k} B_k \quad (15.53)$$

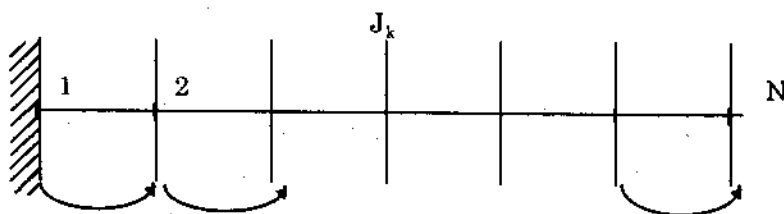
với $A_1 = 0$, $B_n = 0$, và $B_1 \neq 0$ cần được xác định.

b) Nếu đĩa J_n là đầu ngàm thì ta có phương trình sau (hình 15.17)

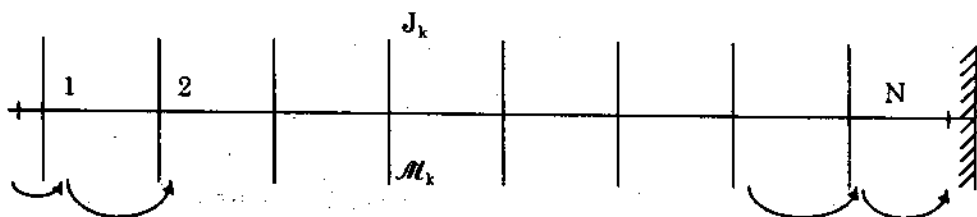
$$\begin{Bmatrix} A_0 \\ B_0 \end{Bmatrix} = K_{J_1} \left\{ \prod_{l=1}^{n-2} K_{c_l J_{l+1}} \left\{ K_{c_{n-1}} \begin{Bmatrix} A_n \\ B_n \end{Bmatrix} \right\} + \prod K_{c_m J_{m+1}} Y_{c_{k-1} J_k} B_k \right\} \quad (15.54)$$

Với N là mặt cắt sát bên trái đĩa J_n ; $K_{c_{n-1}}$ là ma trận của hệ con một trục có độ cứng c_{n-1} và ngoài ra ta còn có: $B_0 = 0$; $A_n = 0$; $B_n = B_{n-1} \neq 0$.

4) Nếu một đĩa J_p nào đó ($s < p < n$) trên lược đồ bị ngàm thì trong các công thức tính ta chỉ việc cho $A_p = 0$.



Hình 15.16



Hình 15.17

15.4. Giảm chấn cho hệ ddx

Các hệ ddx khi chịu kích động của ngoại lực biến thiên, nhiều khi có các biên độ dao động cường bậc khá lớn, các biên độ dao động này đặc biệt lớn khi hệ ở trạng thái cộng hưởng hay qua cộng hưởng.

Để giảm các biên độ dao động trong mọi trường hợp, người ta dùng các bộ giảm chấn. Trong chương này, ta nghiên cứu nguyên lý làm việc của các bộ phận giảm chấn dùng trong các hệ ddx và nguyên tắc thiết kế chúng. Các bộ giảm chấn dùng trong hệ ddx gồm nhiều loại, làm việc dựa trên nguyên tắc khác hẳn nhau:

1) Các bộ giảm chấn động lực học (còn gọi là các bộ tắt chấn động lực học), mỗi bộ giảm chấn loại này khi lắp lên một đĩa trong hệ ddx sẽ làm thay đổi momen quán tính của đĩa này, nhờ đó làm di chuyển dãy tần số riêng ra xa vùng cộng hưởng.

Mỗi bộ giảm chấn động lực học khi lắp lên trên một đĩa nào của hệ phải có tác dụng thay đổi momen quán tính của nó. Không thể giải quyết việc này bằng cách gắn thêm các khối lượng phụ lên đĩa được xét, vì làm như vậy momen quán tính không thay đổi được là bao, do đó ảnh hưởng không đáng kể đến giá trị của dãy tần số riêng.

Yêu cầu cơ bản đối với các bộ giảm chấn động lực học là với kết cấu gọn nhẹ, tạo được cho đĩa mang nó một momen quán tính thay thế có giá trị có thể khác rất nhiều so với momen quán tính của đĩa này khi chưa có bộ giảm chấn. Với các bộ giảm chấn động lực học, thực ra có thể tạo được các momen quán tính thay thế lớn vô cùng. Có hai kiểu giảm chấn động lực học: giảm chấn tuyến tính và giảm chấn con lắc.

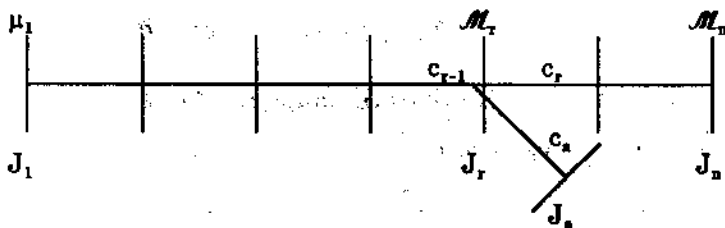
2) Các bộ giảm chấn ma sát (còn gọi là các bộ tiêu chấn) có tác dụng làm tiêu hao năng lượng gây dao động nhờ đó giảm bớt biên độ dao động cưỡng bức.

3) Các bộ giảm chấn phối hợp của hai kiểu trên.

Ngoài ra hiện nay người ta còn dùng các bộ giảm chấn phi tuyến lợi dụng các đặc tính của khâu đàn hồi phi tuyến để giảm biên độ dao động xoắn.

15.4.1. Bộ giảm chấn tuyến tính

Xét một hệ ddx tuyến tính có lược đồ dầy, chịu tác động của các momen ngoại lực M_i là các hàm điều hoà và đang ở trạng thái cộng hưởng. Để dập tắt hiện tượng cộng hưởng này, ta có thể dùng một bộ giảm chấn tuyến tính gồm một đĩa phụ có momen quán tính J_a nối với một đĩa J_r (mà ta chọn theo một nguyên tắc sẽ được phân tích sau) bằng một khâu đàn hồi có độ cứng c_a . Sau khi lắp bộ giảm chấn tuyến tính lên đĩa J_r , lược đồ dầy ban đầu sẽ trở thành một lược đồ có nhánh, chỗ phân nhánh chính là đĩa J_r (hình 15.18) số bậc tự do của lược đồ cũng tăng lên một đơn vị và bằng $(n+1)$. Ta sẽ chứng minh rằng hệ $(n+1)$ bậc tự do này tương đương với lược đồ n bậc tự do giống lược đồ ban đầu, chỉ khác là đĩa J_r bấy giờ có một momen quán tính thay thế $I_r \neq J_r$ và có thể đạt giá trị tùy ý theo các thông số của bộ giảm chấn J_a , c_a và tần số lực cưỡng bức.



Hình 15.18

1. Momen quán tính thay thế của đĩa có lắp bộ giảm chấn tuyến tính

a) Hãy viết phương trình chuyển động của lược đồ hình 15.18:

$$\begin{aligned}
 J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_1(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_1 \\
 J_2 \ddot{\varphi}_2 - c_1(\varphi_1 - \varphi_2) + c_2(\varphi_2 - \varphi_3) &= M_2 \\
 \dots &\dots \\
 J_r \ddot{\varphi}_r - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) + c_a(\varphi_r - \varphi_a) &= M_r(a) \\
 J_a \ddot{\varphi}_a - c_a(\varphi_r - \varphi_a) &= 0(b) \\
 \dots &\dots \\
 J_n \ddot{\varphi}_n - c_{n-1}(\varphi_{n-1} - \varphi_n) &= M_n
 \end{aligned}
 \quad (15-55)$$

Trong hệ phương trình trên φ_a là toạ độ của đĩa phụ J_a .

b) Giả thiết hệ cộng hưởng ở cấp j với tần số thứ s :

$$j\omega = p_s$$

Ta có thể lấy:

$$M_k = M_{kj} = B_{kj} \sin j\omega t$$

Nghiệm của hệ phương trình (15.55) khi đó có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_k &= A_{kj} \sin(j\omega t + \gamma) \\ (k=1, 2, \dots, n) \\ \varphi_n &= A_{nj} \sin(j\omega t + \gamma) \end{aligned} \right\} \quad (15.56)$$

và ta có:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\varphi}_r &= -j^2 \omega^2 \varphi_r \\ \ddot{\varphi}_a &= -j^2 \omega^2 \varphi_a \end{aligned} \right\} \quad (15.57)$$

hay:

$$\frac{\ddot{\varphi}_a}{\ddot{\varphi}_r} = \frac{\varphi_a}{\varphi_r} \quad (15.58)$$

Hãy xét riêng hai phương trình 15.55a,b. Cộng hai phương trình này lại với nhau ta được:

$$J_r \ddot{\varphi}_r + J_a \ddot{\varphi}_a - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) = M_r$$

Thay (15.58) vào phương trình này được:

$$(J_r + J_a \frac{\varphi_a}{\varphi_r}) \ddot{\varphi}_r - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) = M_r \quad (15.59)$$

Cũng trong phương trình (15.55b) thay $\ddot{\varphi}_a$ bằng (15.57) ta sẽ được:

$$-j^2 \omega^2 J_a \varphi_a - c_a(\varphi_r - \varphi_a) = 0$$

hay :

$$(c_a - j^2 \omega^2 J_a) \varphi_a - c_a \varphi_r = 0$$

Do đó:

$$\frac{\varphi_a}{\varphi_r} = \frac{c_a}{c_a - j^2 \omega^2 J_a}$$

Đặt:

$$\alpha^2 = \frac{c_a}{J_a} \quad (15.60)$$

α gọi là hệ số chỉnh của bộ giảm chấn động lực học, ta có:

$$\frac{\varphi_a}{\varphi_r} = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - j^2 \omega^2} \quad (15.61)$$

Thay (15.61) vào (15.59) được:

$$\left(J_r + J_a \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - j^2 \omega^2} \right) \ddot{\varphi}_r - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) = M_r$$

Nếu đặt

$$I_r = \left(J_r + J_n \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - j^2 \omega^2} \right) \quad (15.62)$$

thì phương trình (15.59) sẽ trở thành:

$$I_r \ddot{\varphi}_r - c_{r-1}(\dot{\varphi}_{r-1} - \dot{\varphi}_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) = M_r \quad (15.63)$$

Phương trình (15.63) không chứa $\varphi_n, \ddot{\varphi}_n$ và tương đương với hệ hai phương trình (15.55a và b); thay (15.63) cho (15.55,b) trong (15.55), cuối cùng sẽ được một hệ n phương trình sau đây:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_1(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_1 \\ \vdots &\vdots \\ I_r \ddot{\varphi}_r - c_{r-1}(\dot{\varphi}_{r-1} - \dot{\varphi}_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) &= M_r \\ \vdots &\vdots \\ J_n \ddot{\varphi}_n - c_{n-1}(\dot{\varphi}_{n-1} - \dot{\varphi}_n) &= M_n \end{aligned} \right\} \quad (15.64)$$

Như vậy phương trình chuyển động của hệ có lắp bộ giảm chấn tuyến tính trên đĩa J_r cũng có dạng như phương trình chuyển động của hệ khi chưa lắp bộ giảm chấn, chỉ khác một điều là momen quán tính của đĩa thứ r bây giờ được thay bằng momen quán tính thay thế I_r , có giá trị xác định bằng công thức (15.62), theo công thức này I_r phụ thuộc tần số kích động và hệ số chỉnh.

2. Thiết kế bộ giảm chấn động lực học tuyến tính

a) Chọn đĩa lắp bộ giảm chấn tuyến tính:

Bộ giảm chấn động lực học lắp lên đĩa nào sẽ có tác dụng làm cho đĩa đó có một momen quán tính thay thế có thể lớn tùy ý theo giá trị hệ số chỉnh; thật vậy khi hệ số chỉnh bằng:

$$\alpha = \alpha^* = j\omega$$

thì theo (15.62), momen quán tính I_r sẽ bằng vô cùng.

Việc thay đổi momen quán tính của đĩa r (thay J_r bằng I_r) nhằm làm dịch chuyển dãy tần số riêng của hệ ddx được xét. Nhưng dãy tần số riêng có dịch chuyển đi hay không và dịch chuyển đi nhiều hay ít, điều này còn phụ thuộc cả vị trí đĩa lắp bộ giảm chấn và dạng dao động chính ứng với chế độ cộng hưởng được xét. Thật vậy, nếu trong dạng dao động chính $p_r = j\omega$ được xét, đĩa J_r là một điểm nút thì dù có thay đổi momen quán tính của nó đi bao nhiêu, tình hình cũng không có gì khác so với trước, (ngay cả khi ta lấy $\alpha = j\omega$, tức là $I_r = \infty$). Vậy muốn tác dụng của bộ giảm chấn lớn nhất, ta phải lắp nó lên đĩa ở xa điểm nút (trong dạng dao động chính $p_r = j\omega$) nhất. Việc xác định điểm nút trong một dạng dao động chính đã cho đã được trình bày ở trên.

b) Chọn hệ số chỉnh:

Giả sử hệ ddx (khi chưa lắp bộ giảm chấn động lực học) đang cộng hưởng ở cấp j với tần số p_r . Gọi $[\omega_{\min}, \omega_{\max}]$ là miền thay đổi của ω do độ không đều của chuyển động, miền cộng hưởng khi đó là một dải E giới hạn giữa hai giá trị $j\omega_{\max}, j\omega_{\min}$. Theo giả thiết, $p_r \in E$. Để xác định hệ số chỉnh ta dùng đồ thị cho quan hệ $p_r(I_r)$, phương pháp xây dựng đồ thị này đã được trình bày ở trên. Ta phân biệt các trường hợp sau:

1°. $(p_{s-1}^*)_r < j\omega_{\min} < j\omega_{\max} < (p_{s+1}^*)_r$ (hình 15.19a), $(p_{s-1}^*)_r, (p_{s+1}^*)_r$ lần lượt là các giá trị của p_{s-1}, p_{s+1} khi cho $I_r = \infty$. Để dập tắt chế độ cộng hưởng $p_s = j\omega$, ta thấy cần lấy hệ số chỉnh α sao cho:

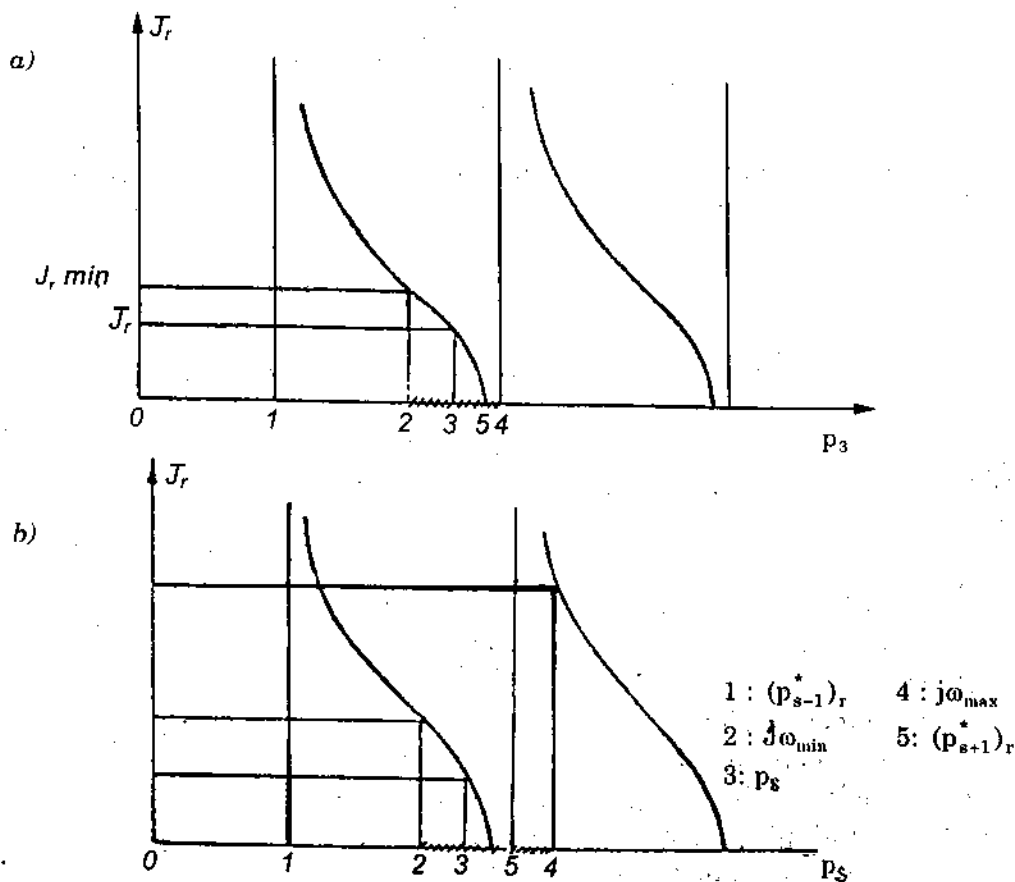
$$I_{r\min} < I_r < \infty$$

$I_{r\min}$ là giá trị của I_r ứng với $p_s = j\omega_{\min}$

2°. $(p_{s-1}^*)_r < j\omega_{\max}$ (hình 15.19b)^(*). Để dập tắt chế độ cộng hưởng $p_s = j\omega$, ta phải lấy hệ số chỉnh sao cho:

$$I_{r\min} < I_r < I_{r\max}$$

Việc chọn $I_r < I_{r\max}$ nhằm tránh đưa tần số p_{s+1} vào trong dải E.



Hình 15.19

c) Biến dạng xoắn của bộ giảm chấn

Khi thiết kế bộ giảm chấn tuyến tính, ngoài việc chọn hợp lý đĩa lắp bộ giảm chấn và hệ số chỉnh, còn cần đảm bảo độ bền cho khâu đàn hồi c_n của bộ giảm chấn, cụ thể là phải đảm bảo biên độ biến dạng xoắn của khâu đàn hồi này không lớn quá một giới hạn nhất định. Ta sẽ kiểm tra biên độ biến dạng xoắn của khâu đàn hồi c_n trong hai trường hợp: $\alpha = \alpha^* = j\omega$; $\alpha \neq j\omega$.

(*) Trường hợp $(p_{s-1}^*)_r > j\omega_{\min}$ cũng tương tự như trường hợp này.

1°. Trường hợp $\alpha \neq j\omega$:

Trong trường hợp này, vì $I_r < \infty$ nên đĩa I_r không trở thành một điểm nút và do đó có một biên độ dao động nhất định. Gọi A_{rj} , A_{aj} lần lượt là các biên độ dao động của đĩa J_r và của đĩa J_a thuộc bộ giảm chấn tuyến tính thì biên độ biến dạng xoắn của khâu đàn hồi c_a của bộ giảm chấn bằng:

$$\Delta A = A_{aj} - A_{rj}$$

Thay (15.56) vào (15.61) ta được:

$$\frac{A_{aj}}{A_{rj}} = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - j^2\omega^2}$$

Từ đó suy ra:

$$\frac{A_{aj} - A_{rj}}{A_{rj}} = \frac{j^2\omega^2}{\alpha^2 - j^2\omega^2}$$

hay:

$$A_{aj} - A_{rj} = A_{rj} \frac{j^2\omega^2}{\alpha^2 - j^2\omega^2}$$

hay:

$$\Delta A = A_{rj} \frac{j^2\omega^2}{\alpha^2 - j^2\omega^2}$$

Để tính ΔA , cần tính A_{rj} biên độ dao động cường bức của đĩa thứ r (có momen quán tính $I_r \neq J_r$). Có thể tính A_{rj} theo phương pháp ma trận đã trình bày ở trên.

2°. Trường hợp $\alpha = \alpha^* = j\omega$

Lúc này $I_r = \infty$ và đĩa J_r trở thành một điểm nút. Biên độ biến dạng xoắn của khâu đàn hồi c_a cùng bằng biên độ dao động xoắn của đĩa J_a . Vì đĩa J_r là một điểm nút nên:

$$\varphi_r = \varphi_r = 0$$

Thay vào (15.55a), ta sẽ được:

$$-c_a \varphi_a = c_{r-1} \varphi_{r-1} + c_r \varphi_{r+1} + M_r$$

Đặt

$$M_r = B_r \sin j\omega t$$

$$\varphi_k = A_r \sin j\omega t$$

và thay vào trên, suy ra được:

$$\Delta A = - \frac{B_r + c_r A_{r+1j} + c_{r-1} A_{r-1j}}{c_a}$$

d) Dãy tần số riêng sau khi lắp bộ giảm chấn động lực học tuyến tính

Theo công thức (15.62), I_r phụ thuộc $j\omega$ và α . Khi cho $j\omega$ và α các giá trị tương ứng nhất định thì I_r bằng hằng và đường thẳng có tung độ I_r cắt các nhánh đường cong $p_l(I_r)$ ($l = 1, 2, \dots, n-1$) ở $(n-1)$ điểm có hoành độ là p'_l ($l = 1, 2, \dots, n-1$). Tuy nhiên trong cả dãy p_l này chỉ có giá trị p_s là đáng quan tâm. Thật vậy, ứng với một giá trị $p'_l \neq p'_s$ hiện

tượng cộng hưởng sẽ xảy ra với một giá trị $j\omega$ khác tức là hoặc với $j' \neq j$, hoặc với $\omega' \neq \omega$ thoả mãn:

$$p_i' = j'\omega$$

$$p_i' = j\omega'$$

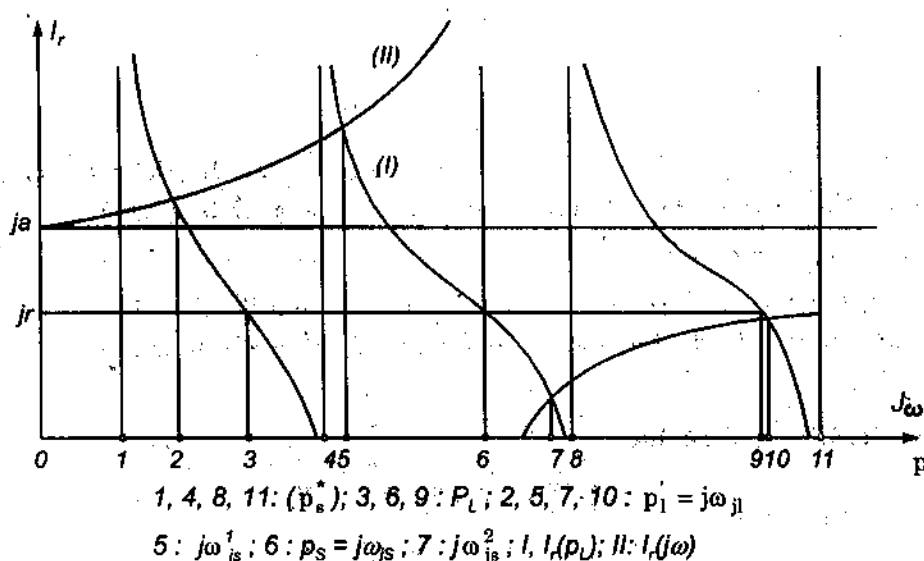
Nhưng với giá trị mới của $j\omega$ này, I_r cũng sẽ khác trước và ứng với giá trị I_r mới này sẽ có một dãy giao điểm khác và khi đó p_i' không còn là tần số riêng của hệ nữa.

Để xác định dãy tần số riêng của hệ ứng với các cấp cộng hưởng hoặc các tần số kích động khác nhau, ta cho $j\omega$ biến thiên và vẽ đường cong $I_r(j\omega)$. Đường cong này cắt các nhánh đường cong $p_i(I_r)$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$) ở các điểm mà các hoành độ là các giá trị tần số riêng cần tìm p_i' (n giao điểm)

$$p_i' = j\omega_{ji}$$

Các vận tốc tới hạn cần tránh như vậy bằng:

$$\omega_{jc} = \frac{p_i}{j}$$



Hình 15.20

Trên hình (15.20) là các đường cong $I_r(p_i)$ và đường cong $I_r(j\omega)$ khi lấy hệ số chỉnh bằng:

$$\alpha = \alpha^* = j\omega_{js} = p_s$$

và các giá trị tần số riêng ứng với các chế độ cộng hưởng khác nhau.

15.4.2. Bộ giảm chấn con lắc

Bộ giảm chấn con lắc là một con lắc được treo lên một đĩa của hệ ddx theo một quy cách nhất định. Trên hình 15.21 là một số sơ đồ nguyên tắc của các bộ giảm chấn con lắc tùy theo cách treo con lắc: bộ giảm chấn con lắc trong (hình 15.21a), bộ giảm chấn con lắc ngoài (hình 15.21b), và bộ giảm chấn con lắc hai điểm treo (hình 15.21c). Bộ giảm chấn con lắc hai điểm treo mà sau đây ta gọi tắt là bộ giảm chấn con lắc là loại được

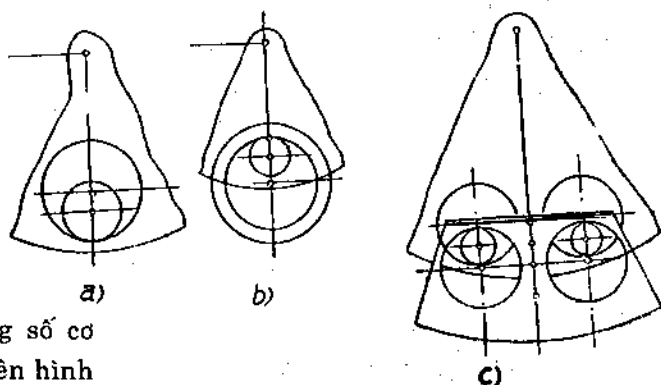
dùng nhiều nhất. Dưới đây ta sẽ nghiên cứu nguyên lý làm việc và cách thiết kế loại bộ giảm chấn này.

1. Momen quán tính thay thế của đĩa có treo bộ giảm chấn con lắc

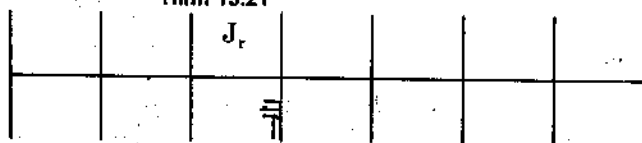
a) Xét một hệ ddx tuyến tính có lược đồ dây (hình 15.22), ở đĩa J_r của lược đồ này có treo một bộ giảm chấn con lắc có nhiệm vụ dập tắt chế độ cộng hưởng cấp j với tần số riêng p_j . Để xác định momen quán tính thay thế I_r của đĩa thứ r , ta hãy viết hệ phương trình chuyển động của hệ ddx được xét.

Phương trình chuyển động của các đĩa J_k ($k=1,2, \dots, n$; $k \neq r$) không có gì khác trước khi lắp bộ giảm chấn lên đĩa J_r . Do đó chỉ cần xét cách viết các phương trình chuyển động của đĩa J_r và con lắc. Ta sẽ dùng phương trình Lagrănggiơ II.

Trước hết hãy xét các thông số cơ bản của bộ giảm chấn con lắc. Trên hình 15.23 là sơ đồ đĩa J_r , trên đó có treo con lắc. Trên đĩa J_r có khoét hai lỗ có bán kính R , có các tâm O_1, O_1' cách nhau một khoảng h , và có điểm giữa là A , trên con lắc cũng khoét hai lỗ có tâm O_3, O_3' , có bán kính R , có tâm O_3, O_3'



Hình 15.21



Hình 15.22

cách nhau một khoảng h và có điểm giữa là C . Dùng hai chốt có bán kính r xỏ qua hai cặp lỗ của đĩa và con lắc để treo con lắc lên đĩa.

Gọi khoảng cách từ tâm O của đĩa đến điểm A là l_1 , và khoảng cách từ điểm C tới tâm S của đĩa là l_2 . Khoảng cách AC gọi là $2l$. Từ hình vẽ ta có:

$$AC = 2l = 2(R-r)$$

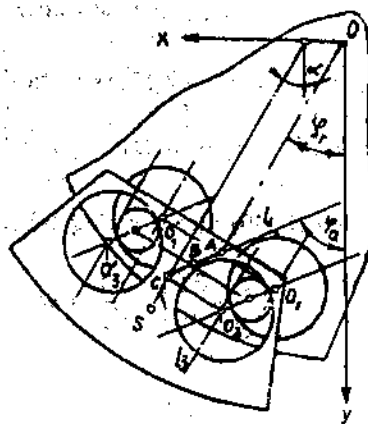
Bây giờ hãy viết biểu thức động năng của hệ đĩa J_r và con lắc. Gọi Oxy là hệ toạ độ cố định, φ_r là toạ độ góc của đĩa J_r , trên hình vẽ ta có:

$$\varphi_r = AOy$$

Do cách treo như trên hình vẽ ta có $CS \parallel OA$ vì vậy φ_r cũng là toạ độ góc của con lắc.

Gọi φ_n là góc làm giữa phương AC và trục Oy , góc φ_n cho phép ta xác định vị trí của điểm C .

Nếu xét một hệ toạ độ quay với vận tốc bằng vận tốc trung bình ω của trục trên lược đồ và θ_r và θ_n lần lượt là toạ độ góc của đĩa J_r , vectơ $\vec{AC}$ trong hệ toạ độ này, ta có:



Hình 15.23

$$\varphi_r = \omega_t + \theta_r; \varphi_a = \omega_t + \theta_a \quad (15.65)$$

gọi J_s là momen quán tính của con lắc đối với trọng tâm S, m_a là khối lượng của nó, T_a , T_r , T_r' lần lượt là động năng của con lắc, của đĩa J_r và của hệ đĩa J_r và con lắc ta có:

$$\begin{aligned} T_a &= \frac{1}{2}(J_s \dot{\varphi}_r^2 + m_a v_s^2) \\ T_r &= \frac{1}{2} J_s \dot{\varphi}_r^2 \\ T_r' &= \frac{1}{2} [(J_s + J_r) \dot{\varphi}_r^2 + m_a v_s^2] \end{aligned} \quad (15.66)$$

$$\text{với} \quad v_s^2 = \dot{x}_s + \dot{y}_s \quad (15.67)$$

Ta có:

$$\vec{OS} = \vec{OA} + \vec{AC} + \vec{CS}$$

Do đó:

$$\begin{aligned} x_s &= OA \sin \varphi_r + AC \sin \varphi_a + CS \sin \varphi_r \\ y_s &= OA \cos \varphi_r + AC \cos \varphi_a + CS \cos \varphi_r \end{aligned}$$

hay:

$$\begin{aligned} x_s &= (l_1 + l_2) \sin \varphi_r + 2l \sin \varphi_a \\ y_s &= (l_1 + l_2) \cos \varphi_r + 2l \cos \varphi_a \end{aligned}$$

Do đó:

$$\begin{aligned} \dot{x}_s &= (l_1 + l_2) \cos \varphi_r \cdot \dot{\varphi}_r + 2l \cos \varphi_a \cdot \dot{\varphi}_a \\ \dot{y}_s &= -(l_1 + l_2) \sin \varphi_r \cdot \dot{\varphi}_r - 2l \sin \varphi_a \cdot \dot{\varphi}_a \end{aligned}$$

Thay các biểu thức này của x_s và y_s vào (15.67), được:

$$v_s^2 = (l_1 + l_2)^2 \dot{\varphi}_r^2 + 4l^2 \dot{\varphi}_a^2 + 4(l_1 + l_2) \dot{\varphi}_a \dot{\varphi}_r \cos(\varphi_r - \varphi_a) \quad (15.68)$$

Thay (15.68) vào (15.66), ta được:

$$2T_r' = \left\{ J_r + J_s + m_a(l_1 + l_2)^2 \right\} \dot{\varphi}_r^2 + 4m_a l^2 \dot{\varphi}_a^2 + 4m_a(l_1 + l_2) l \dot{\varphi}_a \dot{\varphi}_r \cos(\varphi_r - \varphi_a) \quad (15.69)$$

Thay (15.69) vào phương trình Lagrănggiơ II:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q_i$$

với:

$$q_1 = \varphi_r, q_2 = \varphi_a$$

$$Q_1 = M_r - c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) + c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r); Q_2 = 0$$

$$\ddot{\theta}_a = \ddot{\theta}_r \frac{\theta_a}{\theta_r} \quad (15.76)$$

Xét riêng cặp phương trình (15.73a,b); thay (15.75), (15.76) vào các phương trình này, suy ra:

$$\ddot{\theta}_r \left\{ J_s + J_r + m_a(l_1 + l_2)^2 + 2m_a l(l_1 + l_2) \frac{\theta_a}{\theta_r} - 2m_a l(l_1 + l_2) \frac{1}{j^2} \left(1 - \frac{\theta_a}{\theta_r} \right) \right\} - c_{r-1}(\theta_{r-1} - \theta_r) + c_r(\theta_r - \theta_{r+1}) = \mathcal{M}_r \quad (15.77)$$

$$\ddot{\theta}_r \left\{ 4m_a l^2 \frac{\theta_a}{\theta_r} + 2m_a l(l_1 + l_2) + 2m_a l(l_1 + l_2) \frac{1}{j^2} \left(1 - \frac{\theta_a}{\theta_r} \right) \right\} = 0 \quad (15.78)$$

Xét phương trình (15.78): vì $\ddot{\theta}_r$ luôn khác không nên ta phải có:

$$4m_a l^2 \frac{\theta_a}{\theta_r} + 2m_a l(l_1 + l_2) + 2m_a l(l_1 + l_2) \frac{1}{j^2} \left(1 - \frac{\theta_a}{\theta_r} \right) = 0$$

Từ đó suy ra:

$$\frac{\theta_a}{\theta_r} = \frac{(l_1 + l_2)(1 - j^2)}{l_1 + l_2 - 2lj^2}$$

Thay biểu thức này của $\frac{\theta_a}{\theta_r}$ vào (15.77) sau khi ước lược ta được:

$$\ddot{\theta}_r \left\{ J_r + J_s + \frac{m_a(l_1 + l_2 + 2l)^2 \frac{l_1 + l_2}{2l}}{\frac{l_1 + l_2}{2l} - j^2} \right\} - c_{r-1}(\theta_{r-1} - \theta_r) + c_r(\theta_r - \theta_{r+1}) = \mathcal{M}_r \quad (15.79)$$

Đặt:

$$\left. \begin{aligned} \frac{l_1 + l_2}{2l} &= \alpha^2 \text{ (a)} \\ m_a(l_1 + l_2 + 2l)^2 &= J_a \text{ (b)} \end{aligned} \right\} \quad (15.80)$$

α gọi là hệ số chỉnh của bộ giảm chấn con lắc, và

$$I_r = J_r + J_s + J_a \frac{\frac{l_1 + l_2}{2l}}{\frac{l_1 + l_2}{2l} - j^2}$$

hay:

$$I_r = J_r + J_s + J_a \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - j^2} \quad (15.81)$$

Thì từ (15.79), ta sẽ có:

$$I_r \ddot{\theta}_r - c_{r-1}(\theta_{r-1} - \theta_r) + c_r(\theta_r - \theta_{r+1}) = \mathcal{M}_r \quad (15.82)$$

Phương trình trên suy ra từ cặp phương trình (15.73a,b) do đó tương đương với cặp phương trình này. Hệ phương trình chuyển động của hệ ddx có treo con lắc trên đĩa J_r như vậy là:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \ddot{\theta}_1 + c_1(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) &= M_1 \\ I_r \ddot{\theta}_r - c_{r-1}(\dot{\theta}_{r-1} - \dot{\theta}_r) + c_r(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}_{r+1}) &= M_r \\ J_n \ddot{\theta}_n - c_{n-1}(\dot{\theta}_{n-1} - \dot{\theta}_n) &= M_n \end{aligned} \right\} \quad (15.83)$$

Đại lượng I_r tính theo công thức (15.81) là momen quán tính thay thế của đĩa có lắp bộ giảm chấn con lắc; khác với trường hợp bộ giảm chấn tuyến tính (có I_r phụ thuộc ω) ở đây momen quán tính thay thế I_r chỉ phụ thuộc cấp công hưởng j .

2. Thiết kế bộ giảm chấn con lắc:

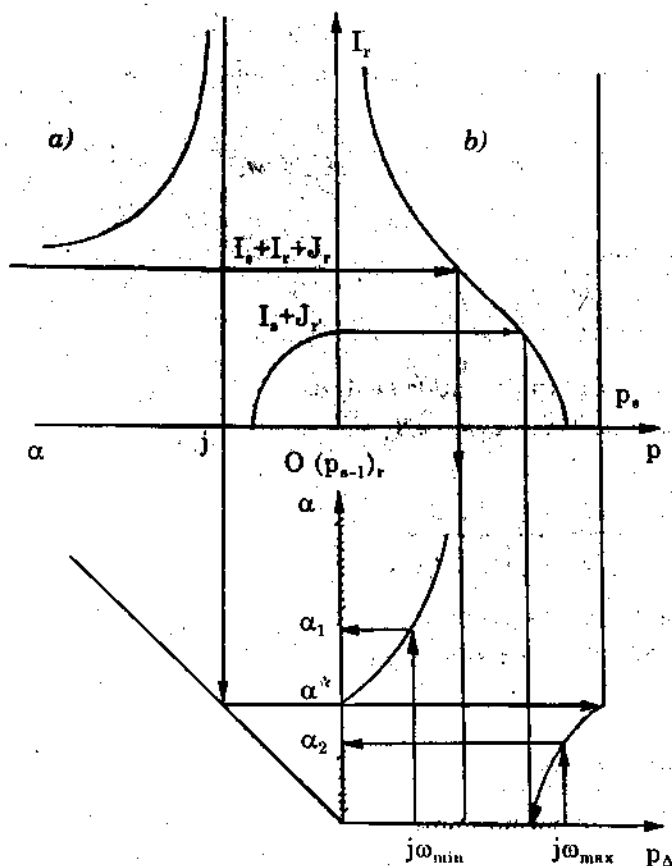
Việc chọn đĩa lắp bộ giảm chấn con lắc cũng theo những nguyên tắc đã nêu ở trên ta chỉ còn cần làm các việc sau:

a) Chọn hệ số chính:

Giả thử hệ ddx đang cộng hưởng ở cấp j với tần số p_n . Để dập tắt chế độ cộng hưởng này ta phải dịch p_n ra khỏi miền cộng hưởng cấp j giới hạn giữa hai giá trị $j\omega_{\min}$, $j\omega_{\max}$. Để chọn hệ số chỉnh thoả mãn điều kiện trên, ta sẽ dùng đồ thị $p_n(\alpha)$ được lập như sau:

1°. Đồ thị $p_-(\alpha)$

Trước hết vẽ đồ thị $I_r(\alpha)$, đường cong này có một tiệm cận đứng $\alpha = j$ (j cấp cộng hưởng là một số nguyên). Bên cạnh đồ thị này vẽ đồ thị $p_s(I_r)$. Từ hai đồ thị này loại I_r , sẽ được đồ thị $p_s(\alpha)$, (xem hình 15.24).



Hình 15.24

2°. Chọn hệ số chỉnh:

Từ đồ thị 15.24c, ta thấy muốn dập tắt chế độ cộng hưởng cấp j với tần số p_* , ta phải đẩy p_* tới một giá trị $p_*(^{(1)})$ bé hơn $j_{\min}$ hoặc tới một giá trị $p_*(^{(2)})$ lớn hơn $j_{\max}$.

Trên đồ thị hình 15.24c, ta thấy, muốn cho $p_* = p_*(^{(1)}) < j_{\min}$ thì phải lấy $\alpha < \alpha_1$, và muốn cho $p_* = p_*(^{(2)}) > j_{\max}$ thì phải lấy $\alpha > \alpha_2$.

Như vậy có thể lấy α sao cho: $\alpha_2 < \alpha < \alpha_1$

Nếu lấy $\alpha = \alpha^* = j$ (giá trị tới hạn) thì p_* sẽ được đẩy ra xa miền cộng hưởng nhất. Nhưng khi đó đĩa J_r sẽ thành một điểm nút, và chỉ cần ω thay đổi chút ít là pha của dao động con lắc đổi chiều và sẽ gây ra va đập. Do đó nên lấy $\alpha \neq \alpha^*$.

b) Xác định khối lượng con lắc

Toàn bộ lý thuyết về bộ giảm chấn động lực học con lắc dựa trên giả thiết góc θ_* khá nhỏ (θ_* trong công thức (15.65)), tức là biên độ dao động A_{*j} của nó bé hơn một giá trị khá nhỏ nhất định nào đó. Muốn vậy, khối lượng con lắc phải được chọn một cách hợp lý.

Khi lấy hệ số chỉnh bằng hệ số chỉnh tới hạn, đĩa J_r sẽ trở thành điểm nút và biên độ dao động A_{*j} của θ_* sẽ lớn nhất, do đó ta sẽ kiểm tra biên độ dao động A_{*j} trong chế độ tới hạn này. Vì lúc này J_r trở thành điểm nút nên:

$$\ddot{\theta}_r = \theta_r = 0$$

Thay các giá trị này của $\ddot{\theta}_r$ và θ_r vào (15.73a), sẽ được:

$$2m_*l(l_1 + l_2)\ddot{\theta}_a - 2m_*l(l_1 + l_2)\omega^2\theta_a - c_{r-1}\theta_{r-1} - c_r\theta_{r+1} = \mathcal{M}_r \quad (15.84)$$

hay:

$$2m_*l(l_1 + l_2)(\ddot{\theta}_a - \omega^2\theta_a) - c_{r-1}\theta_{r-1} - c_r\theta_{r+1} = \mathcal{M}_r$$

Đặt:

$$\mathcal{M}_r = \mathcal{B}_{rj} \sin(j\omega t + \gamma)$$

$$\varphi_a = A_{*j} \sin(j\omega t + \gamma)$$

$$\varphi_r = A_{rj} \sin(j\omega t + \gamma)$$

và thay vào (15.84), thì sau khi ước lược sẽ được:

$$2m_*l(l_1 + l_2)\omega^2(1+j^2)A_{*j} = -(\mathcal{B}_{rj} + c_{r-1}A_{r-1,j} + c_rA_{r+1,j})$$

do đó:

$$A_{*j} = \frac{\mathcal{B}_{rj} + c_{r-1}A_{r-1,j} + c_rA_{r+1,j}}{2m_*l(l_1 + l_2)\omega^2(1+j^2)} \quad (15.85)$$

Nếu cho trước một giá trị cực đại cho phép của A_{*j} , có thể suy ra khối lượng m_* cần thiết của con lắc: từ (15.85) và từ điều kiện:

$$A_{*j} \leq A_{*j\max}$$

ta có:

$$m_* \geq \frac{\mathcal{B}_{rj} + c_{r-1}A_{r-1,j} + c_rA_{r+1,j}}{2l(l_1 + l_2)\omega^2(1+j^2)A_{*j\max}} \quad (15.86)$$

trong công thức (15.86) các giá trị $\mathcal{B}_{rj}$, c_{r-1} , c_r , l , l_1 , l_2 , ω , j và $A_{*j\max}$ được cho trước, do đó để tính m_* , cần tính được $A_{r-1,j}$ và $A_{r+1,j}$. Khi tính phải coi đĩa J_r là điểm ngàm.

3. Chú thích:

a) Trên đây ta đã xét trường hợp hệ ddx có một bộ giảm chấn con lắc. trong thực tế để dập tắt nhiều chế độ cộng hưởng khác nhau người ta có thể lắp lên hệ ddx nhiều bộ giảm chấn con lắc lên một đĩa hay nhiều đĩa khác nhau, điều này phụ thuộc vào chế độ cộng hưởng cần dập tắt và vị trí điểm nút trong dạng dao động chính ứng với chế độ cộng hưởng được xét này.

1^o. Nếu có nhiều bộ giảm chấn con lắc cùng được lắp lên một đĩa ví dụ đĩa J_r momen quán tính thay thế đĩa này khi xét cấp cộng hưởng $j_k \omega$ là:

$$I_{rk} = J_r + \sum_{k=1}^q J_{sk} + \sum_{k=1}^q \frac{J_{sk}}{1 - \frac{j_k^2}{\alpha_k^2}} \quad (15.87)$$

trong đó: q - số bộ giảm chấn con lắc lắp trên đĩa J_k ; $j_k \in \{j_k\}$ ($k = 1, 2, \dots$; $j_1 \neq j_2 \neq \dots$; α_k - hệ số chỉnh của bộ giảm chấn con lắc thứ k).

Để xác định hệ số chỉnh α của từng bộ giảm chấn con lắc, ta làm như sau: Trong tổng số q bộ giảm chấn, ta cho $(q-1)$ bộ giảm chấn giá trị hệ số chỉnh tới hạn và vẽ đường cong $p_n(\alpha_k)$ cho bộ giảm chấn còn lại, rồi dùng đường cong này để xác định hệ số chỉnh của nó. Sau khi đã có hệ số chỉnh này, lại cho $(q-2)$ bộ giảm chấn [trong số $(q-1)$ bộ chưa được xác định hệ số chỉnh, giá trị hệ số chỉnh tới hạn, và xác định hệ số chỉnh của bộ thứ $(q-1)$. Cứ làm tiếp như vậy cho đến hết.

Ví dụ trên đĩa J_r có lắp hai bộ giảm chấn con lắc để dập tắt các chế độ cộng hưởng cấp 2, cấp 3. Khi xét cấp cộng hưởng $j_2 \omega = 2\omega$, ta có:

$$I_{r_2} = J_r + (J_{s_2} + J_{s_3}) + \frac{J_{s_2}}{1 - \frac{j_2^2}{\alpha_2^2}} + \frac{J_{s_3}}{1 - \frac{j_3^2}{\alpha_3^2}}$$

và khi xét cấp cộng hưởng $j_3 \omega = 3\omega$:

$$I_{r_3} = J_r + (J_{s_2} + J_{s_3}) + \frac{J_{s_2}}{1 - \frac{j_2^2}{\alpha_2^2}} + \frac{J_{s_3}}{1 - \frac{j_3^2}{\alpha_3^2}}$$

Để xác định hệ số chỉnh của bộ giảm chấn con lắc 2, (dùng để dập tắt cấp cộng hưởng 2ω) trong I_{r_2} ta cho $\alpha_3 = \alpha_3^* = j_3 = 3$ và được:

$$I_{r_2} = J_r + (J_{s_2} + J_{s_3}) + \frac{J_{s_2}}{1 - \frac{j_2^2}{\alpha_2^2}} + \frac{J_{s_3}}{1 - \frac{j_3^2}{3^2}}$$

Từ biểu thức này, cho α_2 các giá trị khác nhau sẽ vẽ được đường cong $I_{r_2}(\alpha_2)$ từ đường cong này và đường cong $I_{r_2}(p_2)$, ($p_2 = 2\omega$) sẽ vẽ được đường cong $p_2(\alpha_2)$. Dựa vào đường cong $p_2(\alpha_2)$ xác định hệ số chỉnh α_2 .

Sau khi có giá trị α_2 rồi, thì momen quán tính thay thế của đĩa J_r khi xét cấp cộng hưởng 3ω là:

$$I_{r_3} = J_r + (J_{s_2} + J_{s_3}) + \frac{J_{s_2}}{1 - \frac{j_2^2}{\alpha_2^2}} + \frac{J_{s_3}}{1 - \frac{j_3^2}{\alpha_3^2}}$$

Trong vế phải của biểu thức trên chỉ còn α_3 là chưa xác định. Do đó cho α_3 các giá trị khác nhau có thể vẽ được đường cong $I_{r3}(\alpha_3)$.

2°. Nếu các bộ giảm chấn con lắc được lắp trên các đĩa khác nhau, thì khi xét cấp cộng hưởng $j_k \omega$, momen quán tính thay thế của từng đĩa này được xác định bằng công thức sau:

$$I_{ph} = J_p + J_{sp} + \frac{J_{ap}}{1 - \frac{j_k^2}{\alpha_p^2}}$$

trong đó p là chỉ số của đĩa được lắp bộ giảm chấn con lắc.

Cách xác định hệ số chỉnh cùng làm như trong trường hợp trên.

b) Khối lượng của mỗi con lắc có thể tính gần đúng bằng công thức (15.86) không kể đến ảnh hưởng của khối lượng các con lắc còn lại.

15.4.3. Bộ giảm chấn ma sát ướt

1. Nguyên lý làm việc

Các bộ giảm chấn ma sát ướt có tác dụng tiêu hao năng lượng để giảm biên độ dao động. Trên hình 15.25 là lược đồ nguyên tắc của bộ giảm chấn ma sát ướt.

Bên ngoài đĩa $J_r(2)$ gắn cứng trên trục của hệ ddx có lắp một hộp có momen quán tính $J_n(1)$ giữa hộp và vành đĩa có một khoang chứa dầu. Khi đĩa quay do lực quán tính ly tâm dầu được dồn ra phía ngoài, ở đó vận tốc tương đối giữa đĩa và hộp lớn, lực cản nhớt của dầu làm tiêu hao năng lượng và qua đó làm giảm biên độ dao động.

2. Phương trình chuyển của hệ ddx có lắp bộ giảm chấn ma sát ướt

a) Phương trình chuyển động và dạng nghiệm

1°. Hãy xét hệ ddx tuyến tính có lược đồ dây có n đĩa, trên đĩa J_r của lược đồ này có lắp một bộ giảm chấn ma sát ướt (hình 15.25). Hệ ddx này, nếu xét đến cả hộp J_n có tất cả $(n+1)$ bậc tự do:

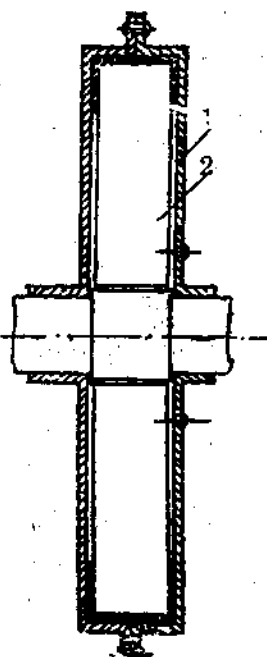
$$\left. \begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 - c_1(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_1 \\ \dots \dots \dots \\ J_r \ddot{\varphi}_r - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) + b(\dot{\varphi}_r - \dot{\varphi}_n) &= M_r \quad (a) \\ J_n \ddot{\varphi}_n - b(\dot{\varphi}_r - \dot{\varphi}_n) &= 0 \quad (b) \\ \dots \dots \dots \\ J_n \ddot{\varphi}_n - c_{n-1}(\varphi_{n-1} - \varphi_n) &= M_n \end{aligned} \right\} \quad (15.88)$$

trong đó : b - hệ số ma sát nhớt.

2°. Vì hệ có giảm chấn nên dao động của các đĩa khác pha nhau và khác pha với các lực cưỡng bức.

Để cho việc suy diễn được thuận tiện sau đây ta dùng khái niệm biên độ phức:

Xét M_k , nếu ta chú ý tới thành phần điều hoà cấp j của nó thì:



Hình 15.25



Hình 15.26

$$\mathcal{M}_k = \mathcal{M}_{kj} = \mathcal{B}_{kj} \cdot \sin(j\omega t + \delta_{kj}) \quad (15.89)$$

trong đó: δ_{kj} - góc pha ban đầu của $\mathcal{M}_k$

Nếu đặt:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\mathcal{M}}_k &= \tilde{\mathcal{B}}_{kj} e^{i(j\omega t)} & (a) \\ \tilde{\mathcal{B}}_{kj} &= \mathcal{B}_{kj} e^{i\delta_{kj}} & (b) \end{aligned} \right\} \quad (15.90)$$

$$i = \sqrt{-1}$$

thì từ (15.89), ta có thể viết:

$$\mathcal{M}_k = \text{Im } \tilde{\mathcal{M}}_k \quad (15.91a)$$

(Im - phần ảo của ...)

Đại lượng $\tilde{\mathcal{B}}_{kj}$ cho bởi (15.90b) gọi là biên độ phức của $\mathcal{M}_k$

Khi ngoại lực có dạng (15.89) thì nghiệm của hệ phương trình (15.88) có dạng:

$$\varphi_k = A_{kj} \sin(j\omega t + \gamma_{kj}) \quad (15.92)$$

hay:

$$\varphi_k = \text{Im } \tilde{\varphi}_k \quad (15.91b)$$

với

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\varphi}_k &= \tilde{A}_{kj} e^{i(j\omega t)} & (a) \\ \tilde{A}_{kj} &= A_{kj} e^{i(\gamma_{kj})} & (b) \end{aligned} \right\} \quad (15.93)$$

$\tilde{A}_{kj}$ gọi là biên độ phức của φ_k .

b) Momen quán tính thay thế I , và hệ số giảm chấn thay thế:

Bằng phương pháp đã dùng khi nghiên cứu các bộ giảm chấn động lực học, ta hãy loại φ_a , $\ddot{\varphi}_a$ ra khỏi (15.88) và đưa hệ $(n+1)$ phương trình này về một hệ n phương trình, trong đó chỉ còn các tọa độ φ_k ($k = 1, 2, \dots, n$)

Cộng hai phương trình (15.88a, 15.88b) lại với nhau, ta được:

$$J_r \ddot{\varphi}_r + J_a \ddot{\varphi}_a - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) = \mathcal{M}_r \quad (15.94)$$

Phương trình (15.94) là phần ảo của phương trình sau đây:

$$J_r \ddot{\tilde{\varphi}}_r + J_a \ddot{\tilde{\varphi}}_a - c_{r-1}(\tilde{\varphi}_{r-1} - \tilde{\varphi}_r) + c_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_{r+1}) = \tilde{\mathcal{M}}_r \quad (15.95)$$

Từ (15.93), ta có:

$$\begin{aligned} \ddot{\tilde{\varphi}}_r &= -j^2 \omega^2 \tilde{A}_{r1} e^{i(j\omega t)} = -j^2 \omega^2 \tilde{\varphi}_r \\ \ddot{\tilde{\varphi}}_a &= -j^2 \omega^2 \tilde{A}_{a1} e^{i(j\omega t)} = -j^2 \omega^2 \tilde{\varphi}_a \end{aligned}$$

Do đó:

$$\ddot{\tilde{\varphi}}_a = \ddot{\tilde{\varphi}}_r \frac{\tilde{\varphi}_a}{\tilde{\varphi}_r} \quad (15.96)$$

Thay (15.96) vào (15.95) sẽ được:

$$\left(J_r + J_a \frac{\tilde{\varphi}_a}{\tilde{\varphi}_r} \right) \ddot{\tilde{\varphi}}_r - c_{r-1}(\tilde{\varphi}_{r-1} - \tilde{\varphi}_r) + c_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_{r+1}) = \tilde{\mathcal{M}}_r \quad (15.97)$$

Bây giờ ta xét riêng phương trình (15.88b):

$$J_a \ddot{\varphi}_a - b(\dot{\varphi}_r - \dot{\varphi}_a) = 0$$

Từ phương trình này ta có thể viết:

$$J_a \ddot{\varphi}_a - b(\ddot{\varphi}_r - \ddot{\varphi}_a) = 0$$

Thay vào phương trình trên:

$$\ddot{\varphi}_a = -j^2 \omega^2 \tilde{\varphi}_a$$

$$\ddot{\varphi}_a = ij\omega \tilde{\varphi}_a; \quad \ddot{\varphi}_r = ij\omega \tilde{\varphi}_r;$$

ta sẽ được:

$$-j^2 \omega^2 J_a \tilde{\varphi}_a - ij\omega b(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_a) = 0$$

từ đó suy ra:

$$\frac{\tilde{\varphi}_a}{\tilde{\varphi}_r} = \frac{i \frac{b}{j\omega J_a}}{i \frac{b}{j\omega J_a} - 1} = \frac{\left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2 - i \left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)}{1 + \left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2} \quad (15.98)$$

Thay (15.98) vào (15.97), sẽ được:

$$\left[J_r + J_a \frac{\left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2}{1 + \left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2} - iJ_a \frac{\frac{b}{j\omega J_a}}{1 + \left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2} \right] \ddot{\varphi}_r - c_{r-1}(\tilde{\varphi}_{r-1} - \tilde{\varphi}_r) + c_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_{r+1}) = \tilde{\mathcal{M}}_r \quad (15.99)$$

vì:

$$i\ddot{\varphi}_r = ij^2 \omega^2 \tilde{\varphi}_r = j\omega(ij\omega \tilde{\varphi}_r) = -j\omega \tilde{\varphi}_r$$

nên (15.99) cũng có thể viết dưới dạng sau:

$$\left[J_r + J_a \frac{\left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2}{1 + \left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2} \right] \ddot{\varphi}_r + J_a \frac{\frac{b}{j\omega J_a}}{1 + \left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2} \dot{\varphi}_r - c_{r-1}(\tilde{\varphi}_{r-1} - \tilde{\varphi}_r) + c_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_{r+1}) = \tilde{\mathcal{M}}_r \quad (15.100)$$

như vậy phương trình (15.95) tương đương với phương trình (15.100), và các phần ảo của chúng cũng tương đương với nhau, tức là phương trình (15.94) tương đương với phương trình sau:

$$\left[J_r + J_a \frac{\left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2}{1 + \left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2} \right] \ddot{\varphi}_r + \frac{b}{1 + \left(\frac{b}{j\omega J_a}\right)^2} \dot{\varphi}_r - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) = \mathcal{M}_r \quad (15.101)$$

Phương trình (15.101) như vậy tương đương với các phương trình (15.88a,b).

và momen quán tính thay thế I_r bằng

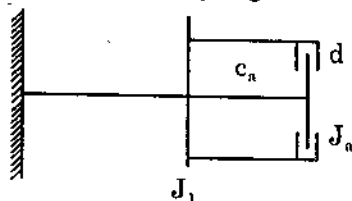
$$I_r = J_r + 0,5 J_a \quad (15.108)$$

2^o. Bộ giảm chấn ma sát ướt chỉ làm việc khi đĩa mang nó có dao động, do đó khi muốn giảm biên độ dao động cộng hưởng cấp j nào đó (ứng với tần số riêng p_j nhất định nào đó), ta phải đặt bộ giảm chấn ma sát ướt ở xa điểm nút (trong dạng dao động chính p_j này) nhất.

15.4.4. Bộ giảm chấn ma sát ướt có khâu nối (phụ) đàn hồi

Nguyên lý làm việc của các bộ giảm chấn ma sát chứa đựng một mâu thuẫn, bởi vì một mặt chúng chỉ có tác dụng khi dao động có biên độ lớn, nhưng mặt khác chúng lại phải có tác dụng làm giảm biên độ dao động. Để khắc phục mâu thuẫn này, người ta dùng bộ giảm chấn ma sát ướt có khâu nối đàn hồi. Có thể nói bộ giảm chấn kiểu này là một hình thức phối hợp của bộ giảm chấn động lực học tuyến tính và bộ giảm chấn ma sát ướt.

Trên hình 15.27 là lược đồ một bộ giảm chấn ma sát ướt có khâu nối đàn hồi lắp trên hệ có một đĩa và có một đầu ngàm. Bộ giảm chấn này được cấu trúc như sau:



Hình 15.27

Trên đĩa J_1 của hệ ban đầu, có lắp cứng một hộp dầu d , hộp dầu này ôm lấy một đĩa phụ J_a , được nối với đĩa J_1 bằng một khâu đàn hồi c_a , có thể coi hệ $c_a - J_a$ là một bộ giảm chấn tuyến tính lắp trên đĩa J_1 . Khi biên độ dao động của đĩa J_1 nhỏ, biên độ dao động của đĩa J_a vẫn có thể lớn và vận tốc trượt của nó đối với hộp d do đó có thể lớn. Như vậy tác dụng của bộ giảm chấn ma sát ướt gồm hộp d và đĩa J_a vẫn có thể lớn khi biên độ dao động của đĩa J_1 nhỏ.

1. Phương trình chuyển động của hệ ddx có lắp bộ giảm chấn ma sát ướt có khâu nối đàn hồi.

a) Phương trình chuyển động

Xét hệ ddx tuyến tính có lược đồ dây n bậc tự do, trên đĩa r của hệ này có lắp một bộ giảm chấn ma sát ướt có khâu nối đàn hồi có các thông số là (c_a, J_a, b) .

Phương trình chuyển động của hệ ddx này là:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \varphi_1 - c_1(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_1 \\ J_r \varphi_r - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) + c_a(\varphi_r - \varphi_a) + b_r(\dot{\varphi}_r - \dot{\varphi}_a) &= M_r \quad (a) \\ J_a \varphi_a - c_a(\varphi_r - \varphi_a) - b_r(\dot{\varphi}_r - \dot{\varphi}_a) &= 0 \quad (b) \\ J_n \varphi_n - c_{n-1}(\varphi_{n-1} - \varphi_n) &= M_n \end{aligned} \right\} \quad (15.109)$$

Vì có giảm chấn, nên ở đây các nghiệm cũng lệch pha với nhau và lệch pha với lực kích động, do đó để cho tiện ở đây ta cũng dùng khái niệm biên độ phức, tương tự như trong trường hợp bộ giảm chấn ma sát ướt, ta có thể viết:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{M}_k &= \mathcal{B}_{kj} \sin(j\omega t + \delta_{kj}) & (a) \\ \mathcal{M}_k &= \text{Im } \tilde{\mathcal{M}}_k & (b) \\ \tilde{\mathcal{M}}_k &= \tilde{\mathcal{B}}_{kj} e^{i(j\omega t)} & (c) \\ \tilde{\mathcal{B}}_{kj} &= \mathcal{B}_{kj} e^{i\delta_{kj}} & (d) \end{aligned} \right\} \quad (15.110)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_k &= A_{kj} \sin(j\omega t + \gamma_{kj}) & (a) \\ \varphi_k &= \text{Im } \tilde{\varphi}_k & (b) \\ \tilde{\varphi}_k &= \tilde{A}_{kj} e^{i(j\omega t)} & (c) \\ \tilde{A}_{kj} &= A_{kj} e^{i\gamma_{kj}} & (d) \end{aligned} \right\} \quad (15.111)$$

b) Momen quán tính thay thế và hệ số giảm chấn thay thế:

Từ (15.109a), (15.109b) ta có:

$$J_r \ddot{\varphi}_r + J_a \ddot{\varphi}_a - c_{r-1}(\varphi_{r-1} - \varphi_r) + c_r(\varphi_r - \varphi_{r+1}) = \mathcal{M}_r \quad (15.112)$$

hay:

$$J_r \ddot{\tilde{\varphi}}_r + J_a \ddot{\tilde{\varphi}}_a - c_{r-1}(\tilde{\varphi}_{r-1} - \tilde{\varphi}_r) + c_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_{r+1}) = \tilde{\mathcal{M}}_r \quad (15.113)$$

Thay $\tilde{\varphi}_r, \tilde{\varphi}_a$ bằng biểu thức (15.111c) vào phương trình này và sau khi biến đổi, ta sẽ được:

$$\left(J_r + J_a \frac{\tilde{\varphi}_a}{\tilde{\varphi}_r} \right) \ddot{\tilde{\varphi}}_r - c_{r-1}(\tilde{\varphi}_{r-1} - \tilde{\varphi}_r) + c_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_{r+1}) = \tilde{\mathcal{M}}_r \quad (15.114)$$

Lại xét phương trình (15.109b), từ phương trình này ta có thể viết:

$$J_a \ddot{\tilde{\varphi}}_a - c_a(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_a) - b_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_a) = 0$$

Thay $\tilde{\varphi}_r$ bằng biểu thức (15.111c) vào phương trình này, suy ra được:

$$(c_a - j^2\omega^2 J_a + i j \omega b) \tilde{\varphi}_a = (c_a + i j \omega b) \tilde{\varphi}_r$$

do đó:

$$\frac{\tilde{\varphi}_a}{\tilde{\varphi}_r} = \frac{c_a + i j \omega b}{-j^2\omega^2 J_a + c_a + i j \omega b}$$

Thay biểu thức $\frac{\tilde{\varphi}_a}{\tilde{\varphi}_r}$ này vào (15.114) sẽ được:

$$\begin{aligned} & \left(J_r + J_a \frac{c_a + i j \omega b}{-j^2\omega^2 J_a + c_a + i j \omega b} \right) \ddot{\tilde{\varphi}}_r - c_{r-1}(\tilde{\varphi}_{r-1} - \tilde{\varphi}_r) + c_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_{r+1}) = \tilde{\mathcal{M}}_r \\ & \left\{ J_r + J_a \frac{[c_a(-j^2\omega^2 J_a + c_a) + (j\omega b)^2] - i(j\omega b \cdot j^2\omega^2 J_a)}{(-j^2\omega^2 J_a + c_a)^2 + (j\omega b)^2} \right\} \ddot{\tilde{\varphi}}_r - \\ & - c_{r-1}(\tilde{\varphi}_{r-1} - \tilde{\varphi}_r) + c_r(\tilde{\varphi}_r - \tilde{\varphi}_{r+1}) = \tilde{\mathcal{M}}_r \end{aligned}$$

vì:

$$i \ddot{\tilde{\varphi}}_r = -i j^2 \omega^2 \tilde{\varphi}_r = -j \omega (i j \omega \tilde{\varphi}_r) = -j \omega \dot{\tilde{\varphi}}_r$$

nên phương trình cũng có thể viết:

$$\left[J_r + J_a \frac{c_a(-j^2\omega^2 J_a + c_a) + (j\omega b)^2}{(c_a - j^2\omega^2 J_a)^2 + (j\omega b)^2} \right] \ddot{\tilde{\varphi}}_r + \frac{(j^2\omega^2 J_a)^2 b}{(c_a - j^2\omega^2 J_a)^2 + (j\omega b)^2} \dot{\tilde{\varphi}}_r -$$

$$b_{r_0} = \frac{j\omega J_a^2}{2(c_a - j^2\omega^2 J_a)} \quad (15.122)$$

$$I_{r_0} = J_r + J_a \left[1 + \frac{j^2\omega^2}{2 \left[\frac{c_a}{J_a} - j^2\omega^2 \right]} \right] \quad (15.123)$$

Đặt

$$\frac{c_a}{J_a} = \alpha^2$$

thì :

$$I_{r_0} = J_r + J_a \left[1 + \frac{j^2\omega^2}{2[\alpha^2 - j^2\omega^2]} \right] \quad (15.124)$$

b) Sau khi đã xác định được b_{r_0} , I_{r_0} theo các công thức (15.123), (15.124), ta thay các giá trị này vào hệ phương trình (15.109). Với hệ phương trình này ta tính biên độ dao động của đĩa J , và kiểm tra xem biên độ này có ở trong giới hạn cho phép không.

c) Tương tự như trong trường hợp bộ giảm chấn động lực học tuyến tính, momen quán tính thay thế I_r của đĩa có lắp bộ giảm chấn ma sát có khâu nối đàn hồi cũng phụ thuộc $j\omega$. Do đó ở đây ta cũng cần xác định các tần số riêng ứng với các chế độ cộng hưởng khác nhau sau khi lắp bộ giảm chấn lên đĩa J , của hệ. Ta làm như sau:

Xét công thức (15.117), thay:

$$\frac{c_a}{J_a} = \alpha^2$$

vào công thức này được:

$$I_r = J_r + J_a \frac{\alpha^2(\alpha^2 - j^2\omega^2) + \left(\frac{b}{J_a}\right)^2 j^2\omega^2}{(\alpha^2 - j^2\omega^2)^2 + \left(\frac{b}{J_a}\right)^2 j^2\omega^2} \quad (15.125)$$

Đường cong $I_r(j\omega)$ cho bởi (15.125) có một tiệm cận ngang $I_r = J_r$; $j\omega \rightarrow \infty$ và qua các điểm: ($j\omega = 0$; $I_r = J_r + J_M$) ($j\omega = \alpha$; $I_r = J_r + J_M$);

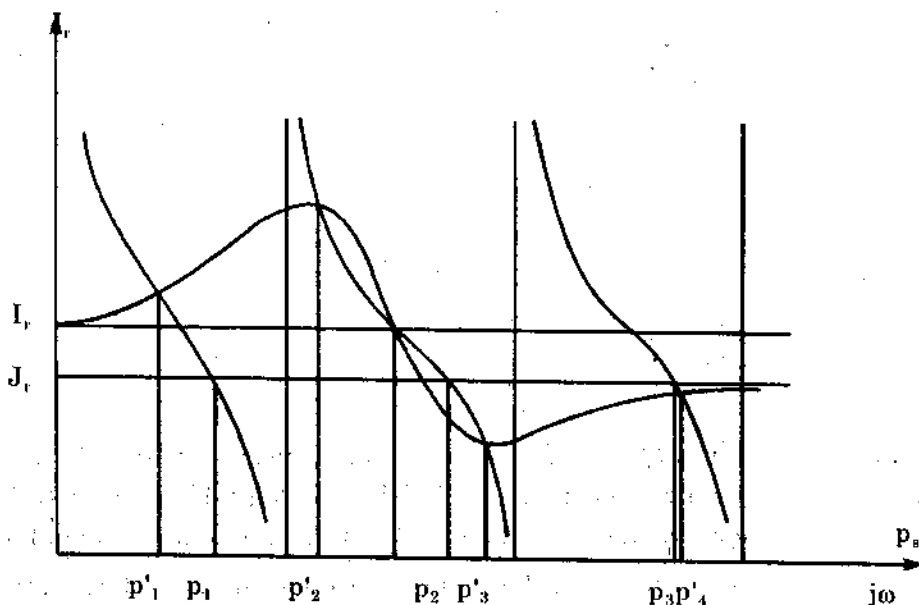
$$\left(j\omega = \frac{\alpha}{\sqrt{1 - \frac{b}{\alpha J_a}}}; I_r = J_r \right)$$

Đường cong này cắt các nhánh đường cong giá trị $p_s(I_r)$ ($s = 1, 2, \dots, n-1$) ở n giá trị p_s khác nhau (hình 15.29)

$$p'_s = j\omega_{js}$$

Các tần số kích động tới hạn gây ra hiện tượng cộng hưởng là:

$$\omega_{js} = \frac{p_s}{j} \quad (j = 1, 2, \dots; s = 1, 2, \dots, n)$$



Hình 15.29

15.5. Phụ lục chương 15

1. Các đại lượng thay thế

Các đại lượng thay thế cần dùng khi lập lược đồ tính gồm momen quán tính thay thế và độ cứng thay thế. Việc xác định momen quán tính thay thế đã được giới thiệu trong chương 8, do đó sau đây ta chỉ xét việc xác định độ cứng thay thế.

a) Độ cứng thay thế khi chuyển trục

Hãy xét một trục đàn hồi có độ cứng c_{kl} , nối hai đĩa J_{kl} , $J_{k+1,l}$ và có vận tốc ω_l , gọi c_{kl}^0 là độ cứng của khâu đàn hồi trên lược đồ, thay thế cho đoạn trục đàn hồi nói trên, và ω_0 là vận tốc của trục trên lược đồ tính. Cần phải xác định c_{kl}^0 (hình 15.30b). Từ điều kiện bảo toàn năng lượng, thế năng của trục đàn hồi thay thế và trục đàn hồi được thay thế phải bằng nhau. Hãy tính các thế năng này:

Gọi φ_{kl} , $\varphi_{k+1,l}$ là tọa độ của các đầu đoạn trục đàn hồi được thay thế - Thế năng biến dạng của đoạn trục này bằng:

$$\Pi_1 = \frac{1}{2} c_{kl} (\varphi_{kl} - \varphi_{k+1,l})^2 \quad (15.126a)$$

Gọi φ_{kl}^0 , $\varphi_{k+1,l}^0$, Π_0 lần lượt là tọa độ của các đầu đoạn trục thay thế trên lược đồ tính và thế năng biến dạng của nó, ta có:

$$\varphi_{kl}^0 = \varphi_{kl} \frac{\omega_0}{\omega_l}; \quad \varphi_{k+1,l}^0 = \varphi_{k+1,l} \frac{\omega_0}{\omega_l}$$

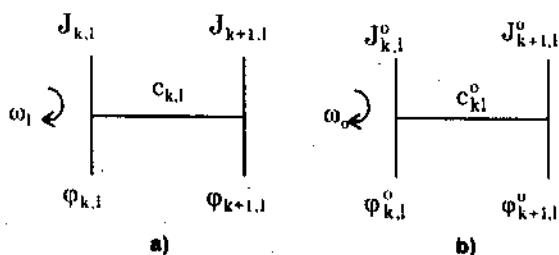
$$\Pi = \frac{1}{2} c_{kl}^o (\varphi_{kl}^o - \varphi_{k+1,l}^o)^2$$

hay :

$$\Pi = \frac{1}{2} c_{kl}^o \left(\frac{\omega_o}{\omega_1} \right)^2 (\varphi_{kl} - \varphi_{k+1,l})^2 \quad (15.126b)$$

So sánh (15.126a) và (15.126b), được :

$$c_{kl} = c_{kl}^o \left(\frac{\omega_o}{\omega_1} \right)^2 \quad (15.127)$$

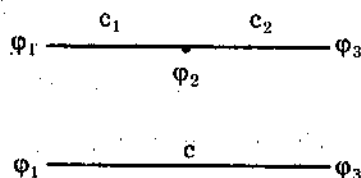


Hình 15.30

Đây chính là công thức tính độ cứng thay thế cần tìm.

b) Độ cứng thay thế của hai đoạn trục nối tiếp

Giả thử có hai đoạn trục đàn hồi nối tiếp nhau có độ cứng lần lượt bằng c_1, c_2 . Có thể thay thế hai đoạn trục này bằng một đoạn trục có độ cứng c . Độ cứng thay thế tính như sau:



Hình 15.31

Gọi Π_o, Π_1, Π_2 lần lượt là thế năng biến dạng của đoạn trục thay thế và các đoạn trục được thay thế, ta có:

$$\left. \begin{aligned} \Pi_o &= \frac{1}{2} c (\varphi_1 - \varphi_3)^2 \\ \Pi_1 &= \frac{1}{2} c_1 (\varphi_1 - \varphi_2)^2 \\ \Pi_2 &= \frac{1}{2} c_2 (\varphi_2 - \varphi_3)^2 \\ \Pi_o &= \Pi_1 + \Pi_2 \end{aligned} \right\} \quad (15.128)$$

với $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ lần lượt là tọa độ của các đầu của hai đoạn trục có độ cứng tương ứng c_1, c_2 ; φ_1, φ_3 cũng là tọa độ của các đầu đoạn trục thay thế có độ cứng c , (xem hình 15.31).

Gọi M_1, M_2 lần lượt là các momen xoắn trên các đoạn trục có độ cứng c_1, c_2 và M_o là momen xoắn trên đoạn trục thay thế ta có:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c_1 (\varphi_1 - \varphi_2) \\ M_2 &= c_2 (\varphi_2 - \varphi_3) \\ M_o &= c (\varphi_1 - \varphi_3) \end{aligned} \right\} \quad (15.129)$$

và

$$M_1 = M_2 = M_0 \quad (15.130)$$

Từ (15.129) và (15.130) suy ra:

$$\left. \begin{aligned} (\varphi_1 - \varphi_2) &= \frac{c}{c_1} (\varphi_1 - \varphi_3) \\ (\varphi_2 - \varphi_3) &= \frac{c}{c_2} (\varphi_1 - \varphi_3) \end{aligned} \right\} \quad (15.131)$$

Thay (15.129), (15.131) vào (15.128) được:

$$\begin{aligned} c_1(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + c_2(\varphi_2 - \varphi_3)^2 &= c(\varphi_1 - \varphi_3)^2 \\ c_1 \left(\frac{c}{c_1} \right)^2 (\varphi_1 - \varphi_3)^2 + c_2 \left(\frac{c}{c_2} \right)^2 (\varphi_1 - \varphi_3)^2 &= c(\varphi_1 - \varphi_3)^2 \end{aligned}$$

hay:

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \quad (15.132)$$

Đây chính là công thức tính độ cứng thay thế cần tìm.

Nếu có nhiều đoạn trục đàn hồi nối tiếp nhau thì độ cứng của đoạn trục thay thế tính như sau:

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \dots + \frac{1}{c_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{c_k} \quad (15.133)$$

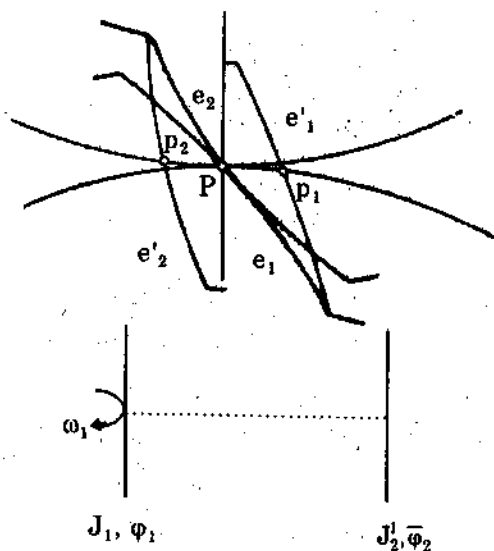
Cách chứng minh công thức này cũng giống như trên.

c) Độ cứng của đoạn trục thay thế cho một bộ truyền bánh răng

Xét một cặp bánh răng 1, 2 ăn khớp với nhau (hình 15.32). Khi làm việc do các bánh răng bị uốn nên chuyển vị góc của bánh dẫn 1 sẽ lớn hơn so với trường hợp răng tuyệt đối cứng. Ngược lại, bánh bị dẫn 2 sẽ có chuyển vị góc nhỏ hơn so với trường hợp răng tuyệt đối cứng. Do đó giữa hai bánh răng có một chuyển vị góc phụ tương đương như một biến dạng xoắn. Hãy tính độ cứng xoắn thay thế trong trường hợp này.

Giả thử tại thời điểm đang xét, hai răng ăn khớp tiếp xúc với nhau tại tâm ăn khớp P. Nếu không bị biến dạng uốn thì vị trí hai cạnh bánh răng làm việc e_1, e_2 . Do biến dạng nên vị trí thực của chúng hiện nay là e'_1, e'_2 . Gọi y_1, y_2 là các biến dạng uốn do trên các vòng lăn tương ứng, theo hình vẽ ta có:

$$y_1 = \widehat{Pp_1}, y_2 = \widehat{Pp_2}$$



Hình 15.32

Gọi P_t là lực tiếp tuyến; k_1, k_2 lần lượt là độ cứng uốn của răng 1 và răng 2 và Π là thế năng biến dạng của cặp răng thì:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{P_t}{k_1} \\ y_2 &= \frac{P_t}{k_2} \end{aligned} \right\} \quad (15.134)$$

$$\Pi = \frac{1}{2}(k_1 y_1^2 + k_2 y_2^2) \quad (15.135)$$

Thay (15.134) vào (15.135) được:

$$\Pi = \frac{1}{2} P_t^2 \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right) \quad (15.136)$$

Mặt khác nếu gọi φ_1, φ_2 lần lượt là toạ độ góc của các bánh răng 1 và 2; r_1, r_2 là bán kính các vòng lăn, thì:

$$y_1 + y_2 = \widehat{PP_1} + \widehat{PP_2} = \varphi_1 r_1 - \varphi_2 r_2 \quad (15.137)$$

(Nếu không có biến dạng uốn, $y_1 = y_2 = 0$ và $\varphi_1 r_1 - \varphi_2 r_2 = 0$, hay $\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{r_2}{r_1}$, có nghĩa là các vòng lăn lăn không trượt lên nhau).

Thay (15.134) vào (15.137) được:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}} (\varphi_1 r_1 - \varphi_2 r_2)^2$$

hay

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_1^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}} \left(\varphi_1 - \varphi_2 \frac{r_2}{r_1} \right)^2 \quad (15.138)$$

$$\text{Đặt: } \bar{\varphi}_2 = \varphi_2 \frac{r_2}{r_1}$$

($\bar{\varphi}_2$ chính là chuyển vị góc của bánh 1 khi bánh 2 có chuyển vị φ_2 và khi các răng tuyệt đối cứng. Thực vậy tỉ số truyền của cặp bánh răng khi đó bằng $i_{12} = \frac{r_2}{r_1}$)

Thay vào công thức trên ta được:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_1^2}{\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)} (\varphi_1 - \bar{\varphi}_2)^2 \quad (15.139)$$

nếu đặt:

$$c_z = \frac{r_1^2}{\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)} \quad (15.140)$$

thì :

$$\Pi = \frac{1}{2} c_z (\varphi_1 - \bar{\varphi}_2)^2$$

dây cũng là biểu thức thế năng biến dạng của một trục đàn hồi có độ cứng c_z và tọa độ của các đầu đoạn trục lần lượt bằng φ_1, φ_2 . Như vậy độ cứng c_z cho bằng công thức (15.140) chính là độ cứng xoắn tương đương quy về trục bánh 1 của cặp bánh răng được xét. Nếu gọi J_1, J_2 lần lượt là momen quán tính của các bánh răng 1 và 2 thì cặp bánh răng được xét tương đương với một hệ hai đĩa (hình 15.32) có momen quán tính lần lượt bằng : J_1 và J_2^1 với

$$J_1^2 = J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 = J_2 \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right)^2 = J_2 i_{21}^2$$

nối với nhau bằng một đoạn trục đàn hồi có độ cứng c_z tính theo (15.140). Góc tọa độ của hai đĩa này lần lượt bằng $\varphi_1, \bar{\varphi}_2$.

Để tính c_z như vậy cần biết các độ cứng uốn k_1, k_2 . Các độ cứng này có thể tính theo các tài liệu chi tiết máy. Ví dụ có thể tính k theo công thức sau :

$$k = \frac{1}{\frac{h}{\beta S G} + \frac{h^3}{3 E J}} \quad (15.141)$$

trong đó : h - chiều cao chân răng ; S - diện tích đế răng ; E - môđun đàn hồi kéo nén ; G - môđun đàn hồi trượt ; J - momen quán tính của tiết diện đế răng đối với đường trung hòa của tiết diện đế, β - hệ số dạng răng khi trượt.

Chú thích : Thực ra tùy theo vị trí ăn khớp mà các hệ số k_1, k_2 trong (15.140) thay đổi. (Công thức (15.141) là công thức tính độ uốn khi các răng tiếp xúc ở tâm ăn khớp). Như vậy, mỗi bộ truyền động bánh răng thực ra ứng với một khâu đàn hồi phi tuyến. Tuy nhiên trong một phạm vi gần đúng nhất định có thể coi khâu đàn hồi này là tuyến tính và độ cứng của nó có thể tính bằng (15.140).

d) Độ cứng của đoạn trục thay thế cho một bộ truyền đai

Cách tính độ cứng của trục thay thế trong trường hợp này cũng tương tự như trên.

Gọi φ_1, φ_2 lần lượt là các góc quay của các puli dẫn 1 và puli dẫn 2 (xem hình 15.33); r_1, r_2 là bán kính của các puli này, Δl là biến dạng của nhánh đai dẫn. Ta có :

$$\Delta l = \varphi_1 r_1 - \varphi_2 r_2 \quad (15.142)$$

(nếu đai không biến dạng, vận tốc dài của toàn bộ nhánh đai bằng vận tốc tiếp tuyến của hai puli, do đó : $\varphi_1 r_1 = \varphi_2 r_2$ và $\Delta l = 0$).

Gọi E, S, l lần lượt là môđun đàn hồi kéo của vật liệu đai, diện tích tiết diện và chiều dài nhánh đai biến dạng được xét, thì độ cứng của đai bằng :

$$k = \frac{ES}{l} \quad (15.143)$$

Thế năng biến dạng của đai bằng :

$$\Pi = \frac{1}{2} k \Delta l^2$$

Thay (15.142) và (15.143) vào công thức trên được :

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \frac{ES}{l} (\varphi_1 r_1 - \varphi_2 r_2)^2$$

hay :

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \frac{ES}{l} r_1^2 (\varphi_1 - \bar{\varphi}_2)^2 \quad (15.144)$$

với :

$$\bar{\varphi}_2 = \varphi_2 \frac{r_2}{r_1}$$

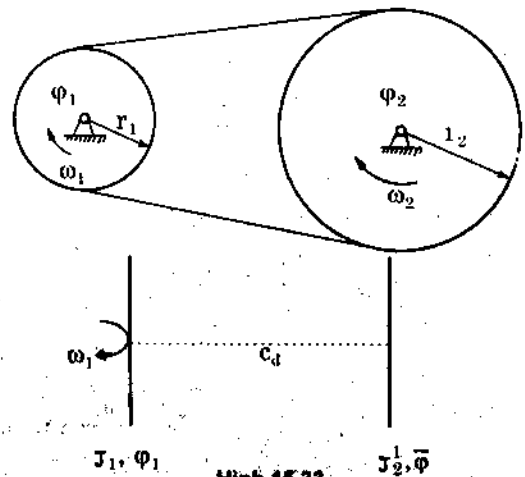
($\bar{\varphi}_2$ chính là góc quay của puli dẫn 1, khi đai không biến dạng và khi puli 2 quay được góc φ_2)

$$\text{Đặt } c_d = \frac{ESr_1^2}{l} \quad (15.145)$$

và thay thế vào (15.144), được :

$$\Pi = \frac{1}{2} c_d (\varphi_1 - \bar{\varphi}_2)^2 \quad (15.146)$$

Đây cũng là biểu thức thế năng biến dạng của một đoạn trục đàn hồi có độ cứng bằng c_d và có các tọa độ của các đĩa bằng φ_1 và $\bar{\varphi}_2$.



Hình 15.33

Gọi J_1, J_2 lần lượt là mômen quán tính các puli: 1, 2, thì bộ truyền đai được xét có thể được thay thế bằng một hệ gồm hai đĩa có mômen quán tính J_1, J_2 nối với nhau bằng đoạn trục đàn hồi có độ cứng c_d (tính theo 15.145), và tọa độ các đĩa lần lượt bằng $\varphi_1, \bar{\varphi}_2$. Mômen quán tính của đĩa thứ hai tính như sau:

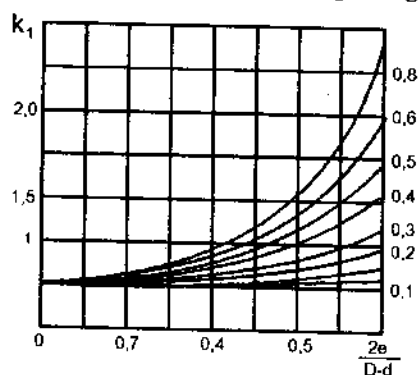
$$J_2^1 = J_2 i_{21}^2$$

(i_{21} là tỉ số truyền khi không kể đến hiện tượng biến dạng của đai).

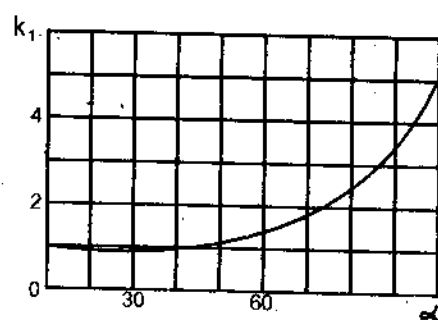
2. Công thức tính độ cứng của các trục có cấu tạo khác nhau

Để xây dựng được lược đồ tính phải quy các trục có cấu tạo thông dụng bất kỳ về dạng trục đặc trơn, trục được thay thế và trục đặc trơn thay thế cho nó trên lược đồ phải có cùng một độ cứng. Vì vậy ta phải biết cách xác định độ cứng của trục đặc trơn và độ cứng của các trục thông dụng không phải là trục đặc trơn. Các công thức tính độ cứng của trục đặc trơn và các trục thông dụng khác được cho trong bảng sau đây. Hình 15.34

là các đồ thị cho phép xác định giá trị của một số hệ số trong một số các công thức tính độ cứng các trục được cho trong bảng này.

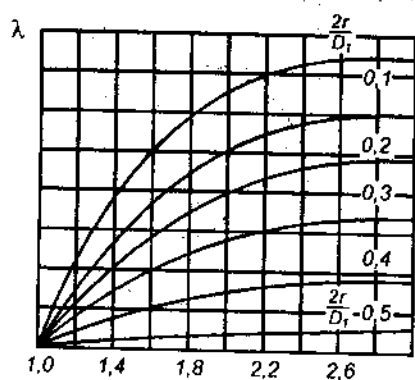


a)

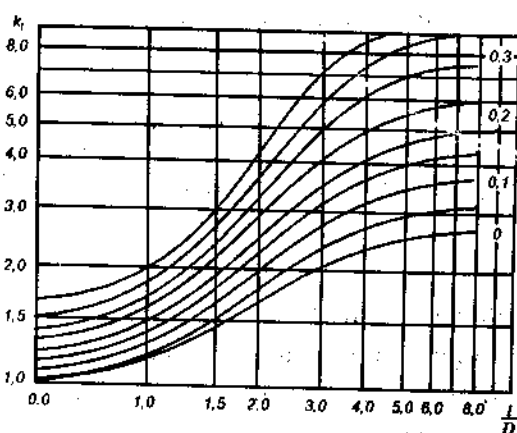


b)

Hình 15.34



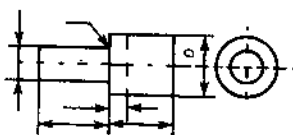
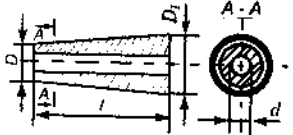
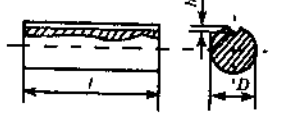
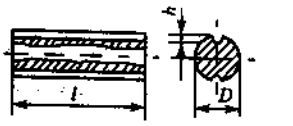
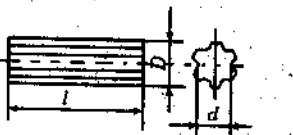
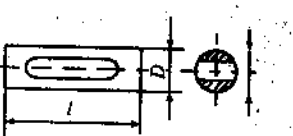
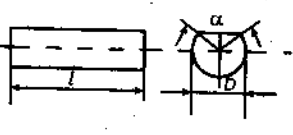
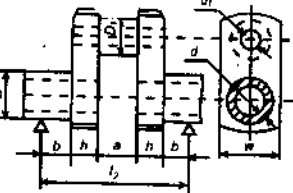
c)



d)

Hình 15.34

Kiểu trục	Lược đồ	Công thức tính độ cứng	Ghi chú
1	2	3	4
Trục đặc trơn		$c_0 = \frac{\pi G D^4}{32 l}$	G: môđun trượt của vật liệu
Trục trơn rỗng		$c = c_0 \frac{1}{k_c}$	$k_c = \frac{1}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}$
Trục trơn rỗng lỗ lệch tâm		$c = c_0 \frac{1}{k_c k_1}$	k_1 : Xem hình 15.34a

Kiểu trục	Lược đồ	Công thức tính độ cứng	Ghi chú
1	2	3	4
Trục bậc có góc lượn		$c = \frac{\pi G}{32} \left(\frac{l_1 + \lambda D_1}{D_1^4} + \frac{l_2}{D_1^4} \right)$	$\lambda = \frac{\Delta l}{D_1}$: Xem hình 15.34c
Trục nón có lỗ		$c = c_0 \frac{1}{k_c k_n}$	$k_n = \frac{1}{3} \cdot \frac{D}{D_1} \left(1 + \frac{D}{D_1} + \frac{D^2}{D_1^2} \right)$
Trục có rãnh then		$c = \frac{\pi G D_1^4}{32l}$	$D_1 = D - 0,5h$
Trục có hai rãnh then		$c = \frac{\pi G D_1^4}{32l}$	$D_1 = D - 1,2h$
Trục then hóa		$c = \frac{\pi G d^4}{32l}$	
Trục có lỗ ngang		$c = c_0 \frac{1}{k_t}$	k_t - Xem hình 15.34d
Trục vát một bên		$c = c_0 \frac{1}{k_1}$	k_1 - Xem hình 15.34b
Trục khuỷu		$c = \frac{\pi G D^4}{32l}$	$l_0 = \frac{D}{D^4 - d^4} \left(2b + 0,8h + \right. \\ \left. + 0,75 \frac{D_1^4 - d^4}{D_1^4 - d_1^4} a + \right. \\ \left. + 3,88 \frac{G}{E} \cdot \frac{D^4 - d^4}{h \omega^2} \right)$

Chương 16

CÂN BẰNG TRỤC MỀM

16.1. Đại cương

16.1.1. Khái niệm

Chương 6 đã giới thiệu bài tính cân bằng vật quay. Trong bài tính này ta đã mặc nhiên giả thiết vật quay không bị biến dạng uốn. Giả thiết gần đúng này phù hợp với những vật quay mà chiều dài không lớn lắm so với đường kính và vận tốc của vật quay không lớn. Vật quay khi đó được gọi là *vật quay cứng* hay *trục cứng*.

Khi chiều dài của vật quay lớn hơn đường kính của nó nhiều và vận tốc của nó vượt quá một giới hạn xác định thì vật quay được gọi là *vật quay mềm* hay *trục mềm*. Khi đó biến dạng uốn của nó có thể trở nên đáng kể, đặc biệt khi vận tốc của vật quay xấp xỉ những giá trị nhất định gọi là các *vận tốc tới hạn* của nó thì biến dạng uốn có thể trở nên rất lớn.

Ứng với mỗi vật quay có kích thước lớn và vật liệu nhất định, có vô số vận tốc tới hạn:

$$\omega_{th1} < \omega_{th2} < \dots < \omega_{thn} < \dots$$

Để phân định xem một vật quay khi nào có thể được coi là cứng và khi nào phải coi là mềm, ta dựa vào vận tốc tới hạn thứ nhất ω_{th1} của nó, cụ thể là: gọi ω là vận tốc quay thì khi:

$$\omega \leq \omega_{max} < \omega_{th1}$$

vật quay được gọi là cứng, còn khi

$$\omega > \omega_{max}$$

vật quay được gọi là mềm. Thông thường ω_{max} được lấy bằng:

$$\omega_{max} = 0,8 \omega_{th1}$$

Để cân bằng trục mềm ta không thể chỉ dùng hai đối trọng cân bằng như trong trường hợp vật quay cứng. Về lý thuyết số đối trọng cân bằng cần thiết là vô số. Tuy nhiên với một độ chính xác vừa phải chỉ cần dùng thêm một số đối trọng cân bằng.

16.1.2. Điều kiện cân bằng của trục mềm

Mục đích của việc cân bằng vật quay, trục cứng cũng như trục mềm, là triệt tiêu các lực quán tính và momen lực quán tính bằng cách phân bố lại các khối lượng trên trục

một cách hợp lý bằng các đối trọng cân bằng. Điều khác nhau giữa trục cứng và trục mềm trong bài tính này là ở chỗ: đường tâm của trục cứng là một đường thẳng, còn đường tâm của trục mềm khi nó bị biến dạng là một đường cong. Đây chính là *đường đàn hồi* của trục mềm được xét. Đường đàn hồi có thể là một đường cong ghenh hoặc một đường cong phẳng. Sau đây ta sẽ chỉ xét trường hợp đường đàn hồi là một đường cong phẳng, nói một cách khác là chỉ xét bài toán phẳng.

Do đường tâm trong hai trường hợp khác nhau nên điều kiện cân bằng của trục mềm và điều kiện cân bằng của trục cứng cũng khác nhau.

Để xác định điều kiện cân bằng của trục mềm, trước hết hãy xác định các lực quán tính và momen lực quán tính của nó.

Trên hình 16.1 là đường đàn hồi δ (nét liền) của một trục mềm trong một hệ tọa độ vuông góc, có trục x là đường tâm của trục mềm được xét khi nó chưa bị biến dạng uốn và trục y đi qua đầu mút bên trái của nó.

1. Giả thử trên trục được xét có n khối lượng lệch tâm tập trung m_i ($i = 1, 2, \dots, n$), có độ lệch tâm tương ứng e_i , ở tại các hoành độ x_i . Bán kính quay của mỗi khối lượng m_i này bằng:

$$r_i = y(x_i) + e_i \approx e_i$$

$$\text{vì } y(x_i) \ll e_i$$

gọi ω là vận tốc của trục thì lực quán tính của mỗi khối lượng m_i này bằng :

$$P_{qi} = \omega^2 m_i e_i$$

Momen của mỗi lực P_{qi} này đối với đầu mút 0 bên trái của trục bằng :

$$M_{qi} = \omega^2 m_i e_i x_i$$

Như vậy tổng các lực quán tính tập trung và tổng momen của các lực quán tính tập trung của trục được xét lần lượt bằng:

$$\left. \begin{aligned} \sum_1^n P_{qi} &= \omega^2 \sum_1^n m_i e_i \\ \sum_1^n M_{qi} &= \omega^2 \sum_1^n m_i e_i x_i \end{aligned} \right\} \quad (16.1)$$

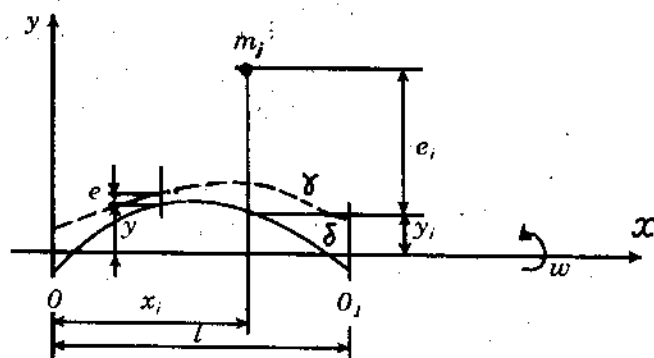
2. Ngoài các khối lượng lệch tâm tập trung, do vật liệu không đồng nhất và do chế tạo không hoàn toàn chính xác, bản thân trục là tập hợp của các khối lượng lệch tâm phân bố.

Hãy xét một phần tử trục có chiều dài dx , cách gốc tọa độ O một khoảng x . Trọng tâm của phần tử trục này có thể không nằm trên đường tâm của trục, tức là không nằm trên đường đàn hồi là đường mà cách đường này một khoảng lệch tâm e : $e = e(x)$

Trên hình 16.1 trọng tâm của các tiết diện trục nằm trên đường γ (nét đứt).

Gọi μ là khối lượng đơn vị chiều dài trục. Do vật liệu có thể không đồng nhất nên $\mu = \mu(x)$. Khối lượng của phần tử trục dx bằng :

$$dm = \mu(x)dx$$



Hình 16.1

Lực quán tính của phần tử trục \$dx\$ được xét bằng:

$$P_q = \omega^2 [y(x) + e(x)] \mu(x) dx$$

và momen của lực này đối với gốc tọa độ \$O\$ bằng:

$$M_q = \omega^2 [y(x) + e(x)] \mu(x) x dx$$

Tổng lực quán tính phân bố và tổng momen lực quán tính phân bố như vậy lần lượt bằng:

$$\left. \begin{aligned} \int_0^l P_q dx &= \omega^2 \int_0^l (y(x) + e(x)) \mu(x) dx \\ \int_0^l M_q dx &= \omega^2 \int_0^l (y(x) + e(x)) \mu(x) x dx \end{aligned} \right\} \quad (16.2)$$

với \$l\$ là chiều dài của trục được xét.

3. Điều kiện cân bằng của trục là tổng lực quán tính và tổng momen lực quán tính bằng không. Do đó ta phải có

$$\sum_1^n P_{qi} + \int_0^l P_q dx = 0$$

$$\sum M_{qi} + \int_0^l M_q dx = 0$$

Thay (16.1) và (16.2) vào hai phương trình trên được:

$$\omega^2 \left\{ \int_0^l (y + e) \mu dx + \sum_1^n m_i e_i \right\} = 0$$

$$\omega^2 \left\{ \int_0^l (y + e) \mu x dx + \sum_1^n m_i e_i x_i \right\} = 0$$

Vì \$\omega \neq 0\$ nên cuối cùng ta có:

$$\int_0^l (y + e) \mu dx + \sum_1^n m_i e_i = 0$$

$$\int_0^l (y + e) \mu x dx + \sum_1^n m_i e_i x_i = 0$$

hay :

$$\left. \begin{aligned} \int_0^L \mu y dx + \int_0^L \mu e dx + \sum m_i e_i &= 0 \\ \int_0^L \mu y x dx + \int_0^L \mu e x dx + \sum m_i e_i x_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.3)$$

Các điều kiện (16.3) chính là các điều kiện cân bằng của trục mềm. Khi cho $y = 0$, tức là khi giả thiết trục không bị uốn, thì từ (16.3) ta có:

$$\left. \begin{aligned} \int_0^L \mu e dx + \sum m_i e_i &= 0 \\ \int_0^L \mu e x dx + \sum m_i e_i x_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.4)$$

Đây chính là điều kiện cân bằng của trục cứng. Như vậy sau khi đã tiến hành cân bằng trục được coi như trục cứng, việc còn lại là phải làm sao để có đồng thời :

$$\left. \begin{aligned} \int_0^L \mu y dx &= 0 \\ \int_0^L \mu y x dx &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.5)$$

vì đây chính là các điều kiện cần thực hiện thêm để thoả mãn điều kiện cân bằng trục mềm (16.3) đã suy ra ở trên.

Chú ý là trong các công thức (16.3), (16.4), (16.5), các đại lượng μ , y , e đều là các hàm của x còn các đại lượng y_i , x_i , e_i là các giá trị bằng hằng.

16.2. Vận tốc tới hạn và dao động của trục

16.2.1. Vận tốc tới hạn

1. Hãy xét một trục bị biến dạng uốn. Giả thiết trên trục không có các khối lượng lệch tâm (cả phân bố lẫn tập trung), hãy xét điều kiện cân bằng lực của một phần tử của trục này. Gọi :

- E là môđun đàn hồi
- I là momen quán tính của tiết diện trục
- M là momen uốn tác dụng lên phần tử trục
- T là lực cắt
- μ là khối lượng của đơn vị chiều dài trục
- ω là vận tốc góc của trục.
- y là độ võng của trục.

thì nếu bỏ qua hiệu ứng con quay và ảnh hưởng của lực cắt tới góc xoay của mặt cắt, ta sẽ có:

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad T = \frac{dM}{dx} \quad \frac{dT}{dx} = -\mu \omega^2 y$$

Hai phương trình đầu là các quan hệ sức bền vật liệu. Phương trình sau cùng là điều kiện cân bằng lực.

Từ các phương trình trên đây ta suy ra:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) - \mu \omega^2 y = 0 \quad (16.6)$$

Đây chính là phương trình dao động tự do uốn của trục.

Khi trên trục có các khối lượng lệch tâm, thì các lực quán tính ứng với các khối lượng lệch tâm này được coi là các lực cưỡng bức trục và được đặt vào vế phải của phương trình (16.6)

2. Hãy xét phương trình (16.6). Đặt nghiệm của (16.6) dưới dạng:

$$y = Ce^{\lambda x} \quad (16.7)$$

và thay vào (16.6), ta được:

$$EI\lambda^4 - \mu\omega^2 = 0$$

hay :

$$\lambda^4 = \frac{\mu\omega^2}{EI} \quad (16.8)$$

Đặt

$$q = \sqrt[4]{\frac{\mu\omega^2}{EI}} \quad (16.9)$$

thì phương trình (16.8) có bốn nghiệm sau:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= q; & \lambda_2 &= -q \\ \lambda_3 &= iq; & \lambda_4 &= -iq \end{aligned} \right\} \quad (16.10)$$

với $i = \sqrt{-1}$

Nghiệm tổng quát (16.7) của phương trình (16.6) như vậy có dạng:

$$y = c_1 e^{qx} + c_2 e^{-qx} + c_3 e^{iqx} + c_4 e^{-iqx} \quad (16.11)$$

trong đó $c_i (i = 1, 2, 3, 4)$ là các hằng số tích phân được xác định dựa vào các điều kiện biên.

3. Hãy xét trường hợp trục được đặt trên hai gối tựa. Các điều kiện biên trong trường hợp này là độ võng và momen uốn của trục tại hai gối tựa đều bằng không. Gọi l là khoảng cách giữa hai gối tựa, thì:

$$\left. \begin{aligned} y(0) &= 0; & y''(0) &= 0 \\ y(l) &= 0; & y''(l) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.12)$$

Từ (16.11), ta lại có:

$$y'' = q^2 (c_1 e^{qx} + c_2 e^{-qx} - c_3 e^{iqx} - c_4 e^{-iqx}) \quad (16.13)$$

Thay các điều kiện biên (16.12) vào (16.11) và (16.13), ta được :

$$\left. \begin{aligned} c_1 + c_2 + c_3 + c_4 &= 0 & (a) \\ c_1 + c_2 - c_3 - c_4 &= 0 & (b) \\ c_1 e^{ql} + c_2 e^{-ql} + c_3 e^{iql} + c_4 e^{-iql} &= 0 & (c) \\ c_1 e^{ql} + c_2 e^{-ql} - c_3 e^{iql} - c_4 e^{-iql} &= 0 & (d) \end{aligned} \right\} \quad (16.14)$$

Từ (16.14a), (16.14b) ta suy ra:

$$c_1 + c_2 = 0, c_3 + c_4 = 0$$

do đó :

$$c_1 = -c_2; c_3 = -c_4 \quad (16.15)$$

Thay (16.15) vào (16.14c) và (16.14d) sẽ được:

$$c_1 (e^{ql} - e^{-ql}) + c_3 (e^{iq^l} - e^{-iq^l}) = 0$$

$$c_1 (e^{ql} - e^{-ql}) - c_3 (e^{iq^l} - e^{-iq^l}) = 0$$

hay :

$$\left. \begin{aligned} c_1 \operatorname{sh}(ql) + ic_3 \sin(q^l) &= 0 \\ c_1 \operatorname{sh}(ql) - ic_3 \sin(q^l) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.16)$$

Cộng hai phương trình này lại với nhau, được:

$$2c_1 \operatorname{sh}(ql) = 0$$

Vì $ql \neq 0$ nên $\operatorname{sh}(ql) \neq 0$. Do đó điều kiện trên đây đòi hỏi:

$$c_1 = 0$$

Như vậy từ (16.16), ta có:

$$c_3 \sin(q^l) = 0$$

Để cho y là một nghiệm không tầm thường c_3 phải khác không, do đó:

$$\sin(q^l) = 0 \quad (16.17)$$

Nghiem của phương trình (16.17) này là :

$$q^l = n\pi$$

$$(n = 1, 2, 3, \dots)$$

hay :

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{n\pi}{l} \\ (n &= 1, 2, 3, \dots) \end{aligned} \right\} \quad (16.18)$$

Nhưng từ (16.9), ta lại có:

$$\omega = \sqrt{\frac{EI}{\mu}} q^2 \quad (16.19)$$

Vì q có vô số giá trị khác nhau (xem 16.18), nên ta cũng có vô số giá trị khác nhau tương ứng của ω . Các giá trị này chính là giá trị của vận tốc tới hạn của trục trong trường hợp cụ thể được xét (trục trên hai gối tựa). Ký hiệu các vận tốc này là ω_{th_n} thì từ (16.18) và (16.19) ta có :

$$\omega_{th_n} = \frac{n^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\mu}} = 0 \quad (16.20)$$

Vì các giá trị ω_{th_n} này được suy ra từ phương trình (16.6) nên ta có:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) - \mu \omega_{th_n}^2 y = 0$$

hay :

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = \mu \omega_{th_n}^2 y \quad (16.21)$$

16.2.2. Dao động của trục dưới dạng chuỗi hàm trực giao

Thay (16.15) vào (16.11) và chú ý $c_1 = -c_2 = 0$, ta được:

$$y = ic_3 \sin(qx)$$

với c_3 là một số ảo (vì y phải là số thực).

Vì q có vô số giá trị khác nhau (xem (16.18)), nên ta có thể viết:

$$y = \sum_1^{\infty} D_n \sin\left(\frac{n\pi}{l} x\right)$$

trong đó D_n là số thực.

Đây chính là biểu thức của dao động uốn của trục trong trường hợp cụ thể đang xét (trục trên hai gốc tựa).

Đặt :

$$\varphi_n(x) = \sin\left(\frac{n\pi}{l} x\right) \quad (16.22)$$

thì :

$$y = \sum_1^{\infty} D_n \varphi_n(x) \quad (16.23)$$

Các hàm $\varphi_n(x)$ cho bởi (16.22) thỏa mãn các điều kiện sau:

$$p \neq q: \int_0^l \varphi_p(x) \varphi_q(x) dx = 0$$

$$p = q: \int_0^l \varphi_p(x) \varphi_q(x) dx = \text{hằng}$$

hay một cách tổng quát hơn:

$$\left. \begin{aligned} p \neq q: \int_0^l \mu(x) \varphi_p(x) \varphi_q(x) dx &= 0 \\ p = q: \int_0^l \mu(x) \varphi_p(x) \varphi_q(x) dx &= \text{hằng} \end{aligned} \right\} \quad (16.24)$$

Các hàm $\varphi_n(x)$ như vậy thuộc lớp các hàm *trực giao*.

Như vậy trong trường hợp được xét, dao động uốn của trục được biểu diễn dưới dạng một chuỗi hàm trực giao, mỗi hàm trong chuỗi này ứng với một vận tốc tới hạn và được gọi là một dạng dao động chính của trục.

16.3. Điều kiện cân bằng của trục mềm thông qua các hàm trực giao

Ở lân cận mỗi vận tốc tới hạn, dao động cưỡng bức của trục mềm (tức là dưới tác dụng của các lực quán tính tập trung và phân bố) rất gần với dạng dao động chính ứng với vận tốc tới hạn được xét, tức là rất gần với hàm trực giao ứng với vận tốc tới hạn được xét. Do đó ta có thể viết:

$$y = \sum_1^{\infty} b_n \varphi_n(x) \quad (16.25)$$

Hệ số b_n phụ thuộc vào các lực cưỡng bức, ở đây là lực quán tính của các khối lượng lệch tâm phân bố và tập trung.

Gọi:

- b_n^p là thành phần của b_n do các khối lượng lệch tâm phân bố gây ra.
- b_n^{ti} là thành phần của b_n do mỗi khối lượng lệch tâm tập trung gây ra thì:

$$b_n = b_n^p + \sum_{i=1}^m b_n^{ti} \quad (16.26)$$

với m là số khối lượng lệch tâm trên trục. Như vậy từ (16.25) và (16.26) ta sẽ có:

$$y = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ b_n^p \varphi_n(x) + \sum_{i=1}^m b_n^{ti} \varphi_n(x) \right\}$$

hay :

$$y = y^p + y^t \quad (16.27a)$$

với:

$$y^p = \sum_{n=1}^{\infty} b_n^p \varphi_n(x) \quad (16.27b)$$

$$y^t = \sum_{i=1}^m y^{ti} \quad (16.27c)$$

$$y^{ti} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n^{ti} \varphi_n(x) \quad (16.27d)$$

16.3.1. Xác định b_n^p và y^p

Khi chỉ xét các lực quán tính của các khối lượng phân bố thì bên vế phải của phương trình (16.6) tức là của phương trình dao động uốn tự do của trục được xét, ta phải thêm vào hạng thức biểu diễn lực quán tính của khối lượng lệch tâm phân bố: $\mu \omega^2$.

Phương trình dao động cưỡng bức của trục khi đó có dạng:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) - \mu y \omega^2 = \mu e \omega^2 \quad (16.28)$$

với:

$$e = e(x) \text{ và } y = y^p(x)$$

$e(x)$ là độ lệch tâm tại mỗi tiết diện của trục.

1. Ta cũng có thể biểu diễn $e(x)$ dưới dạng một chuỗi các hàm trục giao, tức là:

viết

$$e(x) = \sum_1^{\infty} a_n \varphi_n(x) \quad (16.29)$$

Biểu thức của mỗi hệ số a_n trong (16.29) được xác định như sau. Hãy nhân cả hai vế của (16.29) với $\mu(x)\varphi_n(x)$:

$$\mu(x)e(x)\varphi_n(x) = \left(\sum_1^{\infty} a_i \varphi_i(x) \right) \mu(x)\varphi_n(x)$$

sau đó lấy tích phân của cả hai vế mới nhận được từ 0 tới l, sẽ được:

$$\int_0^l \mu(x)e(x)\varphi_n(x)dx = \int_0^l \mu(x)\varphi_n(x) \sum_1^{\infty} a_i \varphi_i(x)dx \quad (16.30)$$

Hạng thức trong dấu tích phân của vế phải có thể khai triển như sau:

$$\mu(x)\varphi_n(x) \sum_1^{\infty} a_i \varphi_i(x) = \mu(x) \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^{\infty} a_i \varphi_i(x)\varphi_n(x) + a_n \mu(x) \varphi_n^2(x)$$

Thay biểu thức này vào phần trong dấu tích phân bên vế phải của (16.30) được:

$$\int_0^l \mu(x)e(x)\varphi_n(x)dx = \int_0^l a_n \mu(x)\varphi_n^2(x)dx + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^{\infty} \int_0^l a_i \mu(x)\varphi_n(x)\varphi_i(x)dx \quad (16.31)$$

Vì theo tính chất hàm trực giao (xem 16.24)

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^{\infty} \int_0^l a_i \mu(x)\varphi_n(x)\varphi_i(x)dx = 0$$

nên từ (16.31) sẽ được :

$$\int_0^l \mu(x)e(x)\varphi_n(x)dx = a_n \int_0^l \mu(x)\varphi_n^2(x)dx$$

từ đó suy ra:

$$a_n = \frac{\int_0^l \mu(x)e(x)\varphi_n(x)dx}{A_n} \quad (16.32)$$

với

$$A_n = \int_0^l \mu(x)\varphi_n^2(x)dx \quad (16.33)$$

2. Trong phương trình (16.28) hãy thay $e(x)$ bằng (16.29) và y^p bằng:

$$y^p = \sum_1^{\infty} b_n^p \varphi_n(x)$$

ta sẽ được :

$$\sum_1^{\infty} \left\{ b_n^p \frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 \varphi_n}{dx^2} \right) - \mu \omega^2 b_n^p \varphi_n \right\} = \omega^2 \sum_1^{\infty} \mu a_n \varphi_n$$

Hãy xét phần tử thứ n của phương trình này

$$b_n^p \frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 \varphi_n}{dx^2} \right) - \mu \omega^2 b_n^p \varphi_n = \omega^2 \mu a_n \varphi_n \quad (16.34)$$

Vì theo (16.21):

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 \varphi_n}{dx^2} \right) = \mu \omega_{th_n}^2 \varphi_n$$

nên thay vào (16.34), sẽ được

$$b_n^p \mu \omega_{th_n}^2 \varphi_n - b_n^p \mu \omega^2 \varphi_n = \omega^2 \mu a_n \varphi_n$$

với $\varphi_n = \varphi_n(x)$

từ phương trình này suy ra:

$$b_n^p = \frac{a_n \omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \quad (16.35)$$

Như vậy nghiệm đặc biệt của phương trình (16.28) là:

$$y^p = \sum_i \frac{a_i \omega^2}{\omega_{th_i}^2 - \omega^2} \varphi_i(x) \quad (16.36)$$

với a_n được cho bằng các công thức (16.32), (16.33).

16.3.2. Xác định $b_n^{l_i}$ và y^l

Hãy xét ảnh hưởng của một trong các lực quán tính lệch tâm. Khi đó bên vế phải của phương trình (16.6) ta phải thêm vào lực quán tính này, còn bên vế trái y trở thành y^{l_i} . Tuy nhiên để cho tiện ký hiệu ta vẫn viết:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) - \mu \omega^2 y = m_i e_i \omega^2 \quad (16.37)$$

với y được hiểu là bằng:

$$y = y^{l_i}$$

1. Phương trình (16.37) cũng tương tự như phương trình (16.28) chỉ có một điều khác là nếu như trong (16.28), e là một hàm liên tục của x thì trong (16.37), e_i được biểu diễn bằng một hàm gián đoạn của x . Gọi θ_i là hàm biểu diễn e_i , ta có:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq x \leq x_i &: \theta_i(x) = 0 \\ x = x_i &: \theta_i(x) = e_i \\ x_i < x \leq l &: \theta_i(x) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.38)$$

Để có thể biểu diễn $\theta_i(x)$ tức là biểu diễn e_i bằng một chuỗi hàm trực giao, giống như đã làm trên đây với $e = e(x)$, hãy thay $\theta_i(x)$ bằng một hàm xung như sau:

Ta hãy coi như khối lượng m_i , thay vì tập trung tại hoành độ x_i với độ lệch tâm e_i , lại được phân bố trên một đoạn Δu có trung điểm là x_i và với một độ lệch tâm bằng hằng bằng $\frac{e_i}{\Delta u}$.

Hàm $\theta_i(x)$ bây giờ có dạng sau:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq x < x_i - \frac{\Delta u}{2} & : \theta_i(x) = 0 \\ x_i - \frac{\Delta u}{2} \leq x \leq x_i + \frac{\Delta u}{2} & : \theta_i(x) = \frac{e_i}{\Delta u} \\ x_i + \frac{\Delta u}{2} < x \leq l & : \theta_i(x) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.39)$$

Bây giờ hãy biểu diễn $\theta_i(x)$ cho bởi (16.39) dưới dạng một chuỗi hàm trực giao, tức là đặt:

$$\theta_i(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \varphi_n(x) \quad (16.40)$$

Để xác định c_n trong (16.40) hãy nhân cả hai vế của phương trình này với $\mu(x)\varphi_n(x)$ và sau đó lấy tích phân cả hai vế mới nhận được từ 0 tới l . Ta có:

$$\int_0^l \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx = \int_0^l \mu(x) \sum_{i=1}^{\infty} c_i \varphi_i(x) \varphi_n(x) dx \quad (16.41)$$

a) Trước hết hãy xét vế trái của (16.41). Ta có:

$$\begin{aligned} \int_0^l \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx &= \int_0^{x_i - \frac{\Delta u}{2}} \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx + \\ &+ \int_{x_i - \frac{\Delta u}{2}}^{x_i + \frac{\Delta u}{2}} \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx + \int_{x_i + \frac{\Delta u}{2}}^l \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx \end{aligned}$$

Từ (16.39), ta có:

$$\int_0^{x_i - \frac{\Delta u}{2}} \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx = 0$$

$$\int_{x_i + \frac{\Delta u}{2}}^l \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx = 0$$

$$\int_{x_i - \frac{\Delta u}{2}}^{x_i + \frac{\Delta u}{2}} \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx = \int_{x_i - \frac{\Delta u}{2}}^{x_i + \frac{\Delta u}{2}} \mu(x) \varphi_n(x) \frac{e_i}{\Delta u} dx \approx \mu(x_i) \varphi_n(x_i) \frac{e_i}{\Delta u} \Delta u$$

vì Δu vô cùng nhỏ.

Kết quả vế trái của (16.41) bằng

$$\int_0^l \mu(x) \theta_i(x) \varphi_n(x) dx = \mu(x_i) \varphi_n(x_i) e_i \quad (16.42)$$

b) Bây giờ hãy xét vế phải của (16.41). Ta có :

$$\int_0^l \mu(x) \sum_{i=1}^{\infty} c_i \varphi_i(x) \varphi_n(x) dx = \int_0^l \mu(x) \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^{\infty} c_i \varphi_i(x) \varphi_n(x) dx + \int_0^l \mu(x) c_n \varphi_n^2(x) dx$$

hay :

$$\int_0^l \mu(x) \sum_{i=1}^{\infty} c_i \varphi_i(x) \varphi_n(x) dx = c_n \int_0^l \mu(x) \varphi_n^2(x) dx \quad (16.43)$$

Thay (16.42), (16.43) vào hai vế của (16.41), cuối cùng được :

$$\mu(x_i) \varphi_n(x_i) e_i = c_n \int_0^l \mu(x) \varphi_n^2(x) dx$$

hay :

$$c_n = \frac{\mu(x_i) \varphi_n(x_i) e_i}{A_n} \quad (16.44)$$

$$A_n = \int_0^l \mu(x) \varphi_n^2(x) dx$$

2. Hãy trở lại phương trình (16.37), trong phương trình này hãy thay

$$y = y^u = \sum_{n=1}^{\infty} b_n^{t_i} \varphi_n(x)$$

và

$$\begin{aligned} e_i &= \sum_1^{\infty} c_n \varphi_n(x) \\ \sum_1^{\infty} \left\{ b_n^{t_i} \frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 \varphi_n}{dx^2} \right) - \mu \omega^2 \varphi_n \right\} &= \omega^2 m_i \sum_1^{\infty} c_n \varphi_n \end{aligned} \quad (16.45)$$

với

$$\varphi_n = \varphi_n(x), \mu = \mu(x)$$

Hãy xét phần tử thứ n trong hai vế của phương trình (16.45), ta có

$$b_n^{t_i} \frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 \varphi_n}{dx^2} \right) - \mu \omega^2 \varphi_n = \omega^2 m_i c_n \varphi_n$$

Thay biểu thức (16.21) :

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 \varphi_n}{dx^2} \right) = \omega_{th_n}^2 \mu \varphi_n$$

vào phương trình trên được :

$$b_n^{t_i} (\omega_{th_n}^2 - \omega^2) \mu(x) \varphi(x) = \omega^2 m_i c_n \varphi_n(x)$$

thay c_n bằng (16.44) được :

$$b_n^{t_i} (\omega_{th_n}^2 - \omega^2) \mu(x) \varphi(x) = \frac{1}{A_n} \mu(x_i) \varphi_n(x_i) e_i m_i \omega^2 \varphi_n(x)$$

hay :

$$b_n^{t_i} (\omega_{th_n}^2 - \omega^2) \mu(x) = \frac{1}{A_n} \omega^2 m_i e_i \mu(x_i) \varphi_n(x_i)$$

Chú ý vế phải là một tích của các hằng số, do đó vế trái chỉ có nghĩa nếu trong hàm $\mu(x)$, x lấy giá trị x_i tức là ta phải có :

$$b_n^{t_i} (\omega_{th_n}^2 - \omega^2) \mu(x_i) = \frac{1}{A_n} \omega^2 e_i m_i \mu(x_i) \varphi_n(x_i)$$

do đó :

$$b_n^{t_i} = \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \frac{m_i e_i \varphi_n(x_i)}{A_n} \quad (16.46)$$

Nghiệm đặc biệt của (16.37) là :

$$y^u = \sum_{n=1}^{\infty} b_n^{t_i} \varphi_n(x)$$

Thay (14.46) vào biểu thức trên ta được :

$$y^{t_i} = m_i e_i \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \frac{\varphi_n(x_i)}{A_n} \varphi_n(x) \quad (16.47)$$

Đây là thành phần của dao động cường bức y do một lực quán tính tập trung gây ra. Nếu xét tác động của tất cả m lực quán tính tập trung, ta có :

$$y^t = \sum_{i=1}^m y^{t_i}$$

hay

$$y^t = \sum_{i=1}^m \left\{ m_i e_i \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \frac{\varphi_n(x_i)}{A_n} \varphi_n(x) \right\} \quad (16.48)$$

16.3.3. Dao động cường bức của trục và điều kiện cân bằng của trục mềm

1. Trong công thức (16.27a):

$$y = y^p + y^t$$

hãy thay y^p và y^t lần lượt bằng (16.36) và (16.48), ta sẽ được

$$y = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \left\{ a_n + \frac{1}{A_n} \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) \right\} \varphi_n(x) \quad (16.49)$$

Đây chính là biểu thức của dao động cường bức của trục mềm trong trường hợp được xét dưới tác động của tất cả các lực quán tính phân bố và tập trung.

Đối chiếu (16.49) với (16.25), ta có

$$b_n = \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \left\{ a_n + \frac{1}{A_n} \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) \right\} \quad (16.50)$$

2. Hãy trở lại các điều kiện cân bằng của trục mềm đã phân tích trong 16.1.2; tức là các điều kiện (16.4), (16.5):

$$\left. \begin{aligned} \int_0^l \mu e dx + \sum_{i=1}^m m_i e_i &= 0 \\ \int_0^l \mu e x dx + \sum_{i=1}^m x_i m_i e_i &= 0 \\ \int_0^l \mu y dx &= 0 \\ \int_0^l \mu y x dx &= 0 \end{aligned} \right\}$$

trong đó:

$$\mu = \mu(x); e = e(x); y = y(x);$$

Các điều kiện (16.4) là các điều kiện cân bằng của trục cứng còn các điều kiện (16.5) là các điều kiện cần thực hiện thêm khi cân bằng trục mềm trong trường hợp được xét. Vì $\mu(x)$ khác không cho nên để thoả mãn (16.5), cần phải có

$$y(x) \equiv 0$$

Thay $y(x)$ bằng (16.49) ta sẽ được :

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \left\{ a_n + \frac{1}{A_n} \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) \right\} \varphi_n(x) = 0$$

Vì $\varphi_n(x)$ không hằng bằng không do đó ta phải có :

$$\left. \begin{aligned} a_n + \frac{1}{A_n} \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) &= 0 \\ (n = 1, 2, \dots) \end{aligned} \right\} \quad (16.51)$$

Như vậy để cân bằng trục mềm ta cần có các điều kiện sau :

$$\left. \begin{aligned} \int_0^l \mu e dx + \sum_{i=1}^m m_i e_i &= 0 \quad (a) \\ \int_0^l \mu e x dx + \sum_{i=1}^m m_i e_i x_i &= 0 \quad (b) \\ a_n + \frac{1}{A_n} \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) &= 0 \quad (c) \\ (n = 1, 2, 3, \dots) \end{aligned} \right\} \quad (16.52)$$

3. Về lý thuyết số điều kiện (16.52c) cần thoả mãn là vô hạn, tức là số đối trọng cân bằng cần dùng cũng là vô hạn. Tất nhiên điều này không thể thực hiện được, và lại cũng không cần thiết. Thật vậy hãy xét biểu thức (16.25):

$$y = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \varphi_n(x)$$

với b_n theo (16.50)

$$b_n = \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \left\{ a_n + \frac{1}{A_n} \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) \right\}$$

Theo (16.20) thì đại lượng ω_{th_n} (có mặt trong biểu thức của b_n) tăng tỉ lệ với n^2 , tức là

$$\omega_{th_n} = n^2 \omega_{th_1}$$

Do đó, tùy theo giá trị vận tốc quay của trục, kể từ một giá trị n nào đó hệ số b_n sẽ giảm rất nhanh theo n . Như vậy, với một độ chính xác hợp lý, trong chuỗi (16.25) ta có thể chỉ lấy đến phần tử thứ q nào đó, do đó thay vì chuỗi có vô số phần tử (16.25), ta sẽ có chuỗi có một số hữu hạn phần tử:

$$y = \sum_{n=1}^q b_n \varphi_n(x)$$

Ví dụ, nếu vận tốc quay của trục bằng :

$$\omega = 1,1 \omega_{th1}$$

thì ta sẽ có:

$$\frac{\omega^2}{\omega_{th1}^2 - \omega^2} = \frac{1,21}{1 - 1,21} = -5,762$$

$$\frac{\omega^2}{\omega_{th2}^2 - \omega^2} = \frac{1,21}{(2)^2 - 1,21} = 0,082$$

$$\frac{\omega^2}{\omega_{th3}^2 - \omega^2} = \frac{1,21}{(3)^2 - 1,21} = 0,015$$

$$\frac{\omega^2}{\omega_{th4}^2 - \omega^2} = \frac{1,21}{(4)^2 - 1,21} = 0,004$$

như vậy thừa số $\frac{\omega^2}{\omega_{thn}^2 - \omega^2}$ của b_n giảm rất nhanh khi n tăng, kể từ $n = 2$ trở đi

4. Giả thử ta chỉ xét đến q thành phần đầu của chuỗi (16.25). Để thoả mãn các điều kiện (16.25c) với $n = 1, 2, \dots$, ta sẽ dùng một số đối trọng cân bằng - đặt trên cùng một mặt phẳng qua trục và tại các mặt phẳng tùy chọn vuông góc với trục có hoành độ là x_i xác định.

Việc thêm các đối trọng này lên trục không được phá vỡ các điều kiện cân bằng trục cũng đã thực hiện trong bước trước, do đó ta phải có:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m m_i e_i &= 0 \\ \sum_{i=1}^m m_i e_i x_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.53)$$

Như vậy các điều kiện cụ thể mà ta cần đảm bảo để cân bằng trục mềm, khi chỉ xét đến q số thành phần đầu của chuỗi (16.25) là :

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m m_i e_i &= 0 \quad (a) \\ \sum_{i=1}^m m_i e_i x_i &= 0 \quad (b) \\ a_n A_n + \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) &= 0 \quad (c) \\ (n = 1, 2, 3, \dots, q) \end{aligned} \right\} \quad (16.54)$$

16.4. Quy trình cân bằng trục mềm

16.4.1. Nguyên tắc

Việc cân bằng trục mềm gồm hai giai đoạn

1. Trong giai đoạn thứ nhất, ta cân bằng trục coi như trục cứng. Muốn vậy ta phải cho trục quay với vận tốc thấp hơn vận tốc tới hạn, cụ thể là:

$$\omega \leq \omega_{\max} = 0,8 \omega_{th_1}$$

Với vận tốc này, ta tiến hành việc cân bằng trục quay theo cách đã trình bày ở chương 6. Trong việc cân bằng này ta dùng hai đối trọng cân bằng đặt ở hai mặt phẳng cân bằng tùy chọn.

2. Trong giai đoạn thứ hai, ta cân bằng trục coi như trục mềm. Giai đoạn này gồm nhiều bước.

Giả thử ta chỉ xét đến q thành phần đầu tiên của chuỗi (16.25), tức là chỉ nhằm triệt tiêu q thành phần đầu tiên của chuỗi này.

a) Ta cho trục quay với vận tốc xấp xỉ vận tốc tới hạn thứ nhất:

$$\omega \approx \omega_{th_1}$$

và tiến hành thí nghiệm, kết hợp với việc sử dụng các phương trình (16.54) nhằm xác định các đối trọng cần dùng để triệt tiêu thành phần thứ nhất của (16.25).

b) Ta lập lại bước trên đây với các giá trị vận tốc của trục xấp xỉ các vận tốc tới hạn tiếp theo cho đến vận tốc tới hạn thứ q .

3. Trước khi xét quy trình cân bằng, cần chú ý một số điều sau:

a) Khi cho trục quay ở một vận tốc tới hạn nào đó, biến dạng của trục rất gần với hàm trục giao ứng với vận tốc tới hạn này, do đó có thể coi các lực quán tính khi đó không có tác dụng tạo ra các biến dạng ứng với các hàm trục giao khác. Cụ thể là : khi cho trục quay với vận tốc tới hạn thứ k , thì trong biểu thức (16.48):

$$y^I = \sum_{i=1}^m \left\{ m_i e_i \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \frac{\varphi_n(x_i)}{A_n} \varphi_n(x) \right\}$$

ta có khi $n \neq k$.

$$\sum_{i=1}^m m_i e_i \frac{\omega^2}{\omega_{th_n}^2 - \omega^2} \frac{\varphi_n(x_i)}{A_n} = 0$$

Do đó :

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) &= 0 \\ (n &\neq k) \end{aligned} \right\}$$

Như vậy, thay vì điều kiện (16.54c), ở mỗi vận tốc tới hạn thứ k : ω_{th_k} ta phải có:

$$\left. \begin{aligned} a_k A_k + \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_k(x_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^m m_i e_i \varphi_n(x_i) &= 0 \\ (n \neq k) \end{aligned} \right\} \quad (16.55)$$

b) Ở mỗi bước cân bằng, để triệt tiêu một thành phần của chuỗi (16.25), ta dùng bốn đối trọng ở trên cùng một mặt phẳng qua trục và ở trên các mặt phẳng vuông góc với trục có tọa độ x_i tùy chọn cho thích hợp với kết cấu cụ thể của trục, do đó trong các công thức (16.54a, b) và (16.55) ta cho $m = 4$.

c) Trong các công thức tính có đại lượng $\varphi_n(x)$ nhưng biên độ của $\varphi_n(x)$ hiện ta chưa biết. Thật ra như sau đây sẽ rõ ta cũng không cần biết biên độ này mà có thể cho nó một giá trị tùy ý, từ đó tính các giá trị của $\varphi(x)$ ứng với các giá trị x_i khác nhau.

16.4.2. Quy trình cân bằng

Giả thử ta chỉ xét đến hai thành phần đầu tiên của chuỗi (16.25), tức là $q = 2$

1. Trước hết cho trục quay với vận tốc

$$\omega \approx \omega_{th1}$$

a) Chọn bốn mặt phẳng thích hợp vuông góc với trục làm các mặt phẳng cân bằng sau khi chọn thì các giá trị x_i ($i = 1, 2, 3, 4$) cũng đã biết.

b) Cho hàm trục giao $\varphi_n(x)$ một biên độ tùy ý. (Trong trường hợp trục tựa trên hai gối tựa:

$$\varphi_n(x) = D_n \sin\left(\frac{n\pi}{l}x\right)$$

Với biên độ đã cho tính các giá trị:

$$\begin{aligned} \varphi_1(x_i), \varphi_2(x_i) \\ (i = 1, 2, 3, 4) \end{aligned}$$

c) Bây giờ hãy khai triển các điều kiện (16.54a, b) và (16.55)

Đặt :

$$\begin{aligned} X_i &= m_i e_i \\ (i &= 1, 2, 3, 4) \end{aligned}$$

X_i chính là các ẩn của bài tính. Ta có:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1(x_1)X_1 + \varphi_1(x_2)X_2 + \varphi_1(x_3)X_3 + \varphi_1(x_4)X_4 &= -a_1 A_1 \\ \varphi_2(x_1)X_1 + \varphi_2(x_2)X_2 + \varphi_2(x_3)X_3 + \varphi_2(x_4)X_4 &= 0 \\ x_1 X_1 + x_2 X_2 + x_3 X_3 + x_4 X_4 &= 0 \\ X_1 + X_2 + X_3 + X_4 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.56)$$

Hệ (16.56) là một hệ bốn phương trình bốn ẩn số. Các hệ số trong vế trái đều đã biết. Tuy nhiên giá trị $a_1 A_1$ trong vế phải chưa biết. Do đó từ hệ phương trình này ta không thể xác định được các giá trị của X_i ($i = 1, 2, 3, 4$) mà chỉ xác định được quan hệ tỉ lệ giữa chúng. Ta cũng chỉ cần đến thế. Giải hệ phương trình (16.56) theo $a_1 A_1$ và sau đó thay $X_i = m_i e_i$ ta được:

$$\left. \begin{aligned} m_1 e_1 &= \alpha_1 a_1 A_1 ; m_2 e_2 = \alpha_2 a_1 A_1 \\ m_3 e_3 &= \alpha_3 a_1 A_1 ; m_4 e_4 = \alpha_4 a_1 A_1 \end{aligned} \right\} \quad (16.57)$$

Trong đó $\alpha_i (i = 1, 2, 3, 4)$ có giá trị hoàn toàn xác định và đã biết.

d) Cho $a_1 A_1$ một giá trị tùy ý tính các giá trị $m_i e_i (i = 1, 2, 3, 4)$ và chọn các đối trọng cân bằng ứng với các giá trị này sau đó đặt lên các mặt phẳng cân bằng tương ứng đã chọn trong bước a và trên cùng một mặt phẳng qua trục.

Lần lượt cho mặt phẳng qua trục chứa các đối trọng cân bằng này các vị trí khác nhau bằng cách quay nó tương đối với trục được cân bằng. Tại mỗi vị trí của mặt phẳng qua trục này ta đo biên độ dao động của một điểm tùy chọn trên trục.

Sau quá trình này ta sẽ tìm ra một vị trí của mặt phẳng qua trục ở đó biên độ dao động được đo là nhỏ nhất.

e) Cố định mặt phẳng qua trục với trục ở vị trí vừa tìm ra, bây giờ thay đổi đồng thời giá trị các đại lượng $m_i e_i (i = 1, 2, 3, 4)$ theo cùng một tỉ lệ. Với mỗi bộ giá trị này của $m_i e_i$ ta lại đo biên độ dao động của điểm đã chọn trên trục cho tới khi biên độ này bằng không hoặc nhỏ hơn một giá trị cho phép được quy định trước.

Việc cân bằng trục mềm ở vận tốc tới hạn thứ nhất đến đây đã xong.

2. Bây giờ lại cho trục quay với vận tốc xấp xỉ ω_{th2} và lặp lại tất cả các bước như đã trình bày ở trên, chỉ có một điều khác nhau duy nhất là trong hệ phương trình (15.56), bây giờ ta phải cho vế phải của phương trình thứ nhất bằng không (thay vì bằng $-a_1 A_1$) và trong phương trình thứ hai của hệ này ta cho vế phải bằng $-a_2 A_2$ (thay vì bằng không).

Tất nhiên ta vẫn giữ nguyên các mặt phẳng cân bằng. Do đó sau khi cân bằng xong ở cả hai vận tốc tới hạn ta có thể gộp các cặp đại lượng $m_i e_i (i = 1, 2, 3, 4)$ lại với nhau để cuối cùng có khối lượng cân bằng trên bốn mặt phẳng này.

Chương 17

CÁCH RUNG

Khi làm việc các máy đều có thể là các nguồn gây rung. Rung được truyền từ máy xuống nền dưới dạng các phản lực tại các bề mặt tiếp xúc giữa bộ máy và nền. Cần phải hạn chế hoặc triệt tiêu nếu có thể các lực rung được truyền xuống nền này. Để làm việc này có thể dùng các biện pháp khác nhau.

Trước hết có thể tác động ngay vào nguồn rung, cụ thể là giảm hoặc triệt tiêu các lực quán tính gây rung bằng cách phân bố lại khối lượng trên máy. Đây chính là nội dung của bài tính cân bằng máy được giới thiệu trong các chương 6 và 16.

Để chống rung cho nền, ngoài biện pháp cân bằng máy nói trên, ta có thể cách ly nguồn rung (tức là máy) với nền bằng cách kê vào giữa máy và nền các đệm đàn hồi. Không giống như việc cân bằng máy có tác dụng giảm đồng thời biên độ rung của máy và lực rung truyền xuống nền, việc cách rung chỉ có tác dụng giảm lực rung truyền xuống nền mà không giảm rung cho máy và ngược lại còn có thể làm tăng biên độ rung của máy. Để giảm rung cho máy khi đó ta có thể kết hợp việc cách rung với việc dùng các bộ giảm chấn động lực học.

Cần chú ý rằng, trong trường hợp các máy rung, khi việc tạo ra một biên độ rung cho máy là một yêu cầu công nghệ thì vấn đề cân bằng máy không được đặt ra, do đó biện pháp duy nhất để chống rung cho nền là cách rung.

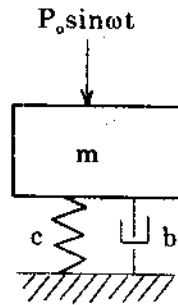
Cuối cùng, cũng cần chú ý là trong nhiều trường hợp, thay vì chống rung truyền từ máy xuống nền, việc cách rung lại được nhằm để chống rung truyền từ nền lên máy. Đây là trường hợp các máy chính xác. Để đảm bảo cho các máy này làm việc chính xác, phải giảm tới mức thấp nhất có thể biên độ rung của máy. Do đó cần ngăn không cho rung động của các máy khác hoặc từ môi trường chung quanh thông qua nền, có thể truyền lên máy chính xác này.

Sau đây, sẽ giới thiệu bài tính cách rung cho nền. Ta sẽ xét hai trường hợp rung không va đập và rung có va đập.

17.1. Cách rung cho nền khi không có va đập

17.1.1. Lực rung truyền xuống nền

Hãy xét bài tính cách rung đơn giản nhất. Mô hình của bài tính này là một hệ dao động một bậc tự do gồm một khối lượng m (chính là khối lượng của máy) chịu tác động của một lực điều hoà P có biên độ P_0 và tần số ω , và được đặt trên hai khâu bố trí song song với nhau một khâu đàn hồi có độ cứng c và một khâu giảm chấn có hệ số ma sát nhớt b . (hình 17.1).



Hình 17.1

Dưới tác động của lực kích rung P , khối lượng m dao động quanh một vị trí trung bình. Vị trí trung bình này chính là vị trí cân bằng của khối lượng m , dưới tác động của trọng lượng bản thân (tức là khi khâu đàn hồi c bị biến dạng tĩnh). Sau đây ta sẽ dùng một trục tọa độ có gốc là vị trí cân bằng này và phương là phương dao động để xét dao động của hệ (xem hình 17.1).

Gọi x là vị trí của khối lượng m tại một thời điểm t và $\dot{x}$ là vận tốc của nó cũng tại thời điểm này thì:

- phản lực mà khâu đàn hồi c truyền lên nền bằng :

$$R_c = cx$$

- phản lực mà khâu giảm chấn b truyền lên nền bằng:

$$R_b = b\dot{x}$$

Do đó lực rung truyền lên nền bằng:

$$R = R_c + R_b$$

hay

$$R = cx + b\dot{x} \quad (17.1)$$

Để xác định lực rung được truyền lên nền, cần phải xác định x và $\dot{x}$.

1. Hãy xét phương trình chuyển động của hệ dao động được xét

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = P_0 \sin \omega t \quad (17.2)$$

Có thể viết lại phương trình này như sau:

$$\ddot{x} + \frac{b}{m}\dot{x} + \frac{c}{m}x = \frac{P_0}{m} \sin \omega t$$

hay

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + p^2x = \frac{P_0}{m} \sin \omega t \quad (17.3)$$

với

$$\left. \begin{aligned} h &= \frac{b}{2m} \quad (a) \\ p^2 &= \frac{c}{m} \quad (b) \end{aligned} \right\} \quad (17.4)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình (17.3) gồm hai thành phần:

$$x = x^* + x^{**}$$

- Thành phần thứ nhất x^* là nghiệm tổng quát của phương trình này khi ta cho vế phải của nó bằng không. Nghiệm này chính là dao động tự do của hệ được xét.

- Thành phần thứ hai x^{**} là một nghiệm đặc biệt của (17.3), và ứng với dao động cưỡng bức của hệ.

Để xác định x^* , hãy đặt

$$x = ce^{\lambda t} \quad (17.5)$$

và thay vào phương trình sau:

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + p^2x = 0 \quad (17.6)$$

Ta suy ra được:

$$\lambda^2 + 2h\lambda + p^2 = 0$$

Nghiệm của phương trình này là:

$$\lambda = -h \pm \sqrt{h^2 - p^2}$$

Vì $h < p$, nên ta có thể đặt:

$$(h^2 - p^2) = i^2 (p^2 - h^2)$$

với $i^2 = -1; (p^2 - h^2) > 0$

Thay vào trên được:

$$\lambda = -h \pm i\sqrt{h^2 - p^2} \quad (17.7a)$$

Thay (17.7a) vào (17.5) được:

$$x^* = ce^{-ht} \sin(\sqrt{h^2 - p^2} t) \quad (17.7b)$$

trong đó c là một hằng số tích phân được xác định dựa vào các điều kiện đầu.

Nếu không có ma sát, tức là nếu

$$b = 0$$

thì

$$h = \frac{b}{2m} = 0 \Rightarrow x^* = c \sin pt$$

p chính là tần số riêng của hệ được xét.

Nếu có ma sát, tức là $b > 0$ thì do sự có mặt của hàm e^{-ht} trong biểu thức (17.7) thành phần dao động tự do x^* , sau một thời gian sẽ tiến tới không. Tất nhiên, mỗi khi có sự thay đổi điều kiện đầu ví dụ khi có một va chạm, hay một sự thay đổi chế độ làm việc thì lại xuất hiện một dao động tự do mới. Nhưng với chế độ làm việc liên tục trong một khoảng thời gian đủ dài, ta có thể bỏ qua thành phần dao động tự do x^* trong x , tức là chỉ xét dao động cưỡng bức:

$$x = x^{**}$$

Để xác định dao động cưỡng bức hãy đặt:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (17.8)$$

và thay vào (17.3), ta được:

$$A(p^2 - \omega^2) \sin(\omega t + \varphi) + 2h\omega \cos(\omega t + \varphi) = \frac{P_0}{m} \sin \omega t$$

hay :

$$A(p^2 - \omega^2) \left\{ \sin(\omega t + \varphi) + \frac{2h\omega}{p^2 - \omega^2} \cos(\omega t + \varphi) \right\} = \frac{P_0}{m} \sin \omega t$$

Đặt :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2h\omega}{p^2 - \omega^2} \quad (17.9)$$

và thay vào trên được:

$$A(p^2 - \omega^2) \{ \sin(\omega t + \varphi) + \operatorname{tg} \delta \cos(\omega t + \varphi) \} = \frac{P_0}{m} \sin \omega t$$

hay

$$\frac{A(p^2 - \omega^2)}{\cos \delta} \sin(\omega t + \varphi + \delta) = \frac{P_0}{m} \sin \omega t \quad (17.10)$$

Vì:

$$\cos \delta = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}}$$

nên từ (17.9):

$$\cos \delta = \frac{p^2 - \omega^2}{\sqrt{(p^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2}}$$

Thay vào (17.10) được:

$$A \sqrt{(p^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2} \sin(\omega t + \varphi + \delta) = \frac{P_0}{m} \sin \omega t$$

Từ đó suy ra

$$\varphi = -\delta$$

hay :

$$\varphi = -\operatorname{arctg} \frac{2h\omega}{p^2 - \omega^2} \quad (17.11)$$

và

$$A = \frac{P_0}{m \sqrt{(p^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2}} \quad (17.12)$$

A chính là biên độ dao động cưỡng bức của khối lượng m , tức là của máy trên đệm đàn hồi - nhớt (b, c) còn φ là góc lệch pha giữa dao động cưỡng bức và lực kích động P .

Đặt:

$$q = \frac{\omega}{p} \quad (17.13)$$

$$\varepsilon = \frac{h}{p} \quad (17.14)$$

có thể viết lại biểu thức (17.12) của A như sau:

$$A = \frac{P_0}{mp^2 \sqrt{(1-q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}} \quad (17.15)$$

2. Bây giờ hãy xác định lực rung được truyền xuống nền (công thức (17.1)):

$$R = cx + b\ddot{x}$$

Thay

$$x = A \sin(\omega t + \varphi)$$

vào biểu thức trên đây của R , được:

$$\begin{aligned} R &= A \{c \sin(\omega t + \varphi) + b\omega \cos(\omega t + \varphi)\} \\ &= Am \{p^2 \sin(\omega t + \varphi) + 2h\omega \cos(\omega t + \varphi)\} \end{aligned}$$

hay

$$R = \text{Amp}^2 \left\{ \sin(\omega t + \varphi) + \frac{2h\omega}{p^2} \cos(\omega t + \varphi) \right\}$$

Đặt

$$\text{tg } \gamma = \frac{2h\omega}{p^2} \quad (17.16)$$

và thay vào công thức trên của R , ta suy ra:

$$R = \frac{\text{Amp}^2}{\cos \gamma} \sin(\omega t + \varphi + \gamma)$$

Vì

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \gamma}} = \frac{p^2}{\sqrt{p^4 + 4h^2 \omega^2}}$$

nên ta có:

$$R = mA \sqrt{p^4 + 4h^2 \omega^2} \sin(\omega t + \varphi + \gamma)$$

hay :

$$R = mAp^2 \sqrt{1 + 4\varepsilon^2 q^2} \sin(\omega t + \varphi + \gamma)$$

với

$$q = \frac{\omega}{p}; \varepsilon = \frac{h}{p}$$

Thay A bằng (17.15) vào công thức trên của R cuối cùng được:

$$R = P_0 \frac{\sqrt{1 + 4\varepsilon^2 q^2}}{\sqrt{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}} \sin(\omega t + \varphi + \gamma) \quad (17.17)$$

hay :

$$R = R_0 \sin (\omega t + \varphi + \gamma) \quad (17.18)$$

với

$$R_0 = P_0 \frac{\sqrt{1 + 4\varepsilon^2 q^2}}{\sqrt{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}} \quad (17.19)$$

là biên độ của lực rung được truyền xuống nền trong mô hình được xét.

17.1.2. Chế độ làm việc của bộ cách rung một bậc tự do

Bây giờ hãy dùng các công thức (17.19) và (17.15) để phân tích chế độ làm việc của bộ cách rung được xét. Chú ý là biên độ P_0 của lực kích động có thể bằng hằng mà cũng có thể tỉ lệ với bình phương vận tốc của máy. Ta sẽ lần lượt xét hai trường hợp này.

1. Trước hết xét trường hợp P_0 bằng hằng

1) Công thức (17.19) cho thấy:

a) khi:

$$\omega = 0 \Rightarrow q = 0$$

$$\omega = p\sqrt{2} \Rightarrow q = \sqrt{2}$$

thì với bất kỳ giá trị nào của ε , tức là với bất kỳ giá trị nào của hệ số ma sát b , ta luôn có:

$$R_0 = P_0$$

Như vậy tất cả các đường cong:

$$R_0 = R_0(q, \varepsilon)$$

biểu diễn R_0 theo q , ứng với các giá trị ε khác nhau đều đi qua hai điểm sau đây (hình 17.2):

$$q = 0, R_0 = P_0$$

$$q = \sqrt{2}; R_0 = P_0$$

b) khi

$$\omega < p\sqrt{2} \Rightarrow q < \sqrt{2}$$

ta có:

$$R_0 > P_0$$

đây là *miền khuếch đại* lực rung của bộ cách rung được xét

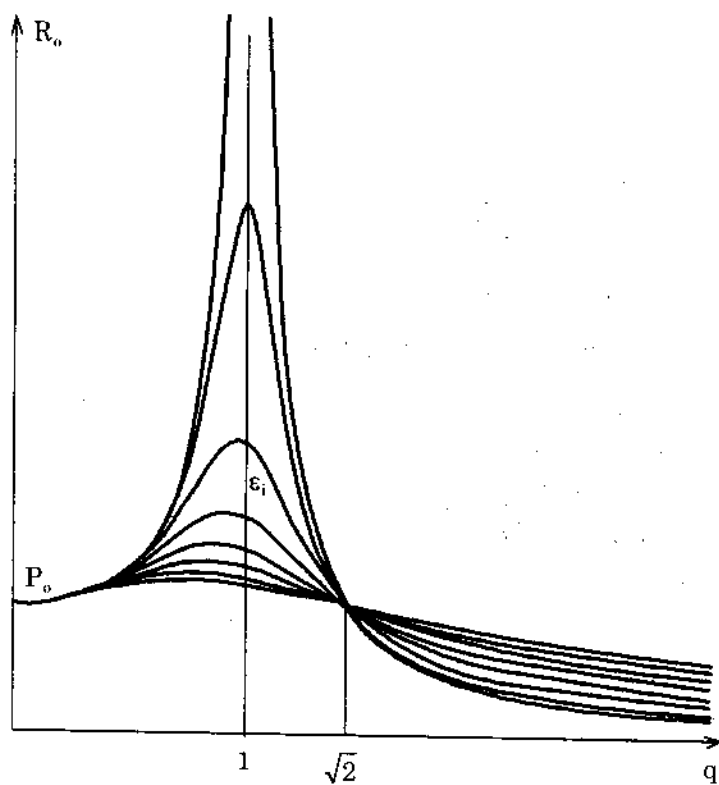
Còn khi

$$\omega > p\sqrt{2} \Rightarrow q > \sqrt{2}$$

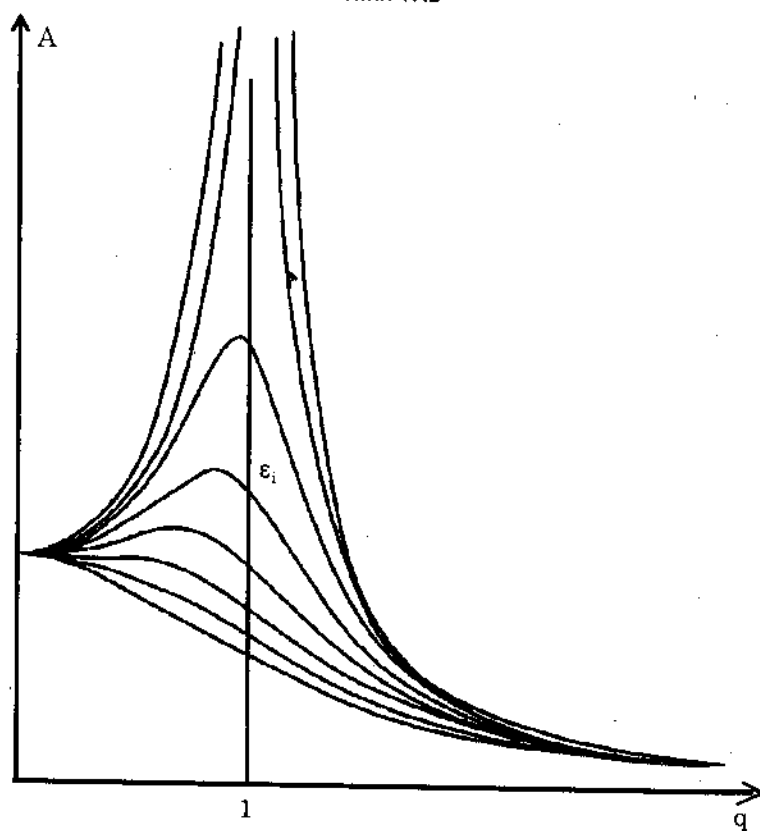
thì:

$$R_0 < P_0$$

và đây là *miền cách rung* của nó.



Hình 17.2



Hình 17.3

c) R_0 sẽ cực đại khi:

$$\frac{dR_0}{dq} = 0$$

Thay R_0 bằng (17.19) vào phương trình trên, ta suy ra được:

$$2\varepsilon^2 q^4 + q^2 - 1 = 0$$

nghiệm (q^2) của phương trình này là:

$$q^2 = \frac{-1 + \sqrt{1 + 8\varepsilon^2}}{4\varepsilon^2}$$

Vì

$$1 + \sqrt{1 + 8\varepsilon^2} > 0$$

nên ta có thể viết:

$$q^2 = \frac{-1 + \sqrt{1 + 8\varepsilon^2}}{4\varepsilon^2} = \frac{(-1 + \sqrt{1 + 8\varepsilon^2})(1 + \sqrt{1 + 8\varepsilon^2})}{4\varepsilon^2(1 + \sqrt{1 + 8\varepsilon^2})}$$

hay :

$$q^2 = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 8\varepsilon^2}}$$

do đó:

$$q = \sqrt{\frac{2}{1 + \sqrt{1 + 8\varepsilon^2}}} \quad (17.20)$$

Như vậy hiện tượng cộng hưởng đối với lực rung được truyền xuống nền xảy ra khi q có giá trị được tính bằng (17.20). Công thức này cho thấy khi $\varepsilon > 0$, $q < 1$, và khi ε càng lớn thì q càng giảm. Như vậy khi có ma sát hiện tượng cộng hưởng của lực rung được truyền xuống nền khi vận tốc làm việc ω nhỏ hơn tần số riêng p và khi ma sát càng lớn thì vận tốc cộng hưởng ω càng nhỏ hơn p .

Khi $\varepsilon = 0$, tức là khi không có ma sát:

$$q = 1$$

nghĩa là hiện tượng cộng hưởng của lực rung được truyền xuống nền chỗ xảy ra khi $\omega = p$ trong trường hợp không có ma sát.

d) Bây giờ nếu lấy đạo hàm của R_0 theo ε , ta sẽ được:

$$\frac{dR_0}{d\varepsilon} = k(q^2 - 2) \quad (17.21)$$

Với k là một hạng thức của q và ε , có giá trị dương với mọi giá trị dương của q và ε .

Công thức (17.21) cho thấy:

Khi $\omega > p\sqrt{2}$, $q^2 > 2$ và $\frac{dR_0}{d\varepsilon} > 0$

tức là R_0 đồng biến với ε . Nhưng miền $\omega > p\sqrt{2}$ lại là miền cách rung của bộ cách rung (miền ứng với $R_0 < P_0$). Như vậy trong miền cách rung của bộ cách rung được xét, việc tăng lực ma sát (tăng ε) sẽ làm tăng lực rung truyền xuống nền.

2) Các điều phân tích trên đây được thể hiện trên đồ thị hình (17.2). Đồ thị này biểu diễn họ đường cong $R(q, \varepsilon)$ theo q và ứng với các giá trị ε khác nhau. Tất cả các đường cong này có tiệm cận ngang là trục q bởi vì khi $q \rightarrow \infty$ thì theo công thức (17.19), $R_0 \rightarrow 0$.

Đối với các máy không phải là máy rung, khi tiến hành cách rung cho nền cần đảm bảo giữ cho biên độ rung của máy không được lớn quá một giá trị nhất định. Đối với mô hình được xét biên độ rung của máy được cho bởi công thức (17.12).

Hiện tượng cộng hưởng đối với dao động của máy xảy ra khi:

$$\frac{dA}{dq} = 0$$

Thay (17.15) vào phương trình trên, ta suy ra được, khi đó:

$$q = \sqrt{1 - 2\varepsilon^2}$$

Khi có ma sát, tức là khi $\varepsilon > 0$ thì $q < 1$, do đó, cũng tương tự như đối với lực rung được truyền xuống nền, đối với dao động của máy trong trường hợp được xét (tức là khi P_0 bằng hằng) hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi $\varepsilon < q$, và khi ma sát càng lớn thì vận tốc cộng hưởng càng nhỏ hơn p . Tuy nhiên, các dao động của máy và lực rung truyền xuống nền, cộng hưởng ở các giá trị q khác nhau (lực rung truyền xuống nền, cộng hưởng ở một giá trị q lớn hơn). Khi không có ma sát, dao động của máy cộng hưởng ở $q = 1$, tức là khi $\omega = p$.

Trên hình 17.3 là đồ thị cho quan hệ của biên độ dao động A của máy với q . Đồ thị này gồm một họ, đường cong khác nhau ứng với các giá trị ε khác nhau.

3) Trong một số công thức trên đây có dùng đại lượng ε , được định nghĩa bằng (17.14). Hãy phân tích ý nghĩa của đại lượng này.

a) Đại lượng ε được gọi là tỉ suất giảm chấn. Ý nghĩa của *tỉ suất giảm chấn* là khi giá trị của nó càng lớn thì dao động tự do của hệ tắt càng nhanh. Đặc biệt khi $\varepsilon = 1$ thì sau khi được đưa ra khỏi vị trí cân bằng và để tự do, hệ sẽ không dao động mà trở về vị trí này theo quy luật hàm mũ. Thật vậy, theo (17.14) khi đó h sẽ đạt một giá trị gọi là hệ số nhớt tối hạn h_{th} :

$$h_{th} = p \quad (17.22)$$

Phương trình dao động tự do của hệ được xét khi đó là (thay h trong 17.6 bằng p):

$$\ddot{x} + 2p\dot{x} + p^2x = 0$$

và phương trình đặc trưng của phương trình dao động này là:

$$\lambda^2 + 2p\lambda + p^2 = 0$$

Nghiệm của phương trình trên là

$$\lambda = -p$$

Thay giá trị này của λ vào (17.5), được:

$$x = ce^{\lambda t} = ce^{-pt}$$

đây là điều phải chứng minh.

Thay (17.22) vào (17.14) ta có:

$$\varepsilon = \frac{h}{h_{th}}$$

tức là ε bằng tỉ lệ giữa hệ số nhớt và hệ số nhớt tới hạn. Chính vì thế mà đại lượng này được gọi là tỉ suất giảm chấn.

b) Tỉ suất giảm chấn ε gần như bằng hằng trong trường hợp các bộ cách rung thủy lực, tức là giá trị của nó không thay đổi theo tần số làm việc ω của bộ cách rung. Đây chính là trường hợp mà ta vừa xét ở trên. Nhưng đối với các bộ cách rung cao su, thì trong một dải khá rộng của tần số làm việc ω của bộ cách rung, tỉ suất giảm chấn ε tỉ lệ nghịch với ω tức là:

$$\varepsilon\omega = \text{hằng}$$

gọi ε_p là tỉ suất giảm chấn ứng với vận tốc cộng hưởng tức là ứng với trường hợp $\omega = p$, ta có:

$$\varepsilon_p p = \varepsilon\omega$$

giá trị ε_p được gọi là *tỉ suất giảm chấn đặc trưng* của bộ cách rung cao su (nói đúng hơn là của loại cao su dùng trong bộ cách rung được xét).

Như vậy, giá trị ε ứng với một tần số làm việc ω của bộ cách rung có thể tính theo công thức sau:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_p p}{\omega} \quad (17.23)$$

4) *Hãy xác định biên độ của lực rung truyền xuống nền và biên độ rung của máy trong trường hợp bộ cách rung cao su. Ta có:*

$$\varepsilon^2 q^2 = \varepsilon_p^2 \frac{p^2}{\omega^2} \frac{\omega^2}{p^2} = \varepsilon_p^2$$

Thay vào các công thức (17.15) và (17.19) được:

$$R_o = P_o \sqrt{\frac{1 + 4\varepsilon_p^2}{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon_p^2}} \quad (17.24)$$

và

$$A = \frac{P_o}{mp^2 \sqrt{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon_p^2}} \quad (17.25)$$

với ε_p là một hằng số.

Các phân tích đã nêu ở trên đối với các công thức (17.15) và (17.19) (tức là biên độ lực rung được truyền xuống nền R_o và biên độ rung của máy A (trong trường hợp bộ cách

rung thủy lực) nói chung đều đúng với các công thức (17.24) và (17.25) trên đây (tức là trường hợp bộ cách rung cao su), trừ một điều là với bộ cách rung cao su, vận tốc cộng hưởng ω luôn bằng tần số riêng p .

2. Bây giờ hãy xét trường hợp biên độ lực kích động tỉ lệ với bình phương vận tốc của máy

Ta có: $P_0 = m_0 a \omega^2$ (17.26)

với m_0 và a có thứ nguyên lần lượt của một khối lượng và một chiều dài.

Thay (17.26) vào (17.19), ta được:

$$R_0 = m_0 a \omega^2 \sqrt{\frac{1 + 4\varepsilon^2 q^2}{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}}$$

Vì:

$$\omega^2 = p^2 q^2$$

nên có thể viết:

$$R_0 = m_0 a p^2 q^2 \sqrt{\frac{1 + 4\varepsilon^2 p^2}{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}}$$

hay:

$$R_0 = Q q^2 \sqrt{\frac{1 + 4\varepsilon^2 q^2}{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}} \quad (17.27)$$

với:

$$Q = m_0 a p^2$$

có thứ nguyên của một lực.

Cũng thay (17.26) vào (17.15) được:

$$\begin{aligned} A &= \frac{m_0 a \omega^2}{m p^2 \sqrt{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}} \\ &= \frac{m_0 a}{m} \frac{q^2}{\sqrt{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}} \end{aligned}$$

hay:

$$A = L \sqrt{\frac{q^4}{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}} \quad (17.28)$$

với

$$L = \frac{m_0 a}{m}$$

có thứ nguyên của một chiều dài.

- 1) Trước hết hãy xét trường hợp của bộ cách rung thủy lực tức là trường hợp ε bằng hằng.

Từ công thức (17.27) có thể suy ra các điều sau:

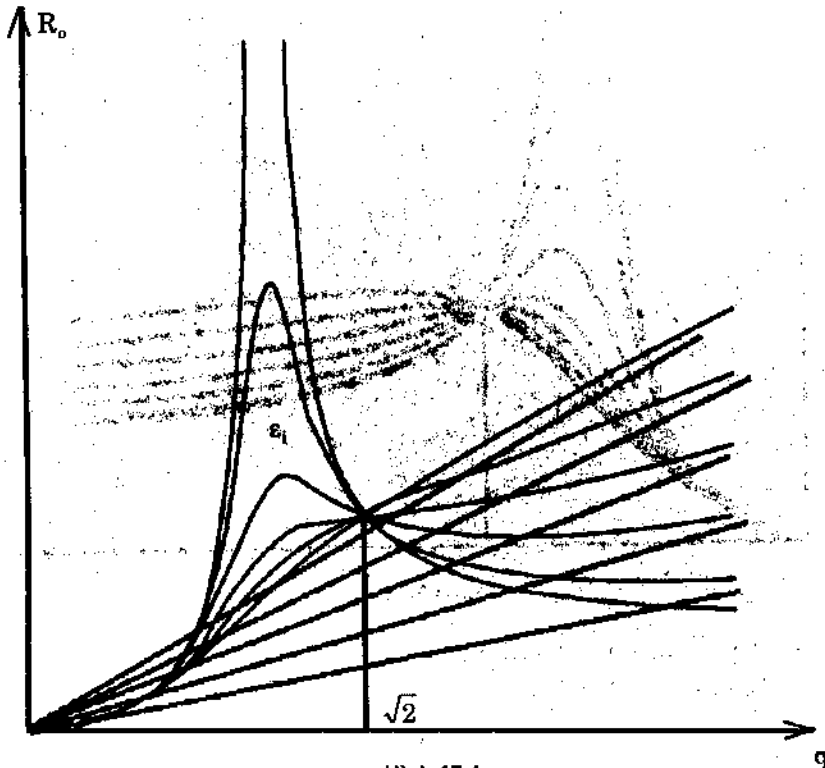
- Với bất kì giá trị nào của ε , khi $q = 0$, $R_0 = 0$ và khi $q = \sqrt{2}$, $R_0 = 2Q$.
- Khi $\varepsilon < \frac{1}{2\sqrt{2}}$, R_0 có một cực trị tại một giá trị $q > 1$, (tức là vận tốc cộng hưởng ω đối với lực rung truyền xuống nền lớn hơn tần số riêng p của hệ).
- Có thể viết lại công thức (17.27) như sau:

$$R_0 = Qq \sqrt{\frac{4\varepsilon^2 q^4 + q^2}{q^4 + (4\varepsilon^2 - 2)q^2 + 1}}$$

$$= Qq \sqrt{\frac{4\varepsilon^2 + \frac{1}{q^2}}{1 + \frac{(4\varepsilon^2 - 2)}{q^2} + \frac{1}{q^4}}}$$

Khi $q \rightarrow \infty$, $R_0 \rightarrow 2\varepsilon Qq$ tức là R_0 có các đường tiệm cận xiên khác nhau ứng với các giá trị $\varepsilon > 0$ khác nhau. Khi $\varepsilon = 0$, đường tiệm cận nằm ngang. Một điều quan trọng cần nhấn mạnh ở đây là: giá trị R_0 khi cộng hưởng không phải là giá trị lớn nhất của nó, trừ trường hợp $\varepsilon = 0$.

Trên hình 17.4 là đồ thị cho quan hệ của R_0 và q . Đồ thị này gồm một họ đường cong, mỗi đường cong ứng với một giá trị ε nhất định.



Hình 17.4

2) Trong trường hợp bộ cách rung cao su:

$$\varepsilon^2 q^2 = \varepsilon_p^2$$

Thay vào (17.27), được:

$$R_o = Qq \sqrt{\frac{q^2(1 + 4\epsilon_p^2)}{(1 - q^2)^2 + 4\epsilon_p^2}}$$

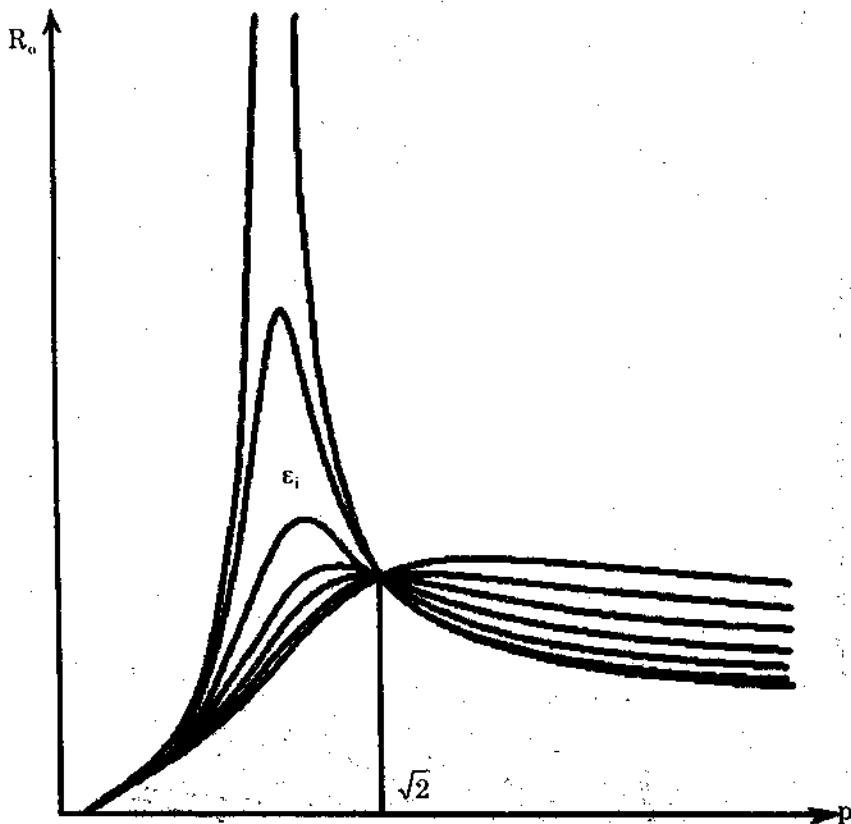
hay:

$$R_o = Qq \sqrt{\frac{q^2(1 + 4\epsilon_p^2)}{q^4 - 2q^2 + 1 + 4\epsilon_p^2}} \quad (17.29)$$

Từ công thức này ta thấy với các bộ cách rung cao su, các đường cong $R_o(q)$ ứng với các giá trị ϵ_p khác nhau đều đi qua hai điểm:

$$q = 0; R_o = 0$$

$$q = \sqrt{2}; R_o = 2\varphi$$



Hình 17.5

Cũng giống như trường hợp bộ cách rung thủy lực, ở đây R_o có một cực trị tại một giá trị $q > 1$ (tức là vận tốc cộng hưởng lớn hơn tần số riêng của hệ), nhưng với bất kỳ giá trị ϵ_p nào.

Ngoài ra, từ (17.29) ta có thể viết:

$$R_0 = Q \sqrt{\frac{1 + \frac{4\varepsilon_p^2}{q^4}}{1 - \frac{2}{q^2} + \frac{1 + 4\varepsilon_p^2}{q^4}}}$$

Do đó khi q tiến tới vô cùng R_0 sẽ tiệm cận tới giá trị Q hữu hạn (hình 17.5). Đây cũng chính là điều khác nhau cơ bản giữa bộ cách rung cao su và bộ cách rung thủy lực.

Biên độ rung của máy rung trường hợp bộ cách rung thủy lực được cho bằng công thức (17.28):

$$A = L \sqrt{\frac{q^4}{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon_p^2 q^2}} \quad (17.30a)$$

và trong trường hợp bộ cách rung bằng cao su:

$$A = L \sqrt{\frac{q^4}{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon_p^2}} \quad (17.30b)$$

Tuy có khác nhau đôi chút nhưng các đường cong (17.28) ứng với các giá trị ε khác nhau và các đường cong (17.30) ứng với các giá trị ε_p khác nhau đều đi qua điểm:

$$q = 0, A = 0$$

đều có đường tiệm cận ngang là đường:

$$A = L$$

và đều có cực trị tại điểm $q > 1$. Đối với các bộ cách rung thủy lực, cực trị của A xảy ra tại:

$$q = \frac{1}{\sqrt{1 - 2\varepsilon_p^2}}$$

và đối với các bộ cách rung cao su, tại:

$$q = \sqrt{1 + 4\varepsilon_p^2}$$

Chú thích. Ta vừa xét bài tính cách rung cho nền. Như đã nói ở trên, trong nhiều trường hợp việc cách rung lại nhằm chống rung truyền từ nền lên máy. Mô hình bài tính khi đó là một hệ dao động cưỡng bức động học (hình 17.6). Xét trường hợp đơn giản khi nền dao động điều hòa với biên độ B_0 và tần số ω . Gọi X là toạ độ tuyệt đối của máy và x là toạ độ tương đối của nó đối với nền, ta có:

$$X = x + B_0 \sin \omega t \quad (17.31)$$

Phương trình chuyển động của hệ là:

$$m \ddot{X} + b \dot{x} + cx = 0 \quad (17.32)$$

với b, c lần lượt là hệ số ma sát và độ cứng của bộ cách rung. Từ (17.31), ta có:

$$\ddot{x} = \ddot{X} - B_0 \omega^2 \cos \omega t$$

$$\dot{x} = \dot{X} - \omega B_0 \sin \omega t$$

Thay các biểu thức trên vào (17.32) được:

$$m\ddot{X} + b(\dot{X} - \omega B_0 \cos \omega t) + c(X - B_0 \sin \omega t) = 0$$

hay :

$$m\ddot{X} + b\dot{X} + cX = B_0(c \sin \omega t + b\omega \cos \omega t)$$

hay :

$$\ddot{X} + \frac{b}{m}\dot{X} + \frac{c}{m}X = B_0 \left(\frac{c}{m} \sin \omega t + \frac{b}{m} \omega \cos \omega t \right)$$

Vì:

$$\frac{c}{m} = p^2; \frac{b}{m} = 2h$$

nên ta cũng có:

$$\ddot{X} + 2h\dot{X} + p^2X = B_0(p^2 \sin \omega t + 2h\omega \cos \omega t)$$

hay :

$$\ddot{X} + 2h\dot{X} + p^2X = B_0 \sqrt{p^4 + 4h^2\omega^2} \sin(\omega t + \delta) \quad (17.33)$$

với:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2h\omega}{p^2}$$

Phương trình (17.33) có dạng giống dạng của phương trình (17.3) do đó để xác định biên độ rung của máy do tác động của nền ta có thể dùng công thức (17.15), sau khi cho :

$$\frac{P_0}{m} = B_0 \sqrt{p^4 + 4h^2\omega^2}$$

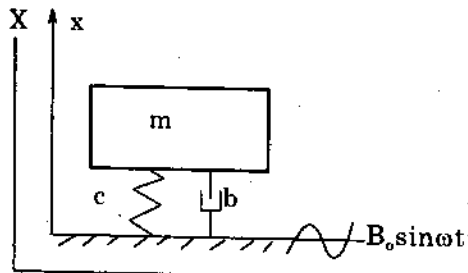
Ta có:

$$A = \frac{B_0 \sqrt{p^4 + 4h^2\omega^2}}{p^2 \sqrt{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}}$$

hay

$$A = B_0 \frac{\sqrt{1 + 4\varepsilon^2 q^2}}{\sqrt{(1 - q^2)^2 + 4\varepsilon^2 q^2}} \quad (17.34)$$

Công thức (17.34) có dạng giống hệt công thức (17.19) dùng để xác định biên độ lực rung được truyền xuống nền, do đó ta có thể áp dụng các kết quả, các đồ thị đã nhận được đối với biên độ lực rung truyền xuống nền R_0 trong bài tính cách rung cho nền đã xét trên đây cho biên độ rung A của máy trong bài tính chống rung từ nền truyền lên máy.



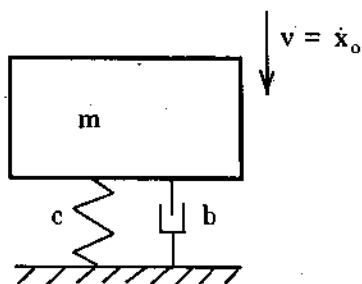
Hình 17.6

17.2. Cách rung cho nền khi có va đập

1. Mô hình của bài tính là một hệ dao động một bậc tự do, dao động tự do với một vận tốc ban đầu (hình 17.7).

$$\dot{x}_0 = \dot{x}(t_0) = v$$

v là vận tốc của khối lượng m ngay sau khi bị va đập (xem phụ lục cuối chương).



Hình 17.7

Phương trình chuyển động của hệ là:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = 0$$

hay

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + p^2x = 0$$

và nghiệm của nó có dạng (xem 17.7):

$$x = Ae^{-ht} \sin \sqrt{p^2 - h^2} t$$

hay

$$x = Ae^{-\varepsilon pt} \sin(p\sqrt{1 - \varepsilon^2} t)$$

với (xem 17.14)

$$\varepsilon = \frac{h}{p}$$

Vì $\varepsilon \leq 1$, nên có thể đặt:

$$\varepsilon = \sin \theta \quad (17.35)$$

Thay vào công thức trên đây của x , được:

$$x = Ae^{-(p \sin \theta)t} \sin(p \cos \theta t) \quad (17.36)$$

vận tốc dao động như vậy bằng

$$\dot{x} = pAe^{-(p \sin \theta)t} \{-\sin \theta \sin(p \cos \theta)t + \cos \theta \cos(p \cos \theta)t\}$$

hay

$$\dot{x} = pAe^{-(p \sin \theta)t} \cos[(p \cos \theta)t + \theta] \quad (17.37)$$

Theo giả thiết

$$\dot{x}_0 = \dot{x}(t=0) = v$$

do đó:

$$v = pA \cos \theta$$

Từ đó suy ra:

$$A = \frac{v}{p \cos \theta} \quad (17.38)$$

Thay biểu thức này của A vào các công thức (17.36) và (17.37) lần lượt được:

$$x = \frac{v}{p \cos \theta} e^{-(p \sin \theta)t} \sin(p \cos \theta)t \quad (17.39)$$

$$\dot{x} = \frac{v}{\cos \theta} e^{-(p \sin \theta)t} \cos[(p \cos \theta)t + \theta] \quad (17.40)$$

Chú ý đại lượng:

$$A = \frac{v}{p \cos \theta}$$

không phải là biên độ cực đại của dao động của máy - có những biên độ liên tiếp xảy ra tại các thời điểm ở đó:

$$\frac{dx}{dt} = 0$$

hay (17-40):

$$\cos[(p \cos \theta)t + \theta] = 0$$

tức là:

$$(p \cos \theta)t + \theta = (2k+1) \frac{\pi}{2}$$

Biên độ cực đại thứ nhất, cũng là biên độ quan trọng nhất xảy ra khi $k = 0$, tức là:

$$(p \cos \theta)t + \theta = \frac{\pi}{2}$$

hay khi:

$$t = t_A = \frac{\frac{\pi}{2} - \theta}{p \cos \theta} \quad (17.41)$$

Biên độ cực đại thứ nhất khi đó bằng:

$$A_{\max} = \frac{v}{p} e^{\left\{ \frac{\frac{\pi}{2} - \theta}{2} \right\} \left[\frac{\pi}{2} - \theta \right]}$$

Có thể thấy rằng biên độ $A_{\max}$ này:

- giảm khi θ tăng

- khi $\theta \rightarrow 0$, $A \rightarrow \frac{v}{p}$

- khi $\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}$ tức là $\varepsilon \rightarrow 1$ thì $A \rightarrow \frac{v}{p}$

2. Lực truyền xuống nền R bằng (xem 17.1)

$$R = cx + b \dot{x}$$

d) Thay:

$$c = p^2 m$$

$$b = 2p\epsilon m$$

vào các biểu thức (17.39) của x , (17.40) của $\dot{x}$ vào công thức trên đây của R , ta được:

$$R = mp^2 \frac{v}{p \cos \theta} e^{-(p \sin \theta)t} \sin(p \cos \theta)t + 2p\epsilon m \frac{v}{\cos \theta} e^{-(p \sin \theta)t} \cos[(p \cos \theta)t + \theta]$$

hay:

$$R = \frac{mpv}{\cos \theta} e^{-(p \sin \theta)t} \{\sin(p \cos \theta)t + 2\epsilon \cos[(p \cos \theta)t + \theta]\}$$

Ta lại có:

$$\begin{aligned} 2\epsilon \cos[(p \cos \theta)t + \theta] &= 2\sin \theta \cos[(p \cos \theta)t + \theta] \\ &= \sin[(p \cos \theta)t + 2\theta] - \sin(p \cos \theta)t \end{aligned}$$

Thay vào công thức vừa suy ra được trên đây của R , cuối cùng được:

$$R = \frac{mpv}{\cos \theta} e^{-(p \sin \theta)t} \sin[(p \cos \theta)t + 2\theta] \quad (17.42)$$

R cực đại khi:

$$\frac{dR}{dt} = 0$$

Thay (17.42) vào công thức này được:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{mpv}{\cos \theta} e^{-(p \sin \theta)t} \{-p \sin \theta \sin[(p \cos \theta)t + 2\theta] + p \cos \theta \cos[(p \cos \theta)t + 2\theta]\}$$

hay:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{mp^2 v}{\cos \theta} e^{-(p \sin \theta)t} \cos[(p \cos \theta)t + 3\theta]$$

Do đó khi $\frac{dR}{dt} = 0$, phải có $\cos[(p \cos \theta)t + 3\theta] = 0$

hay:

$$(p \cos \theta)t + 3\theta = (2k + 1) \frac{\pi}{2}$$

khi lấy $k = 1$, ta có:

$$p \cos \theta + 3\theta = \frac{\pi}{2}$$

từ đó suy ra:

$$t = t_R = \frac{\frac{\pi}{2} - 3\theta}{p \cos \theta} \quad (17.43)$$

Vì $t > 0$ nên phải có:

$$\theta < \frac{\pi}{6}$$

Như vậy:

• Khi $\theta > \frac{\pi}{6}$ tức là khi $\varepsilon > 0,5$, sẽ không có cực trị nào của lực R sau thời điểm $t=0$, khi có va đập. Như vậy lực rung truyền xuống nền cực đại ngay khi xảy ra va đập.

• Khi $\theta < \frac{\pi}{6}$, tức là khi $\varepsilon < 0,5$, lực rung được truyền xuống nền sẽ cực đại trong khoảng thời gian giữa thời điểm va đập và thời điểm biên độ rung của máy đạt cực trị.

Thật vậy ta có (xem (17.41) và (17.43)):

$$t_R = \frac{\frac{\pi}{2} - 3\theta}{p \cos \theta} < t_A = \frac{\frac{\pi}{2} - \theta}{p \cos \theta}$$

• Cực đại của lực rung truyền xuống nền được tính bằng cách thay (17.43) vào (17.42). Ta được:

$$R_{\max} = mpve^{-\left(\frac{\pi}{2} - 3\theta\right) \operatorname{tg} \theta} \quad (17.44)$$

Tất nhiên cần làm cho $R_{\max}$ càng nhỏ càng tốt. Hãy lấy đạo hàm của $R_{\max}$ theo θ . Ta có:

$$\frac{dR_{\max}}{d\theta} = mpve^{-\left(\frac{\pi}{2} - 3\theta\right) \operatorname{tg} \theta} \left\{ 3 \operatorname{tg} \theta - \left(\frac{\pi}{2} - 3\theta \right) (1 + \operatorname{tg}^2 \theta) \right\}$$

Nhưng:

$$\begin{aligned} 3 \operatorname{tg} \theta - \left(\frac{\pi}{2} - 3\theta \right) (1 + \operatorname{tg}^2 \theta) &= \left\{ \frac{1}{\cos^2 \theta} \left[3 \operatorname{tg} \theta \cos^2 \theta - \left(\frac{\pi}{2} - 3\theta \right) \right] \right\} \\ &= \frac{1}{\cos^2 \theta} \left\{ 3 \sin \theta \cos \theta - \left(\frac{\pi}{2} - 3\theta \right) \right\} = \frac{1}{\cos^2 \theta} \left\{ \frac{3}{2} \sin 2\theta + 3\theta - \frac{\pi}{2} \right\} \end{aligned}$$

do đó:

$$\frac{dR_{\max}}{d\theta} = \frac{3}{2} mpve^{-\left(\frac{\pi}{2} - 3\theta\right) \operatorname{tg} \theta} \left\{ \sin 2\theta + 2\theta - \frac{\pi}{3} \right\} \frac{1}{\cos^2 \theta}$$

và:

$$\frac{dR_{\max}}{d\theta} = 0$$

khi:

$$\sin 2\theta + 2\theta = \frac{\pi}{3} \quad (17.45)$$

Nghiệm của phương trình này là:

$$\theta \approx 15^\circ 24'$$

ứng với:

$$\varepsilon = \sin \theta = 0,266$$

17.3. Phụ lục chương 17

1. Một số khái niệm về va đập

Trên đây, để xác định lực rung được truyền xuống nền trong trường hợp có va đập, ta đã dùng mô hình hệ một bậc tự do dao động tự do với vận tốc ban đầu v . Như vậy muốn tính lực rung được truyền xuống nền trong bài tính được xét cần biết giá trị của vận tốc ban đầu v này.

Vận tốc v này chính là vận tốc của khối lượng m trong mô hình ngay sau khi bị va đập.

Bây giờ hãy xét một số khái niệm về va đập cần thiết cho việc xác định vận tốc v nói trên.

a. Xét hai khối lượng m_1, m_2 va đập với nhau trong các điều kiện sau:

- vào thời điểm va đập, cả hai khối lượng đều không chịu tác động của một ngoại lực nào.

- các khối lượng này đều không có chuyển động quanh trọng tâm tương ứng.

- va đập là tức thời.

Ngoài ra ta giả thiết thêm là vận tốc của hai khối lượng trước và sau va đập đều cùng phương với nhau.

Trong các điều kiện được nêu trên đây ta có:

$$m_1 \bar{v}_{1+} + m_2 \bar{v}_{2+} = m_1 \bar{v}_{1-} + m_2 \bar{v}_{2-} \quad (17.46)$$

- $\bar{v}_{1-}, \bar{v}_{1+}$ lần lượt là giá trị đại số của vận tốc của khối lượng m_1 ngay trước và ngay sau thời điểm va đập.

- $\bar{v}_{2-}, \bar{v}_{2+}$ lần lượt là giá trị đại số của vận tốc của khối lượng m_2 ngay trước và ngay sau thời điểm va đập.

Ta cần phải xác định $\bar{v}_{1+}, \bar{v}_{2+}$ khi cho trước $\bar{v}_{1-}, \bar{v}_{2-}$. Riêng phương trình (17.46) không đủ để giải bài tính này. Để có được một phương trình thứ hai, ta phải dựa vào tính chất của va đập.

b. Có hai trường hợp giới hạn của va đập: va đập cứng và va đập mềm.

1^o) *Va đập cứng* là va đập không có sự tiêu thụ và cung cấp năng lượng, nói một cách khác, động năng của hệ được bảo toàn, ta có:

$$m_1 v_{1+}^2 + m_2 v_{2+}^2 = m_1 v_{1-}^2 + m_2 v_{2-}^2$$

Như vậy để xác định $\bar{v}_{1+}, \bar{v}_{2+}$ ta có hệ hai phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \bar{v}_{1+} + m_2 \bar{v}_{2+} &= m_1 \bar{v}_{1-} + m_2 \bar{v}_{2-} \\ m_1 v_{1+}^2 + m_2 v_{2+}^2 &= m_1 v_{1-}^2 + m_2 v_{2-}^2 \end{aligned} \right\} \quad (17.47)$$

hay:

$$\left. \begin{aligned} m_1(\bar{v}_{1+} - \bar{v}_{1-}) &= -m_2(\bar{v}_{2+} - \bar{v}_{2-}) \\ m_1(v_{1+}^2 - v_{1-}^2) &= -m_2(v_{2+}^2 - v_{2-}^2) \end{aligned} \right\} \quad (17.48)$$

từ (17.48) suy ra:

$$\bar{v}_{2+} - \bar{v}_{1+} = -(\bar{v}_{2-} - \bar{v}_{1-}) \quad (17.49)$$

Biểu thức (17.49) cho thấy vận tốc tương đối giữa hai khối lượng trước và sau khi va đập có cùng giá trị và ngược chiều nhau như vậy đã có sự nảy hoàn toàn.

Từ (17.47) và (17.49) suy ra được:

$$\left. \begin{aligned} \bar{v}_{1+} &= \frac{(m_1 - m_2)\bar{v}_{1-} + 2m_2\bar{v}_{2-}}{m_1 + m_2} \\ \bar{v}_{2+} &= \frac{(m_2 - m_1)\bar{v}_{2-} + 2m_1\bar{v}_{1-}}{m_1 + m_2} \end{aligned} \right\} \quad (17.50)$$

2^o) Va đập mềm là va đập mà sau đó hai khối lượng chập lại với nhau thành một khối do đó có cùng vận tốc:

$$\bar{v}_+ = \bar{v}_{1+} = \bar{v}_{2+}$$

Như vậy, ta có:

$$\bar{v}_+ = \frac{m_1\bar{v}_{1-} + m_2\bar{v}_{2-}}{m_1 + m_2} \quad (17.51)$$

Trong trường hợp va đập mềm có một phần năng lượng của hệ được tiêu thụ bằng:

$$\Delta E = \frac{1}{2}(m_1 v_{1-}^2 + m_2 v_{2-}^2) - \frac{1}{2}(m_1 + m_2) v_+^2$$

hay

$$\Delta E = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} \right] (v_{1-} - v_{2-})^2 \quad (17.52)$$

c. Một trường hợp đặc biệt là một trong hai khối lượng đứng yên trước khi va đập. Khối lượng này được gọi là *khối lượng bị va đập* - còn khối lượng kia gọi là *khối lượng đập*. Ví dụ m_2 là khối lượng bị đập ta có:

$$\bar{v}_{2-} = 0$$

1^o) Trong trường hợp va đập cứng ta có:

$$\left. \begin{aligned} \bar{v}_{1+} &= \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \bar{v}_{1-} \quad (a) \\ \bar{v}_{2+} &= \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \bar{v}_{1-} \quad (b) \end{aligned} \right\} \quad (17.53)$$

Các công thức (17.53) được suy từ (17.50) bằng cách cho $\bar{v}_{2-} = 0$.

Trong trường hợp va đập mềm ta có:

$$\bar{v}_+ = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \bar{v}_{1-} \quad (17.54)$$

Công thức này được suy từ (17.51) bằng cách cho $\bar{v}_{2-} = 0$.

2^o) Thực ra va đập không bao giờ hoàn toàn cứng hay hoàn toàn mềm mà là trung gian giữa hai trường hợp trên, tức là sau khi va đập, không có sự nảy hoàn toàn mà cũng không có sự chấp hoàn toàn.

Công thức tổng quát để tính vận tốc của khối lượng bị đập sau khi va đập là:

$$\bar{v}_{2+} = (1 + \lambda) \frac{m_1}{m_1 + m_2} \bar{v}_{1-} \quad (17.55)$$

với: λ là hệ số dẻo của vật liệu:

$$0 < \lambda < 1$$

Vận tốc của khối lượng đập sau khi va đập được tính như sau:

ta có:

$$m_1 \bar{v}_{1-} = m_1 \bar{v}_{1+} + m_2 \bar{v}_{2+}$$

Thay $\bar{v}_{2+}$ trong công thức trên bằng (17.55), được:

$$m_1 \bar{v}_{1-} = m_1 \bar{v}_{1+} + (1 + \lambda) \frac{m_2 m_1}{m_1 + m_2} \bar{v}_{1-}$$

Từ đó suy ra:

$$\bar{v}_{1+} = \frac{m_1 - m_2 \lambda}{m_1 + m_2} \bar{v}_{1-} \quad (17.56)$$

Chú ý là trong (17.56):

Khi cho $\lambda = 0$, ta được biểu thức (17.53a) tức là ứng với trường hợp va đập mềm.

Khi cho $\lambda = 1$, ta sẽ được biểu thức (17.55) tức là ứng với trường hợp va đập cứng.

2. Cách rung cho nền kết hợp với giảm chấn động lực học cho máy

Như đã nói ở đầu chương này, việc cách rung cho nền chỉ có tác dụng giảm lực rung truyền xuống nền chứ không có tác dụng giảm rung cho máy mà ngược lại còn có thể làm tăng biên độ rung của máy.

Để vẫn giảm được lực rung truyền xuống nền đồng thời không làm tăng mà còn có thể làm giảm biên độ rung của máy, người ta kết hợp việc cách rung cho nền với việc giảm chấn động lực học cho máy. Mô hình của bài tính khi đó là một cơ hệ hai bậc tự do như mô tả trên hình 17.8, trong đó:

- m là khối lượng của máy
- $P = P_0 \sin \omega t$ là lực kích rung đặt trên máy.
- c là độ cứng của đệm đàn hồi cách rung.

- m_a , k , b lần lượt là khối lượng, độ cứng của khâu đàn hồi và độ nhớt của khâu giảm chấn của bộ giảm chấn động lực học.

Bộ giảm chấn động lực học này có nguyên lý làm việc tương tự như bộ giảm chấn động lực học kiểu ma sát ướt có khâu nối đàn hồi đã được giới thiệu trong chương 15.

a. Phương trình chuyển động của hệ dao động trên hình 17.8 là:

$$\left. \begin{aligned} m_a \ddot{x}_a + b(\dot{x}_a - \dot{x}) + k(x_a - x) &= 0 \\ m\ddot{x} - b(\dot{x}_a - \dot{x}) - k(x_a - x) + cx &= P_0 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (17.57)$$

Nghiệm đặc biệt x và x_a của hệ phương trình này có dạng:

$$\left. \begin{aligned} x &= A \sin(\omega t + \varphi) \\ x_a &= A_a \sin(\omega t + \varphi_a) \end{aligned} \right\} \quad (17.58)$$

trong đó A là biên độ rung của máy.

1^o. Để xác định A , có thể dùng phương pháp biên độ phức như đã giới thiệu trong chương 15.

Đặt:

$$\tilde{x} = A e^{i(\omega t + \varphi)} = A e^{i\varphi} e^{i\omega t}$$

$$\tilde{x}_a = A_a e^{i(\omega t + \varphi_a)} = A_a e^{i\varphi_a} e^{i\omega t}$$

với $i = \sqrt{-1}$,

hay:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{x} &= \tilde{A} e^{i\omega t} \\ \tilde{x}_a &= \tilde{A}_a e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} \quad (17.59)$$

Với

$$\left. \begin{aligned} \tilde{A} &= A e^{i\varphi} \\ \tilde{A}_a &= A_a e^{i\varphi_a} \end{aligned} \right\} \quad (17.60)$$

Ta có:

$$x = \text{Im } \tilde{x}$$

$$x_a = \text{Im } \tilde{x}_a$$

Do đó từ (17.57) ta có hệ phương trình sau:

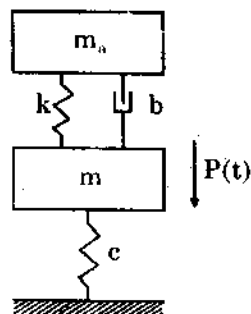
$$\left. \begin{aligned} m_a \ddot{\tilde{x}}_a + b(\dot{\tilde{x}}_a - \dot{\tilde{x}}) + k(\tilde{x}_a - \tilde{x}) &= 0 \\ m\ddot{\tilde{x}} - b(\dot{\tilde{x}}_a - \dot{\tilde{x}}) - k(\tilde{x}_a - \tilde{x}) + c\tilde{x} &= P_0 e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} \quad (17.61)$$

Từ phương trình thứ nhất của (17.61) và từ (17.59) ta có:

$$[(k - m_a \omega^2) + ib\omega] \tilde{x}_a = (k + ib\omega) \tilde{x}$$

Từ đó suy ra:

$$\frac{\tilde{x}_a}{\tilde{x}} = \frac{k + ib\omega}{(k - m_a \omega^2) + ib\omega}$$



Hình 17.8

hay:

$$\frac{\ddot{x}_a}{\ddot{x}} = \frac{k(k - m_a \omega^2) + b^2 \omega^2}{(k - m_a \omega^2)^2 + b^2 \omega^2} - \frac{im_a b \omega^3}{(k - m_a \omega^2)^2 + b^2 \omega^2} \quad (17.62)$$

Bây giờ hãy cộng hai phương trình của hệ (17.61) lại với nhau, ta được:

$$m \ddot{x} + m_a \ddot{x}_a + c \dot{x} = P_0 e^{i\omega t} \quad (17.63a)$$

Vì theo (17.59), ta có:

$$\frac{\ddot{x}_a}{\ddot{x}} = \frac{\dot{x}_a}{\dot{x}}$$

nên (17.63a) có thể viết lại như sau:

$$m \left(1 + \frac{m_a}{m} \frac{\dot{x}_a}{\dot{x}} \right) \ddot{x} + c \dot{x} = P_0 e^{i\omega t} \quad (17.63b)$$

Thay (17.62) vào (17.63b) và chú ý:

$$\ddot{x} = i\omega \dot{x}$$

Cuối cùng ta được:

$$m \left(1 + \frac{m_a}{m} \frac{k(k - m_a \omega^2) + b^2 \omega^2}{(k - m_a \omega^2)^2 + b^2 \omega^2} \right) \ddot{x} + m_a^2 \frac{b \omega^4}{(k - m_a \omega^2)^2 + b^2 \omega^2} \dot{x} + c \dot{x} = P_0 e^{i\omega t} \quad (17.64)$$

Đặt:

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \frac{m_a}{m}; \quad h = \frac{b}{2m_a} \\ p_a^2 &= \sqrt{\frac{k}{m_a}} \end{aligned} \right\} \quad (17.65)$$

(p_a chính là tần số riêng của bộ giảm chấn động lực học) thì (17.64) có thể viết lại như sau:

$$m \left(1 + \mu \frac{p_a^2 (p_a^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2}{(p_a^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2} \right) \ddot{x} + b \frac{\omega^4}{(p_a^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2} \dot{x} + c \dot{x} = P_0 e^{i\omega t}$$

Đặt:

$$\left. \begin{aligned} p_0 &= \sqrt{\frac{c}{m}} \\ f &= \frac{p_a}{p_0} \\ q &= \frac{\omega}{p_0} \\ g &= \frac{h}{p_0} \end{aligned} \right\} \quad (17.66)$$

thì phương trình trên đây có thể viết dưới dạng:

$$m \left(1 + \mu \frac{f^2 (f^2 - q^2)^2 + 4g^2 q^2}{(f^2 - q^2)^2 + 4g^2 q^2} \right) \ddot{x} + b \frac{q^4}{(f^2 - q^2)^2 + 4g^2 q^2} \dot{x} + c \dot{x} = P_0 e^{i\omega t} \quad (17.67)$$

Đặt:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= (f^2 - q^2)^2 + 4g^2q^2 \\ \beta &= f^2(f^2 - q^2) + 4g^2q^2 \end{aligned} \right\} \quad (17.68)$$

thì (17.67) có thể viết lại như sau:

$$m \left(\frac{\alpha + \mu\beta}{\alpha} \right) \ddot{x} + b \frac{q^4}{\alpha} \dot{x} + c x = P_0 e^{i\omega t}$$

Phần ảo của phương trình này là:

$$m \left(\frac{\alpha + \mu\beta}{\alpha} \right) \ddot{x} + b \frac{q^4}{\alpha} \dot{x} + cx = P_0 \sin \omega t$$

hay:

$$M \ddot{x} + B \dot{x} + cx = P_0 \sin \omega t \quad (17.69)$$

với:

$$\left. \begin{aligned} M &= m \frac{\alpha + \mu\beta}{\alpha} \\ B &= b \frac{q^4}{\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (17.70)$$

với α, β được cho bằng (17.68).

Thay x bằng (17.58), sau một số suy diễn ta được:

$$A = \frac{P_0}{M \sqrt{(\bar{p}^2 - \omega^2)^2 + 4\bar{h}\omega^2}} \quad (17.71)$$

với:

$$\left. \begin{aligned} \bar{p} &= \sqrt{\frac{c}{M}} \\ \bar{h} &= \frac{B}{2M} \end{aligned} \right\} \quad (17.72)$$

Từ (17.72) ta có:

$$\bar{p}^2 = \frac{c}{M}$$

thay M bằng (17.70) được:

$$\bar{p}^2 = \frac{c}{m} \frac{\alpha}{\alpha + \mu\beta}$$

hay theo (17.66):

$$\bar{p}^2 = p_0^2 \frac{\alpha}{\alpha + \mu\beta} \quad (17.73)$$

Mặt khác cũng từ (17.72) và (17.70):

$$2\bar{h} = b \frac{q^4}{\alpha} \times \frac{\alpha}{m(\alpha + \mu\beta)} = \frac{b}{m_a} \frac{m_a}{m} \frac{q^4}{(\alpha + \mu\beta)}$$

hay, theo (17.65):

$$\bar{h} = \mu h \frac{q^4}{(\alpha + \mu\beta)} \quad (17.74)$$

Thay (17.73) và (17.74) vào (17.71) và với M được cho bằng (17.70) sau một số suy diễn cuối cùng ta được:

$$A = \frac{P_c}{c} \frac{\alpha}{\sqrt{[\alpha(1-q^2) + \mu\beta]^2 + 4\mu^2 g^2 q^{10}}} \quad (17.75)$$

2°. Bây giờ hãy xét sự biến thiên biên độ A của máy - Trước hết, ta chú ý là trong các thông số động lực học của bài tính đang xét, thì:

- Khối lượng m của máy được cho trước.

- Độ cứng c của đệm đàn hồi cũng đã được xác định trước, khi giải bài toán động lực học cho nền.

Như vậy các thông số còn lại phải chọn là các thông số của bộ giảm chấn động lực học.

Khối lượng m_n của bộ giảm chấn được chọn tùy theo khối lượng m của máy, thông thường có thể lấy:

$$m_n \approx 0,2m$$

tức là lấy:

$$\mu \approx 0,2$$

Trong các thông số còn lại (độ cứng k và hệ số ma sát b) thì hệ số ma sát b có thể cho thay đổi trong một phạm vi rộng. Do đó sau đây ta sẽ xét sự biến thiên của A theo b (tức là theo g trong công thức (17.75)) và theo tần số ω của lực kích rung (tức là theo q trong công thức (17.75)). Ta được họ đường cong trên hình 17.9, mỗi đường cong ứng với một giá trị của hệ số ma sát b.

b. Tất cả các đường cong trên hình 17.9 đều cắt nhau tại hai điểm ứng với các hoành độ q_1, q_2 hoàn toàn xác định (các điểm M_1, M_2 trên hình 17.9). Để xác định các giá trị q_1, q_2 hãy xét hai trường hợp giới hạn của bài toán lần lượt ứng với các giá trị: $b = 0$ và $b = \infty$.

1°. Trước hết xét trường hợp $b = \infty$. Khi đó các khối lượng m, m_n không có chuyển động tương đối đối với nhau và coi như gắn chặt với nhau thành một khối có khối lượng bằng $m + m_n$. Mô hình của bài toán bây giờ là một hệ dao động một bậc tự do không giảm chấn. Phương trình chuyển động khi đó là:

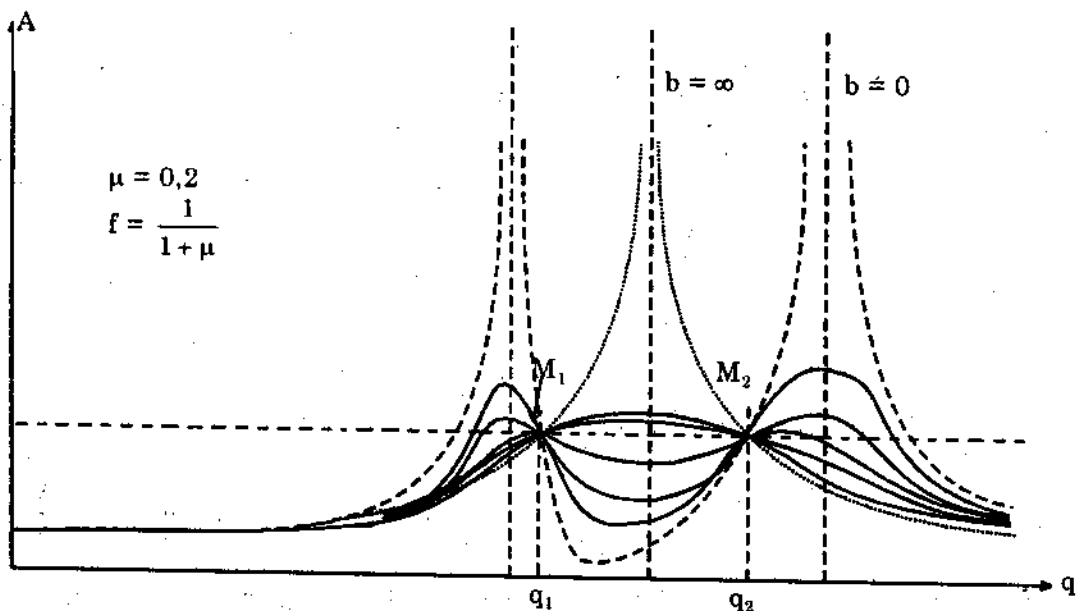
$$(m + m_n) \ddot{x} + cx = P_0 \sin \omega t \quad (17.76)$$

Đặt:

$$x^* = A^* \sin(\omega t + \varphi)$$

và thay vào phương trình trên, ta suy ra:

$$A^* \sin(\omega t + \varphi) = H^* \sin \omega t \quad (17.77)$$



Hình 17.9

Với:

$$H^* = \frac{P_0}{c - (m + m_a)\omega^2}$$

hay:

$$H^* = \frac{P_0}{c[1 - (1 + \mu)q^2]} \quad (17.78)$$

Với μ , q cho bằng các công thức (17.65), (17.66).

Vì biên độ A được quy ước là dương nên theo (17.77):

Khi $H^* > 0$: $\varphi = 0^\circ$; $A^* = H^*$

Vì $H^* < 0$: $\varphi = 180^\circ$; $A^* = -H^*$

$$\left. \begin{aligned} q_0 &= \frac{1}{\sqrt{1+\mu}} : A = H^* \\ &= \frac{1}{\sqrt{1+\mu}} : A = -H^* \end{aligned} \right\} \quad (17.79)$$

(17.78).

Ng $\mu = 0,2$, ta có:

$$q_0 \approx 0,9 \quad (17.80)$$

Ờng hợp $b = 0$. Mô hình của bài tính bây giờ là một hệ hai bậc
phương trình chuyển động của hệ là:

$$\left. \begin{aligned} m_a \ddot{x}_a + k(x_a - x) &= 0 \\ m\ddot{x} - k(x_a - x) + kx &= P_0 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (17.81)$$

Đặt:

$$x_a = A_a \sin(\omega t + \varphi)$$

$$x = A^{**} \sin(\omega t + \varphi)$$

Và thay vào hệ phương trình trên, ta suy ra:

$$A^{**} \sin(\omega t + \varphi) = H^{**} \sin \omega t \quad (17.82)$$

Với:

$$H^{**} = \frac{(k - m_a \omega^2) P_0}{\Delta(\omega)} \quad (17.83)$$

và

$$\Delta(\omega) = \begin{vmatrix} k - m_a \omega^2 & -k \\ -k & k + c - m\omega^2 \end{vmatrix} \quad (17.84)$$

hay:

$$H^{**} = \frac{(k - m_a \omega^2) P_0}{(k - m_a \omega^2)(k + c - m\omega^2) - k^2} \quad (17.85)$$

hay:

$$H^{**} = \frac{P_0(f^2 - q^2)}{c(f^2 - q^2)(\mu f^2 + 1 - q^2) - \mu f^4} \quad (17.86)$$

Vì A^{**} được quy ước là dương nên từ (17.82), ta phải có:

- Khi $H^{**} > 0$: $\varphi = 0^\circ$; $A^{**} = H^{**}$

- Khi $H^{**} < 0$: $\varphi = 180^\circ$; $A^{**} = -H^{**}$

Để xét dấu của H^{**} , thay vì dùng công thức (17.86), hãy trở lại công thức (17.83). Chú ý biểu thức của $\Delta(\omega)$: nếu trong biểu thức này ta thay ω bằng p , với p là tần số riêng của hệ dao động hai bậc tự do đang xét thì ta sẽ được vế trái của phương trình tần số của hệ, tức là:

$$\Delta(p) = \begin{vmatrix} k - m_a p^2 & -k \\ -k & k + c - m p^2 \end{vmatrix} = 0$$

Gọi p_1, p_2 là các tần số riêng của hệ, tức là nghiệm của phương trình tần số trên đây, ta có thể viết lại $\Delta(\omega)$ như sau:

$$\Delta(\omega) = m m_a (\omega^2 - p_1^2)(\omega^2 - p_2^2)$$

Thay biểu thức này của $\Delta(\omega)$ vào (17.86), sau một số biến đổi, ta được:

$$H^{**} = \frac{P_0(f^2 - q^2)}{m m_a (\omega^2 - p_1^2)(\omega^2 - p_2^2)}$$

hay:

$$H^{**} = \frac{P_0(f^2 - q^2)}{c(q^2 - f_1^2)(q^2 - f_2^2)} \quad (17.87)$$

Với:

$$f_1 = \frac{p_1}{p_0}; \quad f_2 = \frac{p_2}{p_0}$$

Từ (17.87), ta thấy:

$$\left. \begin{array}{l} \text{- Khi } f_1 < q < f: H^{**} < 0 \rightarrow A^{**} = -H^{**} \\ \text{- Khi } f < q < f_2: H^{**} > 0 \rightarrow A^{**} = H^{**} \end{array} \right\} \quad (17.88)$$

với H^{**} cho bằng (17.86).

Như sau đây sẽ chứng minh lời giải tối ưu của bài tính ứng với khi:

$$f = \frac{1}{1 + \mu}$$

Với μ được lấy bằng 0,2, ta có:

$$f = 0,833$$

tức là (xem (17.80)):

$$f \approx q_0$$

3°. Từ các điều kiện (17.79) và (17.88) ta lập được bảng sau:

	f_1	$f \approx q_0$	f_2
A^*	$\frac{P_0}{c[1 - (1 + \mu)q^2]}$	∞	$\frac{-P_0}{c[1 - (1 + \mu)q^2]}$
A^{**}	$\frac{-P_0(f^2 - q^2)}{c(f^2 - q^2)(\mu f^2 + 1 - q^2) - \mu f^4}$	0	$\frac{P_0(f^2 - q^2)}{c(f^2 - q^2)(\mu f^2 + 1 - q^2) - \mu f^4}$
	∞		∞

Vì ở các giao điểm M_1, M_2 (hình 17.9) ta phải có:

$$A^* = A^{**}$$

tức là theo bảng trên:

$$\frac{P_0}{c[1 - (1 + \mu)q^2]} = \frac{-P_0(f^2 - q^2)}{c(f^2 - q^2)(\mu f^2 + 1 - q^2) - \mu f^4}$$

hay sau khi đơn giản:

$$(2 + \mu)q^4 - 2[f^2(1 + \mu) + 1]q^2 + 2f^2 = 0 \quad (17.89)$$

Như vậy các giá trị q_1, q_2 ứng với các giao điểm M_1, M_2 của họ đường cong biến thiên của biên độ rung theo q chính là nghiệm của phương trình (17.89) trên đây. Giải phương trình này, ta được:

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \sqrt{\frac{(1+\mu)f^2 + 1 - \sqrt{(f^2 - 1)^2 + \mu(\mu + 2)f^4}}{\mu + 2}} \\ q_2 &= \sqrt{\frac{(1+\mu)f^2 + 1 + \sqrt{(f^2 - 1)^2 + \mu(\mu + 2)f^4}}{\mu + 2}} \end{aligned} \right\} \quad (17.90)$$

4°. Để có được lời giải tối ưu, tất nhiên ta phải chọn các thông số của bài tính sao cho các giao điểm M_1, M_2 trên đây có cùng một tung độ, tức là:

$$A^*(q_1) = A^*(q_2)$$

Theo bảng, điều này có nghĩa là:

$$\frac{P_0}{c[1 - (1+\mu)q_1^2]} = \frac{-P_0}{c[1 - (1+\mu)q_2^2]}$$

hay:

$$(1+\mu)(q_1^2 + q_2^2) = 2$$

Thay các biểu thức (17.90) của q_1, q_2 vào phương trình trên, cuối cùng suy ra:

$$f = \frac{1}{1+\mu}$$

Bây giờ hãy xét họ đường cong đi qua hai điểm M_1, M_2 có cùng tung độ này. Ta có thể chọn được một giá trị b của hệ số giảm chấn để được một đường cong $A(q)$ có chung một tiếp tuyến nằm ngang tại các điểm M_1, M_2 . Đây chính là lời giải tối ưu của bài tính.

Chương 18

RÔ BỐT

Từ rôbôt được dùng lần đầu trong tác phẩm khoa học viễn tưởng của nhà văn Karel - người Tiệp, viết năm 1920.

Từ 1950, bước vào thời kỳ tự động hoá sản xuất, rôbôt như là một tay máy bước đầu được đưa vào sử dụng.

Đặc biệt từ 1970, cùng với sự phát triển của Cơ khí - Điện - Điện tử và Tin học, người máy - rôbôt ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong quá trình tự động hoá sản xuất và trong công việc nghiên cứu khoa học dẫn đến một lĩnh vực chuyên nghiên cứu và chế tạo các loại rôbôt. Ngày nay rôbôt đã xâm nhập vào hầu khắp các lĩnh vực hoạt động của loài người.

Có thể nói rôbôt là cụm máy - tự động hoá thực hiện các chức năng vận động từ cơ bắp đến trí tuệ của sinh vật và con người.

Trong chương này, sẽ chỉ giới thiệu một số kiến thức cơ bản nhất về rôbôt.

18.1. Cấu trúc rôbôt

18.1.1. Đại cương

1. Các bộ phận của rôbôt

Một rôbôt hiện đại thường gồm các bộ phận sau:

- 1) Chân di chuyển: chân có thể là kiểu chân bước, chân bò, bánh lái, bánh xích...
- 2) Thân bệ là khối mang các phần cơ bản của rôbôt, thường thân chỉ thực hiện một vài chuyển động đơn giản.
- 3) Cánh tay là chuỗi động để với tới các điểm trong không gian, đây chính là phần thực hiện nhiều chuyển động phức tạp nhất.
- 4) Bàn tay là phần để nắm bắt các vật hoặc dụng cụ.
- 5) Các phần tử nhận biết - có thể nói đó là các "giác quan" của rôbôt.
- 6) Trung tâm điều khiển: Đây là bộ phận tiếp nhận, xử lý và truyền đạt thông tin điều khiển rôbôt. Có thể gọi đây là phần đầu não của rôbôt.
- 7) Nguồn năng lượng

2. Các bộ phận chuyển động cơ học của rôbôt gồm

- Hệ chân di chuyển.
- Hệ cánh tay và bàn tay nắm bắt các công cụ, thực hiện các thao tác làm việc.

Bảng 18.1

	Kí hiệu không gian	Kí hiệu phẳng	
Nối cứng			
Khớp quay loại 5			
Khớp tịnh tiến loại 5			
Khớp vít loại 5			
Khớp vừa quay vừa tịnh tiến loại 4			

Bảng 18.1 (Tiếp theo)

Khớp cầu chốt loại 4			
Khớp tựa phẳng loại 3			
Khớp cầu loại 3			
Khớp máng cầu loại 2			
Khớp tựa đường thẳng loại 2.			
Khớp tựa điểm loại 1			

Về mặt cấu trúc và chuyển động cơ học, hệ cánh tay - bàn tay của rôbôt là một cơ cấu không gian hở hoặc kín hoặc hỗn hợp. Các khâu của cơ cấu không gian được nối với nhau bằng các khớp động có lược đồ được cho trong bảng 18.1. Chú ý là một số khớp này đã được giới thiệu trong chương 1 nhưng với các ký hiệu quy ước có thể khác nhau đôi chút.

Sau đây, ta quy ước gọi toàn bộ hệ cánh tay - bàn tay của rôbôt là cơ cấu rôbôt. Như

vậy giá của cơ cấu này chính là thân bộ của rôbot và bản thân giá, tức thân bộ này cũng chuyển động khi hệ chân di chuyển của rôbot hoạt động.

18.1.2 Bậc tự do của cơ cấu rôbot - Khâu kích hoạt

1. Vì cơ cấu rôbot, như vừa nói trên đây, là một cơ cấu không gian, do đó bậc tự do của nó được tính theo công thức (1.8).

$$W = 6n - \left(\sum j p_j - R_{tr} - R_{th} \right) - W_{th}$$

trong đó, cần nhắc lại:

n - số khâu của cơ cấu rôbot

p_j - số khớp loại j - tức là số khớp có j ràng buộc (hay hạn chế j bậc tự do).

R_{tr} - số ràng buộc trùng, có thể tồn tại ở các khớp đóng kín một chuỗi động trong cơ cấu, nếu có.

R_{th} - số ràng buộc thừa.

W_{th} - số bậc tự do thừa.

Số bậc tự do của cơ cấu rôbot chính là số khả năng chuyển động của cơ cấu này trong hệ tọa độ gắn liền với thân bộ. Đây cũng là số chuyển động kích hoạt của rôbot, không kể các khả năng chuyển động của hệ chân di chuyển. Các chuyển động kích hoạt thường là chuyển động quay hay tịnh tiến.

2. Các chuyển động kích hoạt quay thường được thực hiện từ các động cơ bước. Trong nhiều trường hợp ta phải sử dụng hộp giảm tốc để đạt tới yêu cầu về vận tốc góc của khâu kích hoạt quay. Trong trường hợp vận tốc quay khá bé, tỷ số truyền của phân giảm tốc sẽ khá lớn. Trong trường hợp này thường phải dùng tới các hộp giảm tốc hay biến tốc đặc biệt. Các loại thường được dùng ở đây là hộp giảm tốc hoặc biến tốc kiểu visai - hành tinh - truyền động bánh răng sóng. Một yêu cầu với loại hộp giảm tốc hay biến tốc này là kích thước lại phải nhỏ gọn.

Các chuyển động kích hoạt tịnh tiến được thực hiện bằng hệ thống pistông - xylanh khí nén hay thủy lực - Gần đây, người ta cũng đưa vào sử dụng động cơ bước kiểu tịnh tiến.

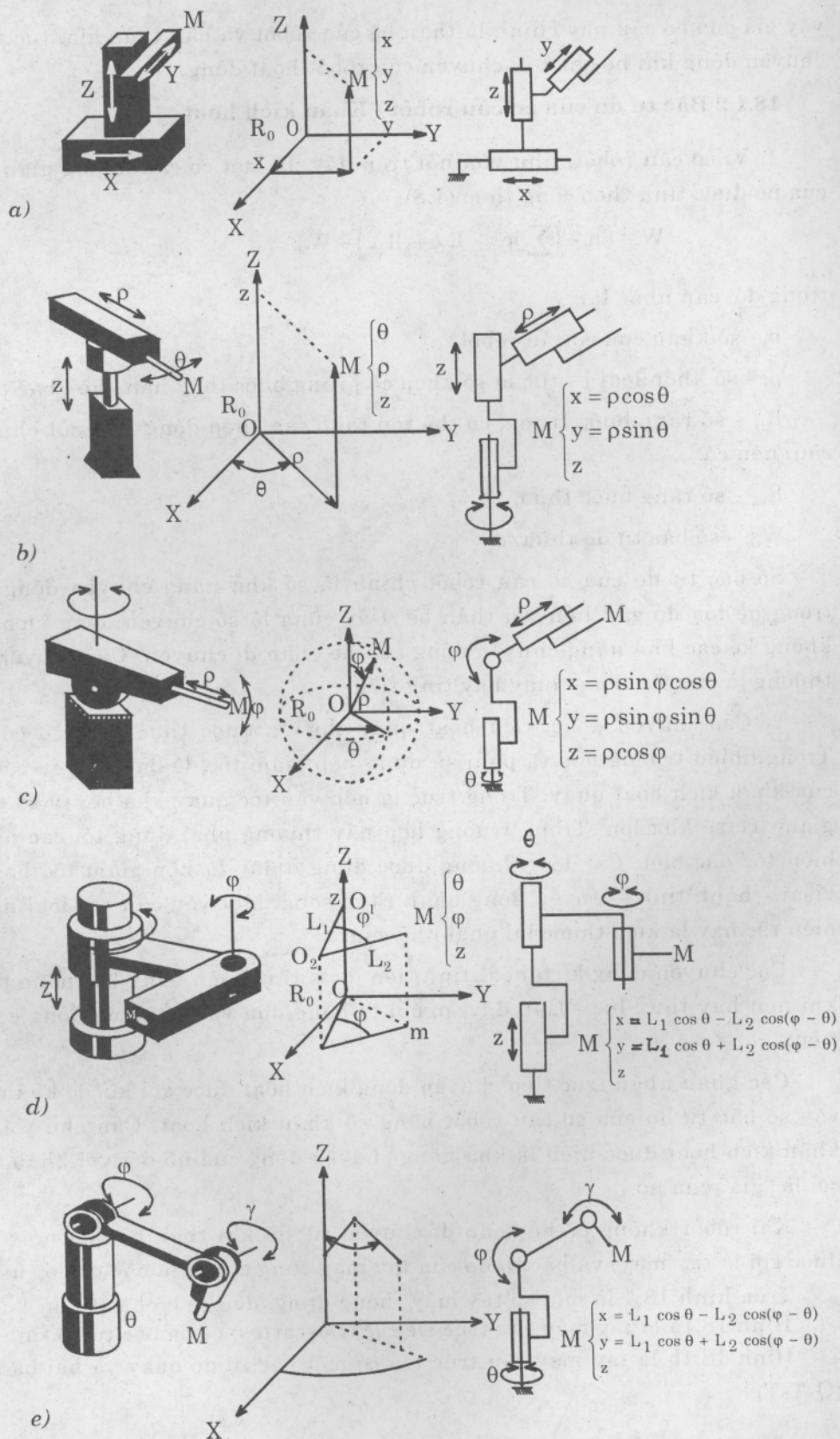
Các khâu nhận trực tiếp chuyển động kích hoạt được gọi là các khâu kích hoạt. Như vậy số bậc tự do của cơ cấu rôbot bằng số khâu kích hoạt. Cần chú ý là bậc tự do của khâu kích hoạt được hiểu là khả năng chuyển động của nó đối với khâu nối với nó, được coi là "giá" của nó.

Khi rôbot không có hệ chân di chuyển tức là khi thân bộ của nó cố định thì rôbot được gọi là tay máy, và bậc tự do của tay máy cũng chính là bậc tự do của cơ cấu rôbot.

Trên hình 18.1 là một số tay máy thông dụng, đều có ba bậc tự do:

Hình 18.1a là tay máy cấu trúc Đề các (Descartes) có ba bậc tự do tịnh tiến (T-T-T).

Hình 18.1b là tay máy cấu trúc trụ có một bậc tự do quay và hai bậc tự do tịnh tiến (Q-T-T).



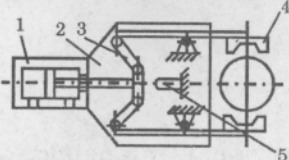
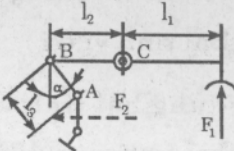
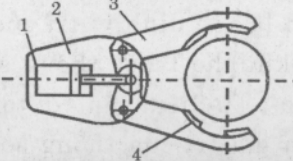
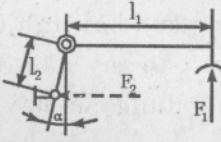
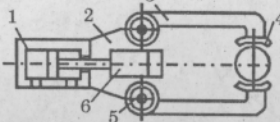
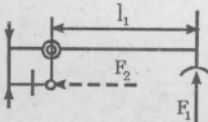
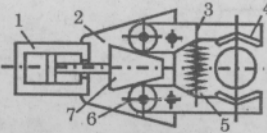
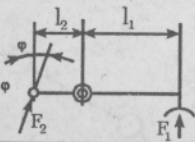
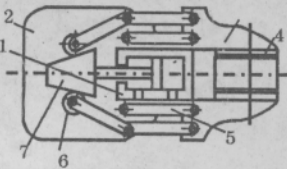
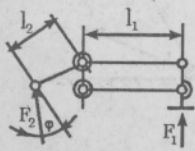
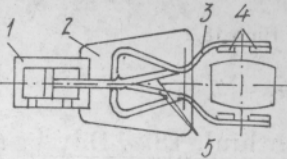
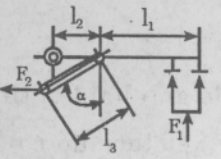
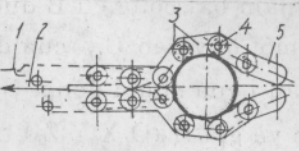
Hình 18.1

- Hình 18.1c là tay máy cấu trúc cầu (Q-Q-T).
- Hình 18.1d là tay máy cấu trúc SCARA (T-Q-Q).
- Hình 18.1e là tay máy cấu trúc cực (Q-Q-Q).

18.1.3. Bàn tay nắm bắt công cụ

Công cụ được bàn tay nắm bắt rất đa dạng, từ kích cỡ, hình dạng đến trọng lượng, và điều kiện làm việc ... Do đó phải tùy vào công cụ và vật dụng cần nắm bắt để chọn

Bảng 18.2. Lược đồ nắm bắt cơ khí

Kiểu	Kết cấu	Lược đồ tính
Tay đòn		
Culit - tay đòn		
Thanh răng - tay đòn		
Chêm - tay đòn		
Chêm - tay đòn		
Lò xo		
Nhiều khâu		

sơ đồ của bàn tay, tức là nguyên tắc làm việc, kết cấu và các cảm biến của nó, cho phép xác định vị trí và thời điểm làm việc hoặc nắm bắt.

Trên bảng 18.2 là lược đồ một số bàn tay nắm bắt cơ khí.

Ngoài việc nắm bắt bằng cơ khí còn có thể thực hiện việc nắm bắt bằng chân không hoặc lực hút điện từ.

18.2. Hình động học cơ cấu rôbôt

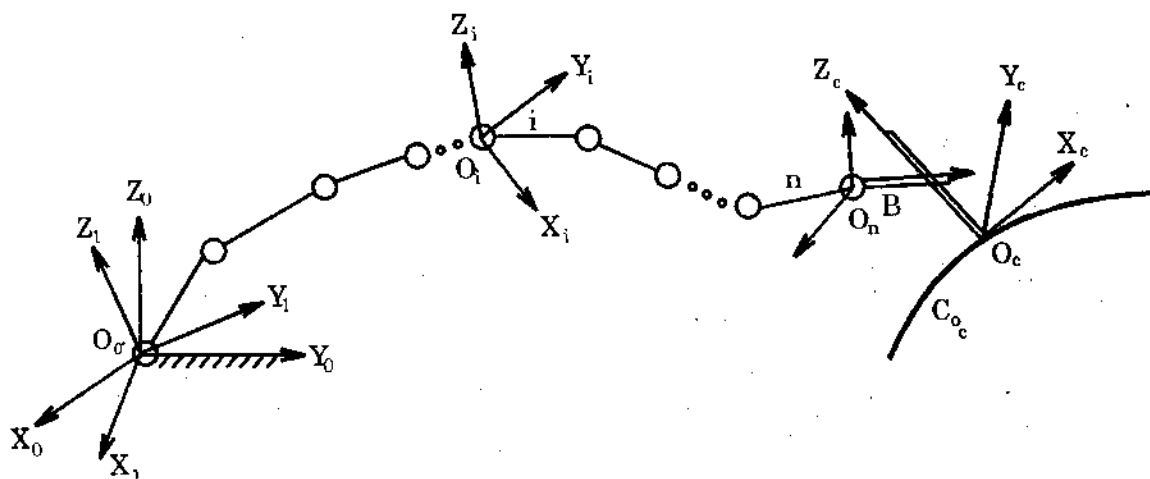
Nội dung của bài tính hình động học cơ cấu rôbôt là xác định vị trí, vận tốc, gia tốc của các điểm trên các khâu của rôbôt, trong đó bài tính vị trí tức là bài tính đầu tiên và có ý nghĩa quan trọng. Việc giải bài tính vị trí cho phép xác định miền tới, miền làm việc của rôbôt, và các thông số cần điều khiển để rôbôt hoạt động.

18.2.1. Bài tính vị trí

1. Nội dung bài tính vị trí

Có hai bài tính vị trí: Bài tính thuận và bài tính ngược.

Nội dung của bài tính (vị trí) thuận là xác định vị trí của các điểm khác nhau trên rôbôt và của bàn tay nắm bắt công cụ khi cho trước thông số vị trí của các khâu kích hoạt. Còn nội dung của bài tính ngược là: Từ điểm cần với tới hay là vị trí cần đạt được của bàn tay hay công cụ, phải xác định giá trị của thông số điều khiển các khâu kích hoạt.



Hình 18.2

Cơ sở để giải hai bài tính trên là một.

a) Hãy xét lược đồ cơ cấu rôbôt trên hình 18.2. Đây là một chuỗi động hỏ n khâu. Khâu 1 được nối với giá O, còn bàn tay nắm bắt công cụ B được nối với khâu n. Bàn tay nắm bắt công cụ C, dẫn công cụ đi theo một quỹ đạo C_{0c} của điểm O_c .

1^o) Xét một điểm M_i bất kỳ trên khâu i của chuỗi động. Gọi $\vec{r}_{M_i}$ là véc tơ xác định vị trí của điểm M_i , trong hệ toạ độ gắn liền và giá $H_0(O_0X_0Y_0Z_0)$ ta có:

$$\vec{r}_{M_i} = \vec{O_1O_2} + \vec{O_2O_3} + \dots + \vec{O_{i-1}O_i} + \vec{O_iM_i}$$

hay:
$$\vec{r}_{M_1} = \sum_{j=1} \vec{O_j O_{j+1}} + \vec{O_1 M_1} \quad (18.1)$$

Với phương trình này và các thông số vị trí được cho trước của các khâu kích hoạt, ta có thể xác định được vị trí của điểm M_1 trong hệ tọa độ $H_0(O_0 X_0 Y_0 Z_0)$.

2^o) Để xác định vị trí của công cụ cần xác định vị trí của ba điểm trên công cụ, không nằm trên cùng một đường thẳng - gọi O_c, C', C'' là ba điểm này, ta có:

$$\left. \begin{aligned} \vec{r}_c &= \sum_{j=1}^{n-1} \vec{O_j O_{j+1}} + \vec{O_n O_c} \\ \vec{r}_{c'} &= \vec{r}_c + \vec{O_c C'} \\ \vec{r}_{c''} &= \vec{r}_c + \vec{O_c C''} \end{aligned} \right\} \quad (18.2)$$

Ngoài ra O_c, C', C'' đều nằm trên cùng một khâu nên ta phải có:

$$\left| \vec{O_c C'} \right| = l_1; \quad \left| \vec{O_c C''} \right| = l_2; \quad \left| \vec{C' C''} \right| = l_3 \quad (18.3)$$

với l_1, l_2, l_3 bằng hằng và ta có giá trị được cho trước.

Các phương trình (18.2) với các điều kiện (18.3) và các thông số vị trí được cho trước của các khâu kích hoạt cho phép xác định vị trí của công cụ trong hệ tọa độ $H_0(O_0 X_0 Y_0 Z_0)$ gắn liền với giá.

Thay vì dùng ba điểm khác nhau không thẳng hàng trên công cụ, để xác định vị trí của công cụ ta có thể dùng điểm O_c trên công cụ và các vectơ chỉ phương của một hệ tọa độ $H_c(O_c X_c Y_c Z_c)$ gắn liền với công cụ:

Như vậy có thể thấy rằng thực chất của bài tính xác định vị trí của công cụ là xác định vị trí của hệ tọa độ $H_c(O_c X_c Y_c Z_c)$ trong hệ tọa độ gắn liền với giá $H_0(O_0 X_0 Y_0 Z_0)$.

b) Lược đồ trên hình 18.2 là một chuỗi động hở được gọi là chuỗi động hở đơn trong đó mỗi khâu được nối với nhiều nhất là hai khâu khác. Ngoài dạng lược đồ này còn có một dạng lược đồ khác gọi là chuỗi động hở phức tạp trong đó có một số khâu được nối với trên hai khâu. Khi đó trên lược đồ có một hoặc một số chuỗi động kín. Trên hình 18.3 là lược đồ cơ cấu rôbốt có một chuỗi kín. Ta có thể coi chuỗi động kín này như là hai chuỗi động hở $O_k O_{k+1} \dots O_p$ và $O_k O'_k \dots O_p$ được đóng kín với nhau tại O_p bằng một khớp động. Trong hai chuỗi động này ta có thể chọn một chuỗi làm nhánh chính, còn gọi là nhánh đơn chính, nhánh còn lại gọi là nhánh đơn phụ. Ví dụ trên hình 18.3 ta có thể chọn chuỗi $O_k O_{k+1} \dots O_p$ làm nhánh đơn chính.

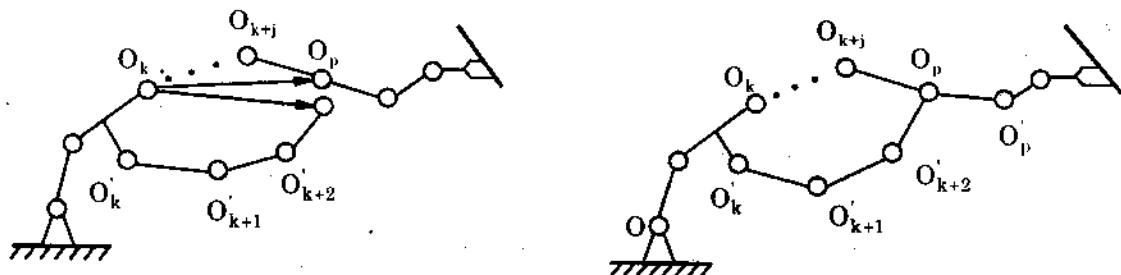
Do hai nhánh cùng xuất phát từ điểm O_k và được đóng kín với nhau tại O_p nên ta có:

$$\vec{r}_{kp} = \vec{r}'_{kp} \quad (18.4)$$

trong đó:

$$\left. \begin{aligned} \vec{r}_{kp} &= \vec{O_k O_{k+1}} + \dots + \vec{O_{k+1} O_p} \\ \vec{r}'_{kp} &= \vec{O_k O_{k'}} + \vec{O_{k'} O_{k'+1}} + \dots + \vec{O_{k'+m} O_p} \end{aligned} \right\} \quad (18.5)$$

Để giải bài tính vị trí của cơ cấu rôbôt mà lược đồ có chứa chuỗi động kín như trong ví dụ trên đây, ta dùng các phương trình (18.1), (18.2), (18.3) ứng với lược đồ có dạng chuỗi động hở đơn, kết hợp với các phương trình (18.4), (18.5) trên đây.



Hình 18.3

2. Các ma trận chuyển đổi tọa độ cơ bản

Để giải bài tính hình động học cơ cấu rôbôt, có thể dùng nhiều phương pháp khác nhau. Trong tài liệu này sẽ giới thiệu phương pháp ma trận. Khi giải bài tính bằng phương pháp ma trận, ta sử dụng các ma trận chuyển đổi tọa độ giữa các hệ quy chiếu, mỗi hệ gắn liền với một khâu của cơ cấu.

Hãy xét hai hệ quy chiếu:

$H_i: O_i X_i Y_i Z_i$; $H_j: O_j X_j Y_j Z_j$ và một điểm M trong không gian. Trong hệ quy chiếu H_i , vị trí điểm M được xác định bởi vectơ:

$$\vec{r}_M^i = \vec{O_i M}$$

và trong hệ quy chiếu H_j , vị trí của điểm M được xác định bởi vectơ:

$$\vec{r}_M^j = \vec{O_j M}$$

Gọi $\vec{e}_{x_i}$, $\vec{e}_{y_i}$, $\vec{e}_{z_i}$ và $\vec{e}_{x_j}$, $\vec{e}_{y_j}$, $\vec{e}_{z_j}$ lần lượt là các vectơ chỉ phương của các hệ tọa độ H_i , H_j , ta có:

$$\vec{r}_M^i = X_i \vec{e}_{x_i} + Y_i \vec{e}_{y_i} + Z_i \vec{e}_{z_i}$$

$$\vec{r}_M^j = X_j \vec{e}_{x_j} + Y_j \vec{e}_{y_j} + Z_j \vec{e}_{z_j}$$

Hãy xét vectơ $\vec{r}_M^i$ chẳng hạn, vectơ này có thể biểu diễn dưới dạng ma trận như sau:

$$\vec{r}_M^i = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i \end{bmatrix}^T$$

Tuy nhiên để thuận lợi cho các phép biến đổi, ta có thể biểu diễn vectơ $\vec{r}_M^i$ bằng một vectơ ma trận cột bốn phần tử với phần tử thứ tư bằng 1:

$$\vec{r}_M^i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix}^T.$$

Tương tự như vậy:

$$\vec{r}_M^j = \begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{bmatrix}^T.$$

Gọi K_{ij} là ma trận vuông cấp 4 thỏa mãn phương trình sau:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} = K_{ij} \times \begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{bmatrix}$$

thì K_{ij} chính là ma trận chuyển đổi tọa độ giữa các hệ quy chiếu H_i, H_j .

Dưới đây sẽ giới thiệu các ma trận chuyển đổi tọa độ giữa hai hệ quy chiếu gắn trên hai khâu được nối với nhau ứng với các chuyển động tương đối khác nhau giữa hai khâu này. Các ma trận chuyển đổi tọa độ này được gọi là các ma trận chuyển đổi tọa độ cơ bản.

a) Trường hợp H_j là H_i tịnh tiến theo vectơ $\vec{O_iO_j}$ (hình 18.4).

Ta có:

$$\vec{r}_M^i = \vec{O_iO_j} + \vec{r}_M^j$$

$$\vec{O_iO_j} = a\vec{e}_{x_i} + b\vec{e}_{y_i} + c\vec{e}_{z_i}$$

Do đó:

$$X_i = X_j + a$$

$$Y_i = Y_j + b$$

$$Z_i = Z_j + c$$

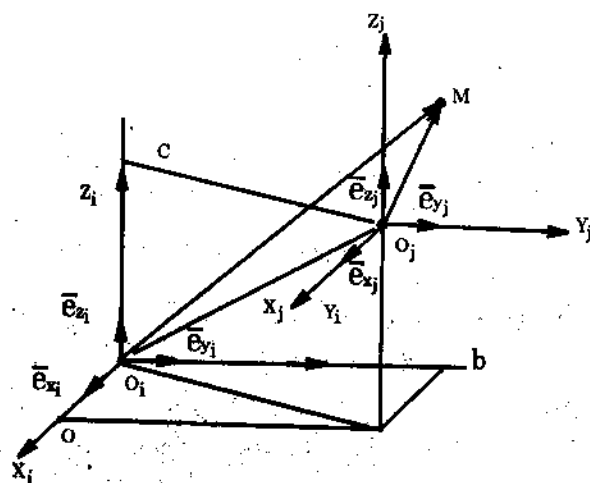
hay dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} = K_{ij} \left(T, \vec{O_iO_j} \right) \times \begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{bmatrix}$$

Với

$$K_{ij} \left(T, \vec{O_iO_j} \right) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



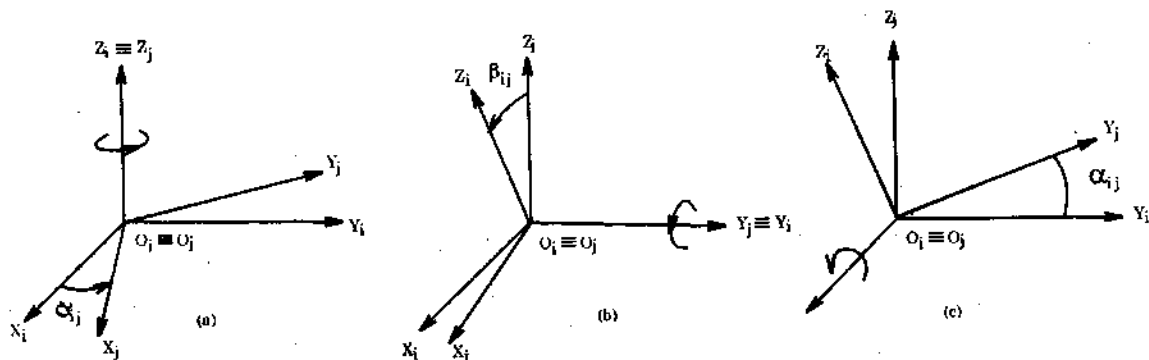
Hình 18.4

(18.6)

là ma trận chuyển đổi tọa độ khi H_j là H_i đã tịnh tiến đi một vectơ $\vec{O_i O_j}$, gọi tắt là ma trận chuyển đổi tọa độ tịnh tiến.

b) Trường hợp H_j là H_i quay đi một góc quanh một trục của H_i .

1^o) Trước hết xét trường hợp quay quanh trục Z_i , trùng với trục Z_j một góc γ_{ij} (hình 18.5a).



Hình 18.5

Vì trong trường hợp này, O_i trùng với O_j nên:

$$\vec{r}_M^i = \vec{r}_M^j$$

hay:

$$X_i \vec{e}_{x_i} + Y_i \vec{e}_{y_i} + Z_i \vec{e}_{z_i} = X_j \vec{e}_{x_j} + Y_j \vec{e}_{y_j} + Z_j \vec{e}_{z_j} \quad (18.7)$$

Lấy tích vô hướng của cả hai vế của (18.7), lần lượt với $\vec{e}_{x_i}$, và $\vec{e}_{y_i}$, ta được:

$$X_i = X_j \vec{e}_{x_i} \cdot \vec{e}_{x_j} + Y_j \vec{e}_{y_i} \cdot \vec{e}_{x_j}$$

$$Y_i = X_j \vec{e}_{x_j} \cdot \vec{e}_{y_i} + Y_j \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{y_i}$$

Ngoài ra, ta lại có

$$Z_i = Z_j$$

Vì:

$$\vec{e}_{x_i} \cdot \vec{e}_{x_j} = \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{y_i} = \cos \gamma_{ij}$$

$$-\vec{e}_{x_i} \cdot \vec{e}_{y_j} = \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{x_i} = \sin \gamma_{ij}$$

nên cuối cùng ta có:

$$X_i = X_j \cos \gamma_{ij} - Y_j \sin \gamma_{ij}$$

$$Y_i = X_j \sin \gamma_{ij} + Y_j \cos \gamma_{ij}$$

$$Z_i = Z_j$$

hay dưới dạng ma trận:

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma_{ij} & -\sin \gamma_{ij} & 0 & 0 \\ \sin \gamma_{ij} & \cos \gamma_{ij} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{pmatrix}$$

hay:

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix} = K_{ij}(Q/Z_i, \gamma_{ij}) \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{pmatrix}$$

với:

$$K_{ij}(Q/Z_i, \gamma_{ij}) = \begin{pmatrix} \cos \gamma_{ij} & -\sin \gamma_{ij} & 0 & 0 \\ \sin \gamma_{ij} & \cos \gamma_{ij} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18.8)$$

là ma trận chuyển đổi toạ độ khi H_j là H_i quay đi một góc γ_{ij} quanh trục Z_i trùng với Z_j .

2^o) Cũng làm tương tự như trên ta suy ra ma trận chuyển đổi toạ độ khi H_j là H_i quay đi một góc β_{ij} quanh trục Y_i trùng với Y_j (hình 18.5b).

$$K_{ij}(Q/Y_i, \beta_{ij}) = \begin{pmatrix} \cos \beta_{ij} & 0 & \sin \beta_{ij} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta_{ij} & 0 & \cos \beta_{ij} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18.9)$$

và ma trận chuyển đổi khi H_j là H_i quay quanh trục X_i một góc α_{ij} (hình 18.5c)

$$K_{ij}(Q/X_i, \alpha_{ij}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_{ij} & -\sin \alpha_{ij} & 0 \\ 0 & \sin \alpha_{ij} & \cos \alpha_{ij} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18.10)$$

c) Trường hợp H_j là H_i quay quanh góc chung $O_i = O_j$.

Ta vẫn có:

$$\vec{r}_M^i = \vec{r}_M^j$$

hay $X_i \vec{e}_{x_i} + Y_i \vec{e}_{y_i} + Z_i \vec{e}_{z_i} = X_j \vec{e}_{x_j} + Y_j \vec{e}_{y_j} + Z_j \vec{e}_{z_j}$

Bây giờ hãy lấy tích vô hướng hai vế của phương trình trên đây lần lượt với $\vec{e}_{x_i}, \vec{e}_{y_i}, \vec{e}_{z_i}$, ta được:

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_j \vec{e}_{x_j} \cdot \vec{e}_{x_i} + Y_j \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{x_i} + Z_j \vec{e}_{z_j} \cdot \vec{e}_{x_i} \\ Y_i &= X_j \vec{e}_{x_j} \cdot \vec{e}_{y_i} + Y_j \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{y_i} + Z_j \vec{e}_{z_j} \cdot \vec{e}_{y_i} \\ Z_i &= X_j \vec{e}_{x_j} \cdot \vec{e}_{z_i} + Y_j \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{z_i} + Z_j \vec{e}_{z_j} \cdot \vec{e}_{z_i} \end{aligned} \right\} \quad (18.11)$$

Đặt:

$$\left. \begin{aligned} l_{x_{ij}} &= \vec{e}_{x_j} \cdot \vec{e}_{x_i}; \quad m_{x_{ij}} = \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{x_i}; \quad n_{x_{ij}} = \vec{e}_{z_j} \cdot \vec{e}_{x_i} \\ l_{y_{ij}} &= \vec{e}_{x_j} \cdot \vec{e}_{y_i}; \quad m_{y_{ij}} = \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{y_i}; \quad n_{y_{ij}} = \vec{e}_{z_j} \cdot \vec{e}_{y_i} \\ l_{z_{ij}} &= \vec{e}_{x_j} \cdot \vec{e}_{z_i}; \quad m_{z_{ij}} = \vec{e}_{y_j} \cdot \vec{e}_{z_i}; \quad n_{z_{ij}} = \vec{e}_{z_j} \cdot \vec{e}_{z_i} \end{aligned} \right\} \quad (18.12)$$

thì (18.11) có thể viết lại như sau:

$$X_i = l_{xij} X_j + m_{xij} Y_j + n_{xij} Z_j$$

$$Y_i = l_{yij} X_j + m_{yij} Y_j + n_{yij} Z_j$$

$$Z_i = l_{zij} X_j + m_{zij} Y_j + n_{zij} Z_j$$

hay dưới dạng ma trận:

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix} = K_{ij}(Q/O_i) \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{pmatrix}$$

với:

$$K_{ij}(Q/O_i) = \begin{pmatrix} l_{xij} & m_{xij} & n_{xij} & 0 \\ l_{yij} & m_{yij} & n_{yij} & 0 \\ l_{zij} & m_{zij} & n_{zij} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18.13)$$

là ma trận chuyển đổi toạ độ khi H_j là H_i quay quanh gốc chung $O_i = O_j$

Các đại lượng

- $l_{xij}, l_{yij}, l_{zij}$

- $m_{xij}, m_{yij}, m_{zij}$

- $n_{xij}, n_{yij}, n_{zij}$

lần lượt là các cosin chỉ phương của các trục X_j, Y_j, Z_j trong H_i

d) Từ các ma trận chuyển đổi toạ độ cơ bản trên đây, ta có thể xây dựng các ma trận chuyển đổi toạ độ ứng với những trường hợp phức tạp hơn. Hãy xét hai ví dụ sau đây ứng với hai trường hợp thông dụng.

1^o) Ma trận chuyển đổi toạ độ khi H_j là H_i tịnh tiến theo $O_i O_j$ và sau đó quay quanh O_j .

Gọi H_k là hệ H_i đã tịnh tiến theo $O_i O_j$, ta có:

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix} = K_{ik}(T, O_i O_j) \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \\ 1 \end{pmatrix} = K_{kj}(Q/O_j) \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{pmatrix}$$

Do đó:

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix} = K_{ik} \left(T, O_i \vec{O}_j \right) \times K_{kj} (Q/O_i) \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{pmatrix}$$

hay

$$K_{ij} = K_{ik} \left(T, O_i \vec{O}_j \right) \times K_{kj} (Q/O_i)$$

Thay (18.6) và (18.13) vào công thức trên được:

$$K_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} l_{xij} & m_{xij} & n_{xij} & 0 \\ l_{yij} & m_{yij} & n_{yij} & 0 \\ l_{zij} & m_{zij} & n_{zij} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

hay:

$$K_{ij} = \begin{pmatrix} l_{xij} & m_{xij} & n_{xij} & a \\ l_{yij} & m_{yij} & n_{yij} & b \\ l_{zij} & m_{zij} & n_{zij} & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18.14)$$

2^o) Ma trận chuyển đổi tọa độ khi H_j là H_i quay quanh vectơ $\vec{k}$ qua gốc chung $O_i = O_j$ một góc θ .

Việc cho H_i quay quanh $\vec{k}$ một góc θ tương đương với việc cho nó lần lượt các chuyển động sau:

- Bước 1: quay quanh O_i sao cho $O_i Z_i$ đến trùng với $\vec{k}$. Ta được hệ H_k .
- Bước 2: quay quanh $\vec{k}$ một góc θ , tức là quay quanh $O_i Z_i$ một góc θ .
- Bước 3: quay quanh O_i với chuyển động ngược với bước 1 trên đây.

Như vậy ma trận chuyển đổi tọa độ K_{ij} trong trường hợp được xét bằng:

$$K_{ij} (Q/\vec{k}, \theta) = K_{ik} (Q/O_i) \times K_{kj} (Q/\vec{k}, \theta) \times K_{ji} (Q/O_i)$$

Vì $K_{ji} (Q/O_i)$ là ma trận chuyển trí của $K_{ij} (Q/O_i)$, tức là:

$$K_{ji} (Q/O_i) = K_{ij}^T (Q/O_i)$$

nên cuối cùng ta có:

$$K_{ij} (Q/\vec{k}, \theta) = K_{ik} (Q/O_i) \times K_{kj} (Q/\vec{k}, \theta) \times K_{ij}^T (Q/O_i) \quad (18.15)$$

Gọi

- $l_{xik}, m_{xik}, k_{xik}$
- $l_{yik}, m_{yik}, k_{yik}$
- $l_{zik}, m_{zik}, k_{zik}$

lần lượt là các cosin chỉ phương của các trục $O_j X_k$, $O_j Y_k$, $O_j Z_k = \bar{k}$ của hệ H_k trong hệ H_i , ta có (xem 18.13)

$$K_{ik}(Q/O_i) = \begin{vmatrix} l_{x_{ik}} & m_{x_{ik}} & n_{x_{ik}} & 0 \\ l_{y_{ik}} & m_{y_{ik}} & n_{y_{ik}} & 0 \\ l_{z_{ik}} & m_{z_{ik}} & n_{z_{ik}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Thay biểu thức này của $K_{ik}(Q/O_i)$ và biểu thức (18.8) (của ma trận chuyển đổi tọa độ khi quay quanh trục Z một góc θ) vào (18.15), ta được:

$$K_{ij}(Q/\bar{k}, \theta) = \begin{vmatrix} l_{x_{ik}} & m_{x_{ik}} & n_{x_{ik}} & 0 \\ l_{y_{ik}} & m_{y_{ik}} & n_{y_{ik}} & 0 \\ l_{z_{ik}} & m_{z_{ik}} & n_{z_{ik}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} l_{x_{ik}} & l_{y_{ik}} & l_{z_{ik}} & 0 \\ m_{x_{ik}} & m_{y_{ik}} & m_{z_{ik}} & 0 \\ n_{x_{ik}} & n_{y_{ik}} & n_{z_{ik}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (18.16)$$

Gọi các vectơ đơn vị chỉ phương của các trục tọa độ $O_j X_k$, $O_j Y_k$, $O_j Z_k$ lần lượt là $\bar{l}$, $\bar{m}$, $\bar{k}$, ta có:

$$\bar{k} = \bar{l} \wedge \bar{m}$$

từ đó ta có:

$$k_x = l_y m_z - l_z m_y$$

$$k_y = l_z m_x - l_x m_z$$

$$k_z = l_x m_y - l_y m_x$$

Chú ý trong các công thức trên đây, để cho tiện ta đã bỏ qua chỉ số ik của các chỉ số x, y, z , tức là thay vì $k_{x_{ik}}, \dots$ ta đã viết tắt $k_x, \dots$

Thay các biểu thức trên đây vào (18.16) ta suy ra được:

$$K_{ij}(Q/\bar{k}, \theta) = \begin{vmatrix} k_x^2 v\theta + c\theta & k_x k_y v\theta - k_z s\theta & k_z k_x v\theta + k_y \theta & 0 \\ k_x k_y v\theta + k_z s\theta & k_y^2 v\theta + c\theta & k_z k_y v\theta - k_x \theta & 0 \\ k_z k_x v\theta - k_y \theta & k_y k_z v\theta + k_x s\theta & k_z^2 v\theta + c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (18.17)$$

trong đó:

$$v\theta = 1 - \cos \theta$$

$$c\theta = \cos \theta$$

$$s\theta = \sin \theta$$

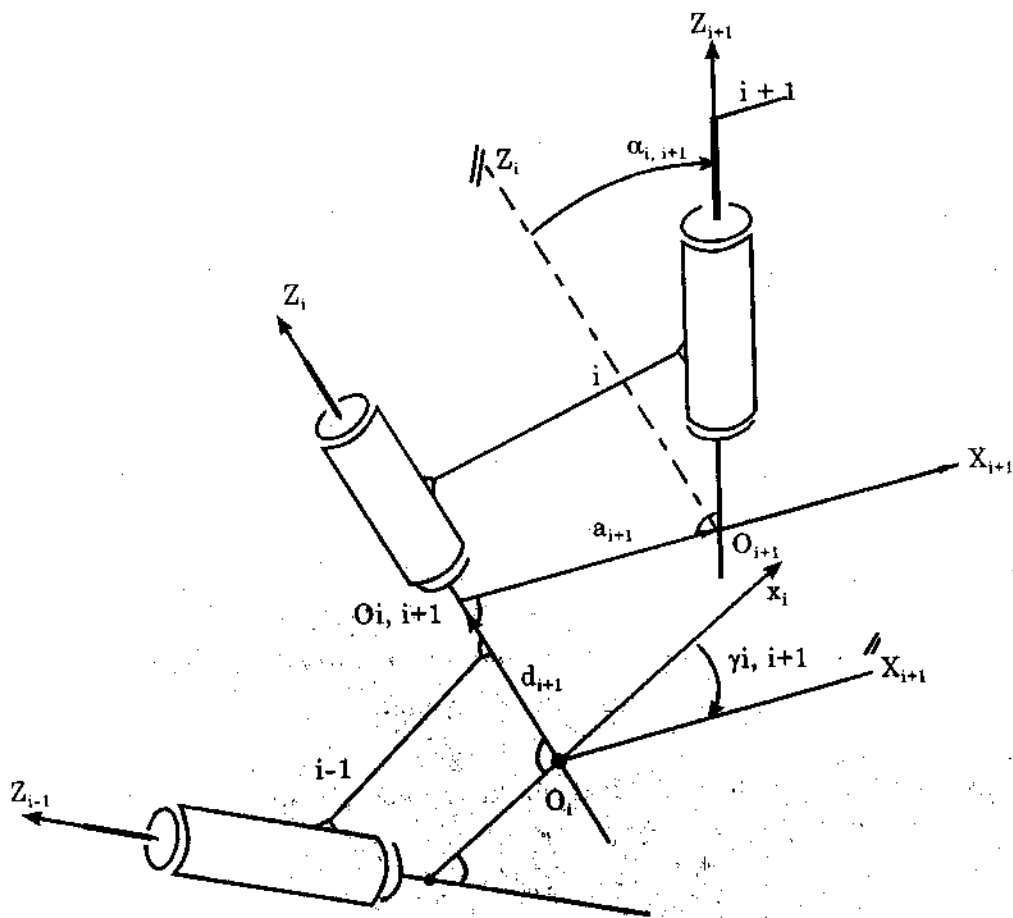
Biểu thức (18.17) cũng có thể viết dưới dạng sau:

$$K_{ij}(Q/\bar{k}, \theta) = \begin{vmatrix} k_x^2 & k_y k_x & k_x k_z & 0 \\ k_x k_y & k_y^2 & k_y k_z & 0 \\ k_x k_z & k_y k_z & k_z^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\cos \theta} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0 & -k_z & k_y & 0 \\ k_z & 0 & -k_x & 0 \\ -k_y & k_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin \theta} \end{vmatrix} \times \sin \theta \quad (19.18)$$

e) Cách chọn hệ tọa độ - các thông số hình động học và ma trận chuyển đổi tọa độ kiểu Denavit-Hartenberg.

Để thuận tiện cho việc tính hình-động học của rôbôt, Denavit.J và Hartenberg R.S đưa ra cách chọn hệ tọa độ và các thông số quan hệ giữa các khâu nối liên tiếp bằng các khớp quay như chỉ ra trên hình 18.6.

Từ đó ta có ma trận chuyển đổi tọa độ tương ứng giữa hai khâu của chuỗi trên như sau:



Hình 18.6

Như trên hình 18.16, các khâu liên tiếp $i-1, i, i+1$ được nối tiếp nhau bởi khớp quay. Hệ tọa độ $H_i - O_i X_i Y_i Z_i$ được gắn lên khâu i , trong đó Z_i là trục quay của khớp nối khâu i với $i-1$.

Tương tự như vậy, ta gắn hệ H_{i-1} lên khâu $i-1$ và hệ H_{i+1} .

Chú ý rằng ở đây gốc tọa độ O_i là giao điểm của Z_i với đường vuông góc chung của hai trục Z_{i-1}, Z_i , còn $O_i X_i$ trùng với đường vuông góc chung của hai trục Z_{i-1}, Z_i .

Gọi:

- γ_{i+1} là góc quay quanh Z_i để $O_i X_i$ đến trùng với $O_{i+1} X_{i+1}$, đó cũng chính là góc quay của khâu $i+1$ đối với khâu i .

$$- d_{i+1} = \overrightarrow{O_i O_{i+1}} \cdot \vec{e}_{Z_i}$$

$$- a_{i+1} = \overrightarrow{O_i O_{i+1}} \cdot \vec{e}_{X_{i+1}}$$

- α_{i+1} là góc quay quanh trục X_{i+1} để $O_i Z_i$ đều cùng chiều với $O_{i+1} Z_{i+1}$.

Với các thông số:

$$\gamma_{i+1}, d_{i+1}, a_{i+1}, \alpha_{i+1}$$

ta có thể thực hiện việc di chuyển hệ H_i đến hệ H_{i+1} bằng các phép chuyển đổi sau:

$$K_{i,i+1} = K(Q/Z_i, \gamma_{i+1}) \cdot K(T_{Z_i}, d_{i+1}) \cdot K(T_{X_{i+1}}, a_{i+1}) \cdot K(Q/X_{i+1}, \alpha_{i+1}).$$

Tương tự ta có:

$$K_{i-1,i} = K(Q/Z_{i-1}, \gamma_i) \cdot K(T_{Z_{i-1}}, d_i) \cdot K(T_{X_i}, a_i) \cdot K(Q/X_i, \alpha_i).$$

Và ma trận chuyển đổi toạ độ có dạng cụ thể như sau:

$$K_{i-1,i} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_i & -\sin \gamma_i & 0 & 0 \\ \sin \gamma_i & \cos \gamma_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

hay:

$$K_{i-1,i} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_i & -\cos \alpha_i \sin \gamma_i & \sin \alpha_i \sin \gamma_i & a_i \cos \alpha_i \\ \sin \gamma_i & \cos \alpha_i \cos \gamma_i & -\sin \alpha_i \cos \gamma_i & a_i \sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18.19)$$

3. Phương trình xác định vị trí của Rôbot

a) *Như đã biết vị trí của một vật rắn trong không gian* được xác định hoàn toàn bởi:

- Vị trí của ba điểm bất kỳ không thẳng hàng của vật đó hoặc bởi vị trí của hệ toạ độ gắn trên vật đó.

Ba điểm không thẳng hàng A, B, C của khâu được xác định bởi bán kính vectơ của ba điểm A, B, C, đó là:

$$\bar{r}_A = \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{bmatrix}; \bar{r}_B = \begin{bmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{bmatrix}; \bar{r}_C = \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{bmatrix}$$

Chín thông số toạ độ: $x_A, x_B, x_C, y_A, y_B, y_C, z_A, z_B, z_C$ liên hệ với nhau bởi ba quan hệ, thể hiện qua phương trình xác định các đoạn thẳng AB, BC và CA trên vật rắn:

$$\begin{cases} (\bar{r}_B - \bar{r}_A)^2 = AB^2 \\ (\bar{r}_C - \bar{r}_B)^2 = BC^2 \\ (\bar{r}_A - \bar{r}_C)^2 = CA^2 \end{cases}$$

Vị trí hệ toạ độ gắn với vật rắn i là $H_i - O_i X_i Y_i Z_i$ được xác định đối với hệ quy chiếu tính toán bởi ma trận vị trí của H_i đối với hệ tính toán. Ma trận xác định vị trí của H_i có dạng:

$$K_{H_1/H_0} = K_{O_1} = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x & X_{O_1} \\ l_y & m_y & n_y & Y_{O_1} \\ l_z & m_z & n_z & Z_{O_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18.20)$$

Các hệ toạ độ ở đây được chọn là hệ toạ độ Descartes trục giao, do đó các phần tử của ma trận vị trí trên quan hệ với nhau bởi sáu phương trình:

$$\left. \begin{aligned} l_x^2 + l_y^2 + l_z^2 &= 1. \\ m_x^2 + m_y^2 + m_z^2 &= 1. \\ n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 &= 1. \\ l_x m_x + l_y m_y + l_z m_z &= 0. \\ m_x n_x + m_y n_y + m_z n_z &= 0. \\ n_x l_x + n_y l_y + n_z l_z &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (18.21)$$

Ở đây:

$X_{O_1}, Y_{O_1}, Z_{O_1}$ là toạ độ của gốc O_1 trong hệ quy chiếu.

$\vec{l}, \vec{m}, \vec{n}$ là các vectơ đơn vị chỉ phương của hệ M_1 đối với hệ quy chiếu.

Dùng ma trận vị trí (18.20) để biểu diễn vị trí của vật rắn trong hệ quy chiếu tính toán là khá thuận tiện.

Trong chín cosin chỉ phương $l_x, l_y, l_z; m_x, m_y, m_z$ và n_x, n_y, n_z , với sáu phương trình quan hệ của bộ ba vectơ đơn vị trục giao, ta suy ra: ba cosin chỉ phương trong đó xác định và hai trong ba vectơ đơn vị chỉ phương của hệ H_1 là độc lập. Nghĩa là ba cosin chỉ phương không nằm trên một dòng hoặc một cột của ma trận vị trí (18.20) là độc lập. Khi đó ma trận vị trí của hệ H_1 hay vật rắn sẽ xác định hoàn toàn nếu nó có sáu số hạng như trong ma trận dưới đây đã được xác định.

$$\begin{bmatrix} \bullet & m_x & n_x & X_{O_1} \\ \bullet & \bullet & n_y & Y_{O_1} \\ \bullet & \bullet & \bullet & Z_{O_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18.22)$$

Từ đó ta có thể suy ra các kiểu ma trận xác định hoàn toàn vị trí của vật rắn. Sáu cosin chỉ phương còn lại được xác định từ hệ phương trình (18.21).

Trong bài toán vị trí của rôbôt hay cơ cấu ngoài việc xác định vị trí của công cụ do rôbôt nắm- điều khiển, còn cần xác định vị trí của các điểm trên các khâu để xác định giới hạn không gian hoạt động của rôbôt.

Vị trí của điểm I thuộc khâu i được xác định từ phương trình sau:

$$\begin{aligned} \vec{r}_I^0 &= K_{O_1} \cdot \vec{r}_I^1 \\ &= K_{O_1} \cdot K_{12} \dots K_{i-1,i} \vec{r}_I^i \end{aligned} \quad (18.23)$$

Phương trình xác định vị trí của công cụ có dạng:

$$K_{Oc} = K_{On} \cdot K_{nc} \quad (18.24)$$

n là khâu n - là bàn tay của rôbôt nắm công cụ.

Hãy thực hiện phép nhân ma trận bên vế phải của (18.24). Kết quả ta sẽ được một ma trận sau đây mà các phần tử k_{ij} được suy ra từ các phần tử của K_{on} , K_{nc} :

$$K_{on} \times K_{nc} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18.25a)$$

Ta lại có:

$$K_{oc} = \begin{bmatrix} l_{x_{Oc}} & m_{x_{Oc}} & n_{x_{Oc}} & X_{O_c} \\ l_{y_{Oc}} & m_{y_{Oc}} & n_{y_{Oc}} & Y_{O_c} \\ l_{z_{Oc}} & m_{z_{Oc}} & n_{z_{Oc}} & Z_{O_c} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18.25b)$$

Thay (18.25a) và (18.25b) vào (18.24), ta sẽ suy ra được sáu phương trình độc lập (bằng cách cho bằng nhau các phần tử của 18.25a, 18.25b ở cùng hàng cùng cột). Đó là phương trình ứng với các tọa độ của gốc O_c :

$$\left. \begin{aligned} X_{O_c} &= k_{14} \\ Y_{O_c} &= k_{24} \\ Z_{O_c} &= k_{34} \end{aligned} \right\} \quad (18.26)$$

và ba phương trình ứng với ba cosin chỉ phương độc lập, đó là:

$$\left. \begin{aligned} m_{x_{Oc}} &= k_{12} \\ n_{x_{Oc}} &= k_{13} \\ n_{y_{Oc}} &= k_{23} \end{aligned} \right\} \quad (18.27)$$

hay ba phương trình của các cosin chỉ phương sau:

$$\begin{aligned} l_{x_{Oc}} &= k_{11} \\ m_{x_{Oc}} &= k_{12} \\ n_{z_{Oc}} &= k_{33} \end{aligned}$$

Phương trình chung xác định vị trí của Rôbôt có dạng:

$$K_{O_c} = K_{o1} \cdot K_{12} \cdot \dots \cdot K_{i-1,i} \cdot \dots \cdot K_{nc} \quad (18.28)$$

Trong đó ma trận chuyển đổi tọa độ $K_{i-1,i}$ có thể chứa các tham số hay một vài tham số quan hệ giữa H_i đối với H_{i-1} sau đây:

α_i , β_i , γ_i là thông số góc quay của hệ H_i đối với H_{i-1} quanh các trục tương ứng X_{i-1} , Y_{i-1} và Z_{i-1} .

a_i , b_i , c_i là chuyển vị tịnh tiến của O_i đối với O_{i-1} theo các trục tương ứng X_{i-1} , Y_{i-1} và Z_{i-1} .

Đối với bài tính thuận, các thông số chuyển vị α_i , β_i , γ_i , a_i , b_i , c_i đã biết trước, cần xác định K_{O_c} bằng cách thực hiện phép nhân các ma trận bên phải của biểu thức (18.24).

Đối với bài tính ngược, từ các ma trận K_{O_c} và K_{n_c} cho trước, phải tìm các thông số chuyển vị tương ứng $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, a_i, b_i, c_i$ từ phương trình ma trận (18.25).

b) Hãy xét một số ví dụ:

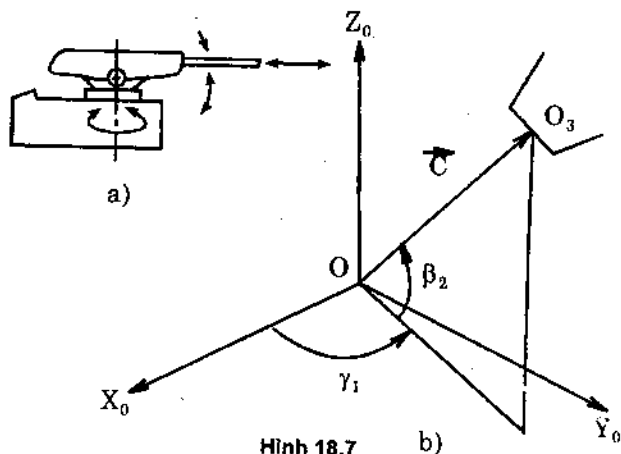
Ví dụ 1: Trên hình 18.7a là dạng kết cấu của rôbốt Unimat 2100 G và 18.7b là lược đồ với các thông số điều khiển và các hệ toạ độ H_1, H_2, H_3 gắn với các khâu động 1, 2 và 3.

γ_1 - là góc quay của H_1 đối với H_0 quanh trục $Z_0 = Z_1$.

β_2 - là góc quay của H_2 đối với H_1 quanh trục $Y_1 = Y_2$.

r - là chuyển vị tịnh tiến của O_3 đối với O_2 dọc theo trục X_2 .

Theo đó ta có các ma trận chuyển hệ sau:



Hình 18.7

$$K_{01} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 & -\sin \gamma_1 & 0 & 0 \\ \sin \gamma_1 & \cos \gamma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{12} = \begin{bmatrix} \cos \beta_2 & 0 & -\sin \beta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta_2 & 0 & \cos \beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

và

$$K_{03} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 \cdot \cos \beta_2 & -\sin \gamma_1 & -\cos \gamma_1 \cdot \sin \beta_2 & r \cdot \cos \gamma_1 \cdot \sin \beta_2 \\ \sin \gamma_1 \cdot \cos \beta_2 & \cos \gamma_1 & -\sin \gamma_1 \cdot \sin \beta_2 & r \cdot \sin \gamma_1 \cdot \sin \beta_2 \\ \sin \beta_2 & 0 & \cos \beta_2 & r \cdot \sin \beta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Phương trình xác định vị trí của bàn tay 3 có dạng:

$$K_{03} = \begin{bmatrix} l_{x_{O_c}} & m_{x_{O_c}} & n_{x_{O_c}} & X_{O_c} \\ l_{y_{O_c}} & m_{y_{O_c}} & n_{y_{O_c}} & Y_{O_c} \\ l_{z_{O_c}} & m_{z_{O_c}} & n_{z_{O_c}} & Z_{O_c} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

với:

$$l_{x_{O_c}} = \cos \gamma_1 \cdot \cos \beta_2$$

$$l_{y_{0c}} = \sin\gamma_1 \cdot \cos\beta_2$$

$$l_{z_{0c}} = \sin\beta_2$$

$$m_{x_{0c}} = -\sin\gamma_1$$

$$m_{y_{0c}} = \cos\gamma_1$$

$$l_{z_{0c}} = 0$$

$$n_{x_{0c}} = -\cos\gamma_1 \cdot \sin\beta_2$$

$$n_{y_{0c}} = -\sin\gamma_1 \cdot \sin\beta_2$$

$$n_{z_{0c}} = \cos\beta_2$$

$$X_{0c} = r \cdot \cos\gamma_1 \cdot \sin\beta_2$$

$$Y_{0c} = r \cdot \sin\gamma_1 \cdot \cos\beta_2$$

$$Z_{0c} = r \cdot \sin\beta_2$$

Các biểu thức này là kết quả bài tính thuận - xác định vị trí bàn kẹp 3 của Rôbôt Unimat 2000G.

Từ kết quả của bài tính thuận trên, ta suy ra ngay được lời giải của bài tính ngược: Xác định các thông số điều khiển γ_1 , β_2 và r để đảm bảo vị trí cho trước của bàn kẹp 3. Công thức xác định các thông số để điều khiển cụ thể là:

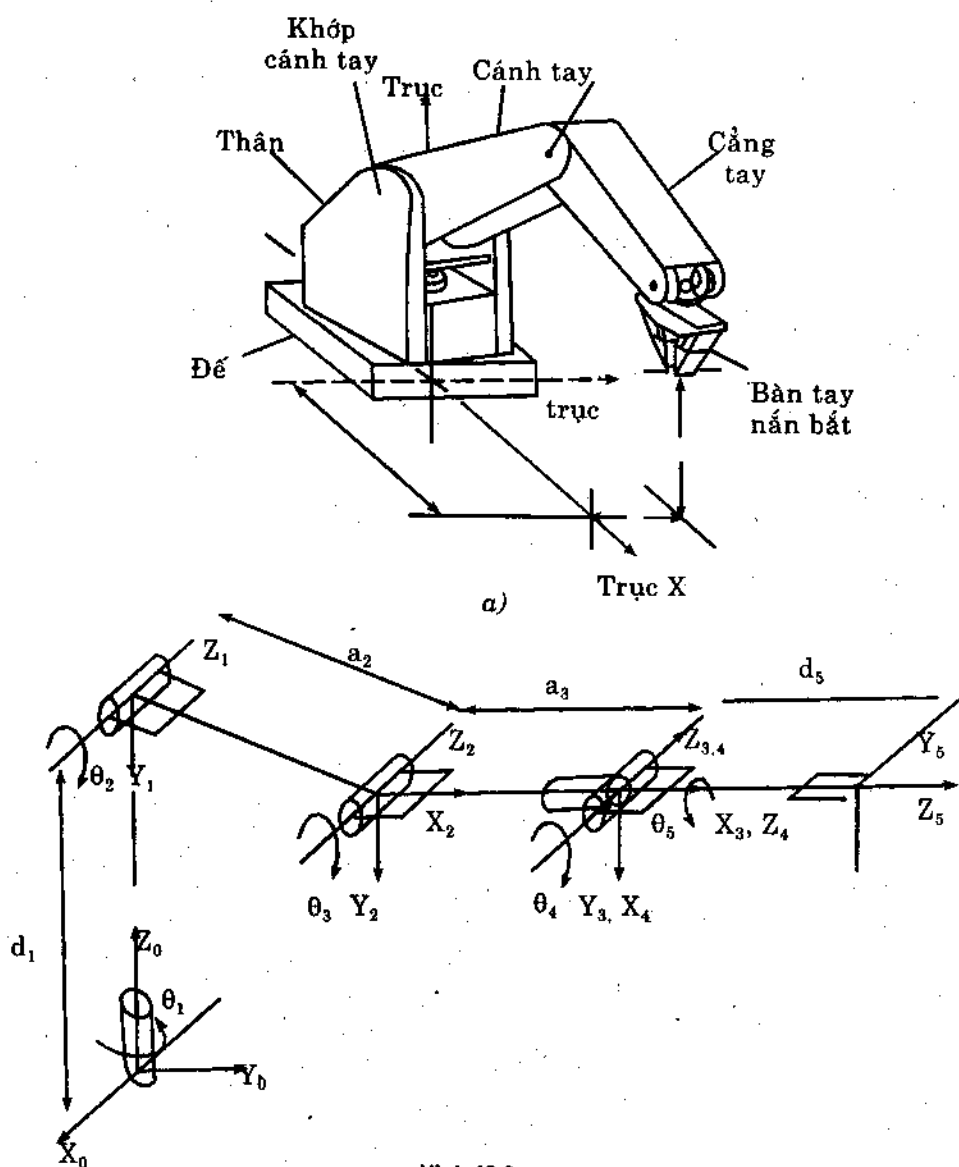
$$\gamma_1 \pm n\pi = \arctg \frac{l_{y_{0c}}}{l_{x_{0c}}} = \arctg \frac{m_{x_{0c}}}{m_{y_{0c}}} = \arctg \frac{n_{y_{0c}}}{n_{x_{0c}}} = \arctg \frac{Y_{0c}}{X_{0c}}$$

$$\beta_2 \pm n\pi = \arctg \frac{\sqrt{(n_{x_{0c}})^2 + (n_{y_{0c}})^2}}{\sqrt{(l_{x_{0c}})^2 + (l_{y_{0c}})^2}} = \arctg \frac{Z_{0c}}{\sqrt{X_{0c}^2 + Y_{0c}^2}} = \arctg \frac{l_{z_{0c}}}{n_{z_{0c}}}$$

$$r = \sqrt{X_{0c}^2 + Y_{0c}^2 + Z_{0c}^2}$$

Trong nhiều trường hợp phương trình để giải bài tính ngược khá phức tạp, khi đó cần sử dụng các thủ pháp biến đổi để có thể tìm các thông số điều khiển một cách đơn giản hơn. Dưới đây là các ví dụ minh họa.

Ví dụ 2: Trên hình 18.8a là cấu trúc của rôbốt Monimaver Microbot và hình 18.8b là lược đồ động và các hệ trục gắn với các khâu.



Hình 18.8

Từ cách xây dựng các hệ trục trên, ta có bảng các thông số quan hệ Denavit-Hartenberg của Rôbốt này như sau:

Khâu	γ_i^0	α_i^0	a_i	d_i
0				
1	γ_1	-90^0	00	d_1
2	γ_2	0	a_2	0
3	γ_3	0	a_3	0
4	γ_4	90^0	0	0
5	γ_5	0	0	d_5

Giả sử $a_3 = a_2 = a$.

Mã trận chuyển đổi Denavit-Hartenberg có dạng:

$$K_{i,i+1} = \begin{vmatrix} C\gamma_i & -C\alpha_i S\gamma_i & S\alpha_i S\gamma_i & a_i C\gamma_i \\ S\gamma_i & C\alpha_i C\gamma_i & -S\alpha_i C\gamma_i & a_i S\gamma_i \\ 0 & S\gamma_i & -C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Ở đây: $C\gamma_i = \cos\gamma_i$

$$S\gamma_i = \sin\gamma_i$$

Từ đó ta có thể xác định K_{01} , K_{12} , K_{23} , K_{34} , K_{45} .

$$K_{05} = K_{01} \cdot K_{12} \cdot K_{23} \cdot K_{34} \cdot K_{45}.$$

Đặt $S_{i,i+1} = \sin(\gamma_i + \gamma_{i+1})$.

$$C_{i,i+1} = \cos(\gamma_i + \gamma_{i+1}).$$

Tính biểu thức của ma trận chuyển đổi K_{05} , ta có kết quả:

$$(K_{05})_{11} = C_1 \cdot C_{2,3} C_4 C_5 - C_1 S_{2,3} S_4 C_5 - S_1 S_5.$$

$$(K_{05})_{12} = -C_1 \cdot C_{2,3} C_4 C_5 - C_1 S_{2,3} S_4 S_5 - S_1 C_5.$$

$$(K_{05})_{13} = C_1 \cdot C_{2,3} C_4 + C_1 S_{2,3} C_4.$$

$$(K_{05})_{14} = d_5 C_1 \cdot C_{2,3} S_4 + d_5 C_1 S_{2,3} C_4 + a C_1 (C_{2,3} + C_2).$$

$$(K_{05})_{21} = S_1 \cdot C_{2,3} C_4 C_5 - S_1 S_{2,3} S_4 S_5 - C_1 S_5.$$

$$(K_{05})_{22} = -S_1 \cdot C_{2,3} C_4 S_5 + S_1 S_{2,3} S_4 S_5 - C_1 S_5.$$

$$(K_{05})_{23} = S_1 \cdot C_{2,3} S_4 + S_1 S_{2,3} C_4.$$

$$(K_{05})_{24} = d_5 S_1 \cdot C_{2,3} S_4 + d_5 S_1 S_{2,3} C_4 + a S_1 (C_{2,3} + C_2).$$

$$(K_{05})_{31} = -S_{2,3} C_4 C_5 - C_{2,3} S_4 C_5.$$

$$(K_{05})_{32} = S_{2,3} C_4 S_5 - C_{2,3} S_4 S_5.$$

$$(K_{05})_{33} = -S_{2,3} S_4 + C_{2,3} C_4.$$

$$(K_{05})_{34} = -d_5 S_{2,3} S_4 + d_5 C_{2,3} C_4 + d_1 - a(S_{2,3} + S_2).$$

$$(K_{05})_{41} = (K_{05})_{42} = (K_{05})_{43} = 0; (K_{05})_{44} = 1.$$

Phương trình xác định quỹ đạo của điểm M thuộc bàn tay 5 có dạng:

$$\vec{r}_M^0 = K_{05} \cdot \vec{r}_M^5$$

Bài toán ngược đối với vị trí bàn tay 5 được giải như sau:

$$K_{0c} = K_{05}$$

Từ đó ta có:

$$(K_{05})_{31} = -(S_{2,3} C_4 + C_{2,3} S_4) C_5 = l_{z_{0c}}$$

$$(K_{05})_{32} = (S_{2,3} C_4 + C_{2,3} S_4) S_5 = m_{z_{0c}}$$

Suy ra:

$$\gamma_5 = \arctg \left(-\frac{m_{z_{0c}}}{l_{z_{0c}}} \right).$$

Ở đây bỏ qua nghiệm $\gamma_6 \pm \pi$. (Vì khi điều khiển ta thường không sử dụng đến)

Xét:

$$(K_{05})_{11} \cdot S_5 + (K_{05})_{12} \cdot C_5 = -S_1 = l_{x_{Oc}} \cdot \sin \gamma_5 + m_{x_{Oc}} \cdot \cos \gamma_5.$$

Suy ra :

$$\gamma_1 = \arcsin(l_{x_{Oc}} \sin \gamma_5 + m_{x_{Oc}} \cos \gamma_5)$$

Để tìm tiếp các thông số còn lại ta sử dụng các biến đổi có sử dụng đến ma trận nghịch đảo của các ma trận chuyển hệ, như sau:

Từ:

$$K_{Oc} = K_{05} = K_{01} \cdot K_{12} \cdot K_{23} \cdot K_{34} \cdot K_{45}$$

ta có:

$$K_{12}^{-1} \cdot K_{01}^{-1} \cdot K_{Oc} = K_{12}^{-1} \cdot K_{01}^{-1} \cdot K_{01} \cdot K_{12} \cdot K_{23} \cdot K_{34} \cdot K_{45}$$

Đặt
$$K_{12}^{-1} \cdot K_{01}^{-1} \cdot K_{Oc} = K^*$$

$$K^* = K_{23} \cdot K_{34} \cdot K_{45} = K_{25}$$

Thực hiện phép tính với phương trình ma trận K^* , ta được

$$(K^*)_{11} = l_{x_{Oc}} C_1 C_2 + l_{y_{Oc}} C_2 S_1 - l_{z_{Oc}} S_2 = (K_{25})_{11} = C_5 \cdot C_{3,4}$$

$$(K^*)_{12} = m_{x_{Oc}} C_1 C_2 + m_{y_{Oc}} C_2 S_1 - m_{z_{Oc}} S_2 = (K_{25})_{12} = -S_5 \cdot C_{3,4}$$

$$(K^*)_{13} = n_{x_{Oc}} C_1 C_2 + n_{y_{Oc}} C_2 S_1 - n_{z_{Oc}} S_2 = (K_{25})_{13} = -S_5 \cdot C_{3,4}$$

$$(K^*)_{14} = X_{Oc} C_2 C_1 + Y_{Oc} C_2 S_1 - Z_{Oc} S_2 + d_1 S_2 = (K_{25})_{14} = -d_2 \cdot S_{3,4} + a C_3$$

$$(K^*)_{21} = -l_{x_{Oc}} S_2 C_1 - l_{y_{Oc}} S_1 S_2 - l_{z_{Oc}} C_2 = (K_{25})_{21} = C_5 \cdot S_{3,4}$$

$$(K^*)_{22} = -m_{x_{Oc}} S_1 C_1 - m_{y_{Oc}} S_1 S_2 - m_{z_{Oc}} C_2 = (K_{25})_{22} = -C_3 \cdot C_4$$

$$(K^*)_{23} = n_{x_{Oc}} S_2 C_1 - n_{y_{Oc}} S_1 S_2 - n_{z_{Oc}} C_2 = (K_{25})_{23} = -C_{3,4}$$

$$(K^*)_{24} = -X_{Oc} S_2 C_1 - Y_{Oc} S_1 S_2 - Z_{Oc} C_2 + d_1 C_2 = (K_{25})_{24} = -d_5 \cdot C_{3,4} + a S_3$$

Từ $(K^*)_{11}$ và $(K^*)_{21}$, qua biến đổi ta có:

$$l_{x_{Oc}} C_1 + l_{y_{Oc}} S_1 = C_5 \cdot \cos(\gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4)$$

Từ $(K^*)_{12}$ và $(K^*)_{22}$, ta có:

$$-m_{z_{Oc}} = -S_5 \sin(\gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4)$$

Suy ra:

$$\gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 = \arctg \frac{m_{z_{Oc}}}{\text{tg} \gamma_5 (l_{x_{Oc}} C_1 + l_{y_{Oc}} S_1)}$$

Từ $(K^*)_{11}$ và $(K^*)_{12}$, ta có:

$$-\text{tg} \gamma_5 (l_{x_{Oc}} C_1 + l_{y_{Oc}} S_1 - l_{z_{Oc}} \text{tg} \gamma_2) = m_{x_{Oc}} C_1 + m_{y_{Oc}} S_1 + m_{z_{Oc}} \text{tg} \gamma_2.$$

Suy ra:

$$\gamma = \arctg. \frac{m_{x_{0c}} C_1 + m_{y_{0c}} S_1 + tg\gamma_5 (l_{x_{0c}} C_1 + l_{y_{0c}} S_1)}{L_Z tg\gamma_5 + m_{z_{0c}}}$$

Từ $(K^*)_{12}$, ta có:

$$\sin(\gamma_3 + \gamma_4) = n_{x_{0c}} C_1 C_2 + n_{y_{0c}} S_1 C_2 - n_{z_{0c}} S_2$$

Suy ra:

$$\gamma_2 + \gamma_3 = \arcsin(n_{x_{0c}} C_1 C_2 + n_{y_{0c}} S_1 C_2 - n_{z_{0c}} S_2)$$

Từ $(K^*)_{14}$, ta có:

$$\arccos\gamma_3 = X_{0_5} C_1 C_2 + Y_{0_5} C_2 S_1 - Z_{0_5} S_2 + d_1 S_2 - a - d_5 S_{3,4}$$

Suy ra:

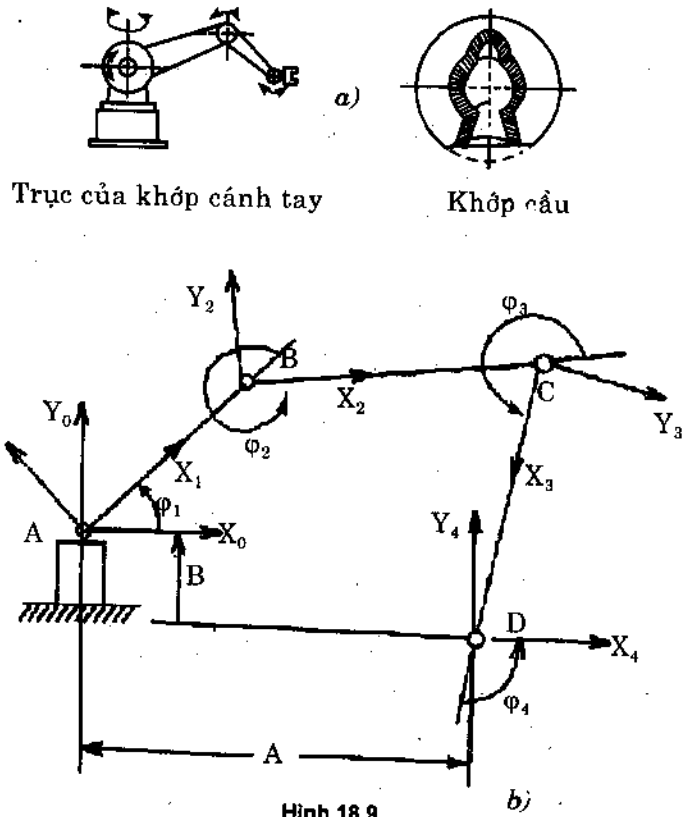
$$\gamma_3 = \arccos \left[\frac{1}{a} (X_{0_5} C_1 C_2 + Y_{0_5} C_2 S_1 - Z_{0_5} S_2 + d_1 S_2 - a - d_5 S_{3,4}) \right]$$

Cuối cùng:

$$\gamma_4 = \gamma_3 + \gamma_4 - \gamma_3 = \arcsin(n_{x_{0c}} C_1 C_2 + n_{y_{0c}} S_1 C_2 - n_{z_{0c}} S_2) - \arccos \frac{X_{0_5} C_1 C_2 + Y_{0_5} C_2 S_1 - Z_{0_5} S_2 + d_1 S_2 - a - d_5 S_{3,4}}{a}$$

Ví dụ 3: Xét rôbốt như trên hình 18.9a, rôbốt có trục quay thẳng đứng đối với giá và ba trục quay nằm ngang tạo thành cánh tay và bàn tay của rôbốt. Đối với loại rôbốt này ta có thể chia miền làm việc của nó thành các miền con là các mặt phẳng đi qua trục quay thẳng đứng. Mặt phẳng thẳng đứng đó được xác định bởi góc quay θ quanh trục thẳng đứng. Các thao tác của phần cánh tay và bàn tay còn lại là các di chuyển trong mặt phẳng thẳng đứng xác định bởi θ . Phần đó của bài toán tính phẳng trong mặt phẳng θ như trên hình 18.9.

Để giải ta lập các hệ tọa độ như trên hình vẽ. Ở đây ta có các ma trận chuyển đổi như sau:



Hình 18.9

$$K_{01} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{12} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & l_1 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{23} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 & l_2 \\ \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{34} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_4 & -\sin \varphi_4 & l_3 \\ \sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{04} = \begin{bmatrix} C_{1,2,3,4} & -S_{1,2,3,4} & l_1 C_1 + l_2 C_{1,2} + l_3 C_{1,2,3} \\ S_{1,2,3,4} & C_{1,2,3,4} & l_1 S_1 + l_2 S_{1,2} + l_3 S_{1,2,3} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{40} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -A \\ 0 & 1 & B \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$l_1 = l_{AB}; l_2 = l_{BC}; l_3 = l_{CD}.$$

A, B là tọa độ của A trong hệ DX_4Y_4 .

φ_i - là xác định định hướng của CD.

Bài tính thuận ngược ở đây có thể giải theo phương trình của ma trận đồng như sau:

$$K_{01} \cdot K_{12} \cdot K_{23} \cdot K_{34} \cdot K_{40} = E.$$

E là ma trận đơn vị.

Cụ thể là:

$$\begin{bmatrix} C_{1,2,3,4} & -S_{1,2,3,4} & (L_1 C_1 + L_2 C_{1,2} + L_3 C_{1,2,3} - AC_{1,2,3,4} - BS_{1,2,3,4}) \\ S_{1,2,3,4} & C_{1,2,3,4} & (L_1 S_1 + L_2 S_{1,2} + L_3 S_{1,2,3} + BC_{1,2,3,4} - AS_{1,2,3,4}) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = E$$

Suy ra hệ phương trình để giải bài toán thuận nghịch ở đây là:

$$L_1 C_1 + L_2 C_{1,2} + L_3 C_{1,2,3} - A = 0$$

$$L_1 S_1 + L_2 S_{1,2} + L_3 S_{1,2,3} + B = 0$$

4. Không gian hoạt động- miền với tới và miền làm việc của rôbôt

a) **Không gian hoạt động** của rôbôt là không gian bao chứa rôbôt khi hoạt động với các giới hạn tận cùng các di chuyển của nó.

Bài tính không gian hoạt động của rôbôt được tính từ khâu đầu $i = 1$, đến khâu cuối n - bàn tay với công cụ gắn trên đó. Phương trình xác định không gian hoạt động có dạng:

$$\bar{r}_{P_i}^0 = K_{\alpha_i} \bar{r}_{P_i}^i$$

$\bar{r}_{P_i}^i$ - là bán kính vectơ của điểm P_i chạy trên mặt ngoài của khâu i tính đối với hệ H_i , như trên hình (18.10).

Các thông số chuyển vị giữa các khâu lấy đạt tới các giới hạn cho phép của chúng:

- Đối với góc quay:

$[\alpha_i]_{\min} \leq \alpha_i \leq [\alpha_i]_{\max}$, nghĩa là đối với khớp quay của khâu i đối với khâu $i - 1$.

- Đối với khớp nối tịnh tiến:

$$[S_i]_{\min} \leq S_i \leq [S_i]_{\max}$$

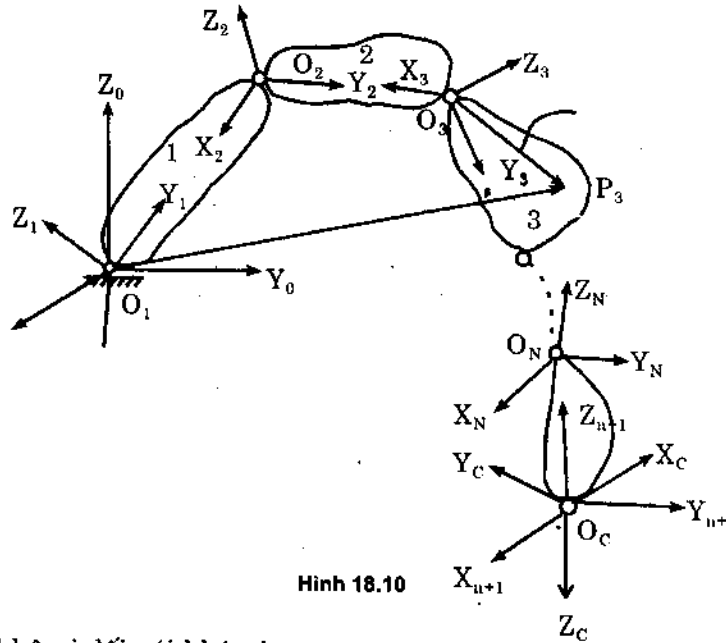
S_i - là chuyển vị tịnh tiến của khâu i đối với khâu $i - 1$.

b) Miền với tới: Miền với tới là miền mà điểm làm việc trên bàn tay có thể đạt tới được trong quá trình hoạt động. Ta có thể thể hình dung miền làm việc qua các hình 18.11, 18.12. Phương trình xác định miền với tới là:

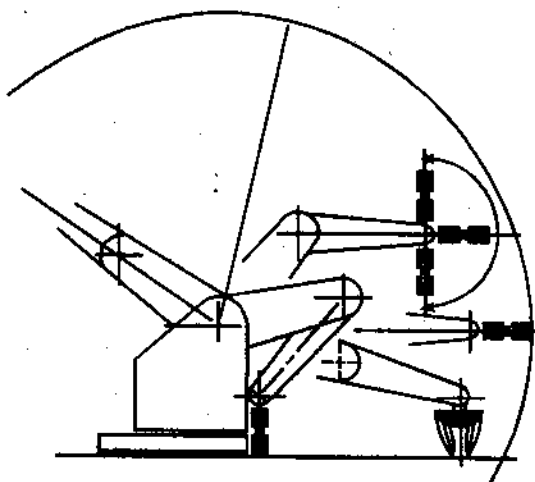
$$\bar{r}_C^n = M_{O_n} \cdot \bar{r}_C^n \quad (18.29)$$

$\bar{r}_C^n$ - là bán kính vectơ của điểm làm việc thuộc công cụ nắm bởi bàn tay n .

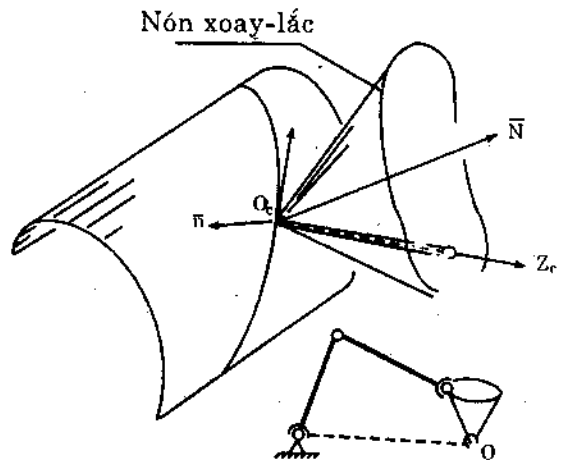
Các thông số chuyển dịch giữa các khâu được cho biến thiên từ giới hạn *min* tới *max* và tìm ra bao của phương trình trên. Đó là miền với tới của nó.



Hình 18.10



Hình 18.11



Hình 18.12

c) Miền làm việc của Rôbốt

Khi làm việc, trong trường hợp chung, đầu mút công cụ nắm bởi bàn tay được dẫn chuyển theo các quỹ đạo yêu cầu và ngoài ra công cụ còn phải có khả năng cơ động quay để lắc quanh đầu mút của nó. Góc xoay lắc nằm trong giới hạn min - max tạo nên vùng nón xoay - lắc giới hạn công cụ.

Miền làm việc của rôbốt đó là miền mà mặt công cụ di chuyển theo đó và đảm bảo nón xoay - lắc thoả mãn điều kiện công nghệ yêu cầu.

Có thể hình dung khái niệm trên nhờ hình 18.12.

Như vậy miền làm việc là các lớp đường hoặc mặt với tới của điểm mút gắn với góc - xoay lắc giới hạn cho phép.

Để xác định miền làm việc kèm theo góc xoay - lắc yêu cầu, tại mọi điểm đạt tới của mút O_c của công cụ, ta phải xác định góc xoay-lắc giới hạn của $O_c X_c Y_c Z_c$ ứng với từng điểm O_c với tới.

Bài toán xác định miền làm việc hay còn gọi là bài toán giới hạn về miền làm việc được giải như sau:

Tại các điểm đạt tới của O_c ta cố định O_c bởi khớp cầu tâm O_c , và xét rôbốt khi đó như một cơ cấu đóng kín, xem hình 18.10. Từ đó ta có phương trình ma trận của chuỗi động đóng $O.O_1...O_i...O_n.O_c$ như sau:

$$\overrightarrow{OO_c} = K_{on} \cdot \overrightarrow{O_n O_c} \quad (18.30)$$

Hãy gắn thêm vào O_c hệ H_{n+1} là $O_c X_{n+1} Y_{n+1} Z_{n+1}$ song song với H_0 , khi đó ta có phương trình ma trận sau:

$$K_{01} \cdot K_{12} \dots K_{n-1,n} \cdot K_{cn,n+1} \cdot K_{n+1,n+2} = E \quad (18.31)$$

E là ma trận đơn vị.

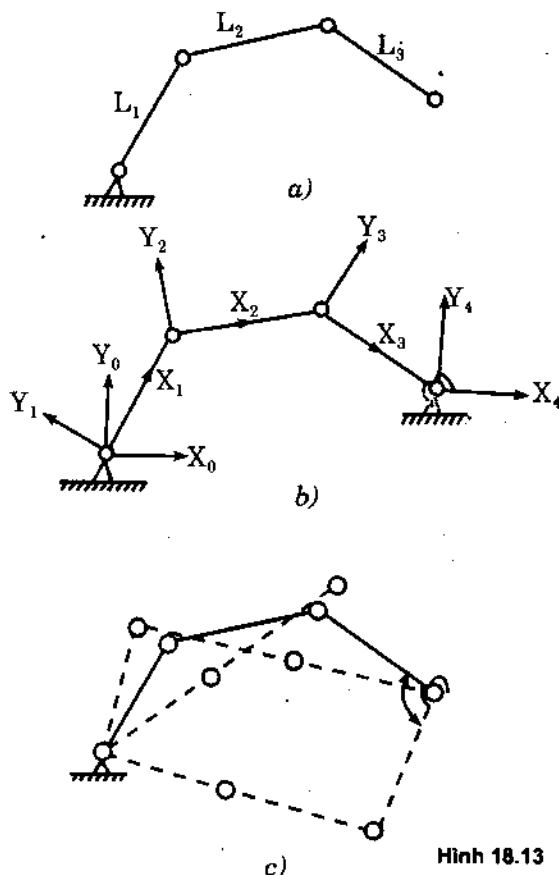
Hay sử dụng hệ H_c gắn với công cụ, ta có phương trình ma trận:

$$K_{01} \cdot K_{12} \dots K_{n-1,n} \cdot K_{n,c} = K_{O_c} \quad (18.32)$$

hoặc

$$K_{01} \cdot K_{12} \dots K_{n,c} \cdot K_{c,0c} = E \quad (18.33)$$

Về nguyên tắc hệ trên cho ta 06 phương trình độc lập. Do vậy để thoả mãn miền làm việc với góc xoay lắc đòi hỏi, trong trường hợp chung nhất rôbốt phải có số bậc tự do lớn hơn hoặc bằng 06. Dĩ nhiên đó phải là 06 bậc tự do không gian. Trường hợp bậc tự do nhỏ hơn 06 thì bậc xoay - lắc của công cụ sẽ bị hạn chế.



Hình 18.13

Bạn đọc có thể tìm miền làm việc của rôbôt phẳng, góc giới hạn lắ ở đây là góc phẳng, trên hình 18.13 theo các quy tắc đã dẫn ra ở trên.

Hình 18.13b để xác định miền làm việc với góc lắ giới hạn.

Hình 18.13c là quỹ đạo với góc lắ, yêu cầu không đổi và cách xác định góc lắ.

18.2.2. Vận tốc và gia tốc các điểm trên rôbôt.

1. Toạ độ của điểm P_i thuộc khâu i của rôbôt được xác định bởi bán kính vectơ của điểm P_i .

Trong hệ H_i - vectơ đó có dạng:

$$\vec{r}_{P_i}^i = \vec{O_i P_i} = \begin{bmatrix} X_{P_i/i} & Y_{P_i/i} & Z_{P_i/i} \end{bmatrix}^T$$

Trong hệ H_0 - vectơ đó có dạng:

$$\vec{r}_{P_i}^0 = \vec{O P_i} = \begin{bmatrix} X_{P_i/0} & Y_{P_i/0} & Z_{P_i/0} \end{bmatrix}^T$$

$$\vec{r}_{P_i}^0 = K_{0i} \vec{r}_{P_i}^i$$

Từ đó ta có các biểu thức để tính vận tốc, gia tốc của điểm P_i như sau:

Biểu thức xác định vận tốc của điểm P_i :

$$\vec{v}_{P_i} = \frac{d}{dt} \vec{r}_{P_i}^0 = \frac{d}{dt} [K_{0i} \vec{r}_{P_i}^i] \quad (18.34)$$

Biểu thức xác định gia tốc của điểm P_i :

$$\vec{a}_{P_i} = \frac{d^2}{dt^2} \vec{r}_{P_i}^0 = \frac{d^2}{dt^2} [K_{0i} \vec{r}_{P_i}^i] \quad (18.35)$$

Trong thực tế, thông thường các khâu của rôbôt được nối với nhau bằng các khớp có một bậc tự do tương đối, nếu không ta có thể biểu diễn lại bằng cách tách các ma trận biến đổi toạ độ thành các ma trận chỉ chứa một tham số quan hệ vị trí của hai khâu.

Để thuận tiện cho các tính toán sau này, ta sử dụng ký hiệu q_i là tham số trong ma trận chuyển đổi toạ độ từ hệ H_{i-1} sang H_i . Nó cũng chính là tham số chuyển vị của hệ H_i đối với H_{i-1} . Ứng với một bậc tự do tương đối của hệ H_i đối với H_{i-1} , q_i có thể là $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, a_i, b_i, c_i$, tức là một trong các tham số đã sử dụng trước đây, nghĩa là q_i có thể là chuyển vị quay hay chuyển vị tịnh tiến của hệ H_i đối với H_{i-1} .

Từ đó ta có thể viết các biểu thức tính bán kính vectơ, vận tốc, gia tốc của điểm P_i như sau:

$$\vec{r}_{P_i}^0 = K_{01}(q_1) \dots K_{i-1,i}(q_i) \cdot \vec{r}_{P_i}^C \quad (18.36)$$

$$\vec{v}_{P_i}^0 = \frac{d\vec{r}_{P_i}^0}{dt} = \frac{d}{dt} [K_{01}(q_1) \dots K_{i-1,i}(q_i)] \cdot \vec{r}_{P_i}^C \quad (18.37)$$

Ở đây $K_{i-1,i}$ là các ma trận chuyển đổi cơ bản, cụ thể là:

Nếu: $q_i = \alpha_i$, ta có:

$$K_{i-1,i}(q_i = \alpha_i) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_i & -\sin q_i & 0 \\ 0 & \sin q_i & \cos q_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\frac{\partial}{\partial q_i} K_{i-1,i} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin q_i & -\cos q_i & 0 \\ 0 & \cos q_i & -\sin q_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times K_{i-1,i} =$$

$$= K_{i-1,i} \times \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Đặt: $Q_i(\alpha) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$ (18.38)

Khi đó:

$$\frac{\partial}{\partial q_i} K_{i-1,i}(q_i = \alpha_i) = Q_i(\alpha) K_{i-1,i} = K_{i-1,i} Q_i(\alpha) \quad (18.39)$$

Tương tự ta có:

$$Q_i(q_i = \beta_i) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & +1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (18.40)$$

$$Q_i(q_i = \gamma_i) = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (18.41)$$

$$Q_i(q_i = a_i) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (18.42)$$

$$Q_i(q_i = b_i) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (18.43)$$

$$Q_i(q_i = c_i) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (18.44)$$

Bằng cách biểu diễn này ta có thể viết các biểu thức vận tốc và gia tốc của điểm P_i thuộc khâu i như sau:

Biểu thức vận tốc của điểm P_i thuộc khâu i :

$$\begin{aligned}\vec{v}_{P_i}^0 &= \frac{d}{dt} \vec{r}_{P_i}^0 = \left\| \begin{matrix} \dot{\vec{X}}_{P_i/0} \\ \dot{\vec{Y}}_{P_i/0} \\ \dot{\vec{Z}}_{P_i/0} \\ 0 \end{matrix} \right\| = \sum_{j=1}^i \left(\frac{\partial \mathbf{K}_{0i}}{\partial q_j} \cdot \frac{dq_j}{dt} \right) \vec{r}_{P_i}^i \\ &= \sum_{j=1}^i \left(\mathbf{K}_{0i} \dots \mathbf{K}_{j-1,j} \mathbf{Q}_j \mathbf{K}_{j,j+1} \cdot \dot{q}_j \right) \vec{r}_{P_i}^i\end{aligned}\quad (18.45)$$

Đặt:

$$\begin{aligned}V_{j-1,j} &= \mathbf{K}_{0i} \dots \mathbf{K}_{j-1,j} \mathbf{Q}_j \mathbf{K}_{j,j+1} \mathbf{K}_{i-1,i} (\mathbf{K}_{0i})^{-1} \\ j &\leq i\end{aligned}\quad (18.46)$$

Ta có:

$$\vec{v}_{P_i}^0 = \sum_{j=1}^i V_{j-1,j} \cdot \dot{q}_j \cdot \mathbf{K}_{0i} \vec{r}_{P_i}^i = \sum_{j=1}^i V_{j-1,j} \cdot \dot{q}_j \cdot \vec{r}_{P_i}^0 \quad (18.47)$$

Biểu thức gia tốc của điểm P_i thuộc khâu i :

$$\begin{aligned}\vec{a}_{P_i}^0 &= \frac{d^2}{dt^2} \vec{r}_{P_i}^0 = \left\| \ddot{\vec{X}}_{P_i^0} \quad \ddot{\vec{Y}}_{P_i^0} \quad \ddot{\vec{Z}}_{P_i^0} \quad 0 \right\|^T \\ &= \sum_{j=1}^i \frac{\partial}{\partial q_j} \mathbf{K}_{0i} \cdot \ddot{q}_j \cdot \vec{r}_{P_i}^0 + \sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i \frac{\partial^2}{\partial q_j \partial q_k} \mathbf{K}_{0i} \cdot \dot{q}_j \cdot \dot{q}_k \cdot \vec{r}_{P_i}^0\end{aligned}\quad (18.48)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial q_j \partial q_k} \mathbf{K}_{0i} = \mathbf{K}_{0j} \cdot \mathbf{Q}_j \cdot \mathbf{K}_{j,k-1} \cdot \mathbf{K}_{k-1,k} \cdot \mathbf{Q}_k \cdot \mathbf{K}_{ki} \quad (18.49)$$

$$i \geq j, k$$

đặt:

$$A_{ijk} = \mathbf{K}_{0j} \cdot \mathbf{Q}_j \cdot \mathbf{K}_{j,k} \cdot \mathbf{Q}_k \cdot \mathbf{K}_{ki} \cdot (\mathbf{K}_{0i})^{-1} \quad (18.50)$$

Từ đó ta có:

$$\vec{a}_{P_i}^0 = \left[\sum_{j=1}^i \frac{\partial}{\partial q_j} V_{j-1,j} \cdot \ddot{q}_j + \sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i A_{ijk} \cdot \dot{q}_j \cdot \dot{q}_k \right] \vec{r}_{P_i}^0 \quad (18.51)$$

2- Để thuận tiện hơn cho các tính toán về lực và động lực học sau này, ta sử dụng công thức tính vận tốc, gia tốc của các điểm và các khâu theo công thức truy lùi sau đây:

Trên hình 18.14 biểu diễn quan hệ giữa hai khâu $i-1$ và i với các hệ tọa độ được xác định theo kiểu Denavit-Hartenberg, ta có:

$$\vec{r}_{0i} = \vec{r}_{0i-1} + \overrightarrow{\mathbf{0}_{i-1} \mathbf{0}_i}$$

$$\vec{r}_{0i} = \overrightarrow{00_{i-1}}.$$

Vận tốc điểm 0_i :

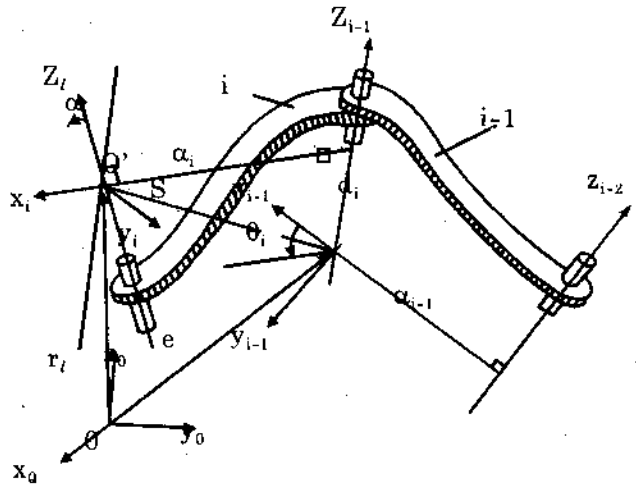
$$\vec{v}_{0i} = \frac{d}{dt} \vec{r}_{0i}$$

$$= \vec{v}_{0_{i-1}} + \vec{\omega}_{i-1} \wedge \overrightarrow{0_{i-1}0_i} + \frac{d^* \overrightarrow{0_{i-1}0_i}}{dt} \quad (18.52)$$

$\frac{d^*}{dt}$ là đạo hàm theo thời gian đối với hệ H_{i-1} .

Gia tốc điểm gốc 0_i :

$$\vec{a}_{0i} = \frac{d}{dt} \vec{v}_{0i} = \vec{a}_{0_{i-1}} + \vec{\varepsilon}_{i-1} \wedge \overrightarrow{0_{i-1}0_i}$$



Hình 18. 14

$$+ 2\vec{\omega}_{i-1} \wedge \frac{d^*}{dt} \overrightarrow{0_{i-1}0_i} + \vec{\omega}_{i-1} \wedge \left(\vec{\omega}_{i-1} \wedge \overrightarrow{0_{i-1}0_i} \right) + \frac{d^2}{dt^2} \overrightarrow{0_{i-1}0_i} \quad (18.53)$$

Vận tốc góc của khâu i :

$$\vec{\omega}_i = \vec{\omega}_{i-1} + \vec{\omega}_{i/i-1} \quad (18.54)$$

Gia tốc góc của khâu i :

$$\vec{\varepsilon}_i = \vec{\varepsilon}_{i-1} + \vec{\varepsilon}_{i/i-1} \quad (18.55)$$

Ở đây:

$$\vec{\varepsilon}_{i/i-1} = \vec{\omega}_{i-1} \wedge \vec{\omega}_{i/i-1} + \frac{d^*}{dt} \vec{\omega}_{i/i-1}$$

$\vec{\omega}_{i/i-1} = \dot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}}$ - nếu khâu i quay đối với khâu $i-1$.

$\vec{\omega}_{i/i-1} = 0$ nếu khâu i tịnh tiến đối với khâu $i-1$.

$\frac{d^*}{dt} \vec{\omega}_{i/i-1} = \ddot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}}$ nếu khâu i quay đối với khâu $i-1$.

$\frac{d^*}{dt} \vec{\omega}_{i/i-1} = 0$ nếu khâu i tịnh tiến đối với khâu $i-1$.

Từ đó ta có:

$\vec{\omega}_i = \vec{\omega}_{i-1} + \dot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}}$ nếu khâu i quay đối với khâu $i-1$.

$\vec{\omega}_i = \vec{\omega}_{i-1}$ nếu khâu i tịnh tiến đối với khâu $i-1$.

$\vec{\varepsilon}_i = \vec{\varepsilon}_{i-1} + \ddot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}} + \vec{\omega}_{i-1} \wedge \left(\dot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}} \right)$, nếu khâu i quay đối với khâu $i-1$.

$\vec{\varepsilon}_i = \vec{\varepsilon}_{i-1}$, nếu khâu i tịnh tiến đối với khâu $i-1$.

$\frac{d^*}{dt} \overrightarrow{0_{i-1}0_i} = \vec{\omega}_{i-1} \wedge \overrightarrow{0_{i-1}0_i}$, nếu khâu i quay đối với khâu $i-1$.

$$\frac{d^*}{dt} \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i} = \dot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}}, \text{ nếu khâu } i \text{ tịnh tiến đối với khâu } i-1.$$

Chú ý:

Z_{i-1} là trục quay của khâu i đối với khâu $i-1$ hoặc là trục tịnh tiến của khâu i đối với khâu $i-1$.

$\vec{e}_{Z_{i-1}}$ là vectơ đơn vị chỉ phương của Z_{i-1} .

$$\frac{d^2}{dt^2} \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i} = \frac{d^*}{dt} \vec{\omega}_{i/i-1} \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i} + \vec{\omega}_{i/i-1} \wedge (\vec{\omega}_{i/i-1} \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i}), \text{ nếu khâu } i \text{ quay đối với khâu } i-1.$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i} = \ddot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}}, \text{ nếu khâu } i \text{ tịnh tiến đối với khâu } i-1.$$

Từ đó ta có:

Nếu khâu i quay đối với khâu $i-1$ thì:

$$\vec{v}_{\mathbf{o}_i} = \vec{v}_{\mathbf{o}_{i-1}} + \vec{\omega}_i \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i} \quad (18.56)$$

$$\vec{a}_{\mathbf{o}_i} = \vec{a}_{\mathbf{o}_{i-1}} + \vec{e}_i \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i} + \vec{\omega}_i \wedge (\vec{\omega}_i \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i}) \quad (18.57)$$

Nếu khâu i tịnh tiến đối với khâu $i-1$ thì:

$$\vec{v}_{\mathbf{o}_i} = \vec{v}_{\mathbf{o}_{i-1}} + \vec{\omega}_{i-1} \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i} + \dot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}} \quad (18.58)$$

$$\vec{a}_{\mathbf{o}_i} = \vec{a}_{\mathbf{o}_{i-1}} + \vec{e}_{i-1} \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i} + \vec{\omega}_{i-1} \wedge (\vec{\omega}_{i-1} \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_{i-1}\mathbf{o}_i}) + 2\vec{\omega}_{i-1} \wedge (\dot{q}_i \vec{e}_{Z_{i-1}}) \quad (18.59)$$

Từ đó ta có công thức tính vận tốc và gia tốc của điểm P_i thuộc khâu i như sau.

$$\vec{v}_{\mathbf{P}_i}^{\mathbf{O}} = \vec{v}_{\mathbf{o}_i} + \vec{\omega}_i \wedge \overrightarrow{\mathbf{o}_i\mathbf{P}_i} = \vec{v}_{\mathbf{o}_i} + \vec{\omega}_i \wedge \vec{r}_{\mathbf{P}_i}^{\mathbf{C}} \quad (18.60)$$

và:

$$\vec{a}_{\mathbf{P}_i}^{\mathbf{O}} = \vec{a}_{\mathbf{o}_i} + \vec{e}_i \wedge \vec{r}_{\mathbf{P}_i}^{\mathbf{C}} + \vec{\omega}_i \wedge (\vec{\omega}_i \wedge \vec{r}_{\mathbf{P}_i}^{\mathbf{C}}) \quad (18.61)$$

18.3 Động lực học rôbôt

Nội dung của bài tính động lực học rôbôt là:

1^o) Phân tích lực cơ cấu rôbôt, cụ thể là:

- Xác định các phản lực tại các khớp và các lực tác động lên các khâu để làm cơ sở cho việc chọn kết cấu hợp lý và tính sức bền các khâu, các khớp.

- Xác định các lực cần đặt lên các khâu kích hoạt để rôbôt thực hiện các quy luật chuyển động theo yêu cầu.

2^o) Xác định chuyển động thực của các khâu kích hoạt, cũng tức là chuyển động thực của rôbôt.

18.3.1. Phân tích lực cơ cấu rôbôt

1. Đại cương

a) Khi giải bài tính phân tích lực cơ cấu rôbôt ta giả thiết:

- Coi các khâu của rôbôt là các vật rắn tuyệt đối.
- Bỏ qua lực ma sát trong các khớp động tức là coi các khớp của rôbôt là các khớp lý tưởng.

b) Để giải bài tính, ta cũng dùng phương pháp động tĩnh học tức là quy cơ cấu rôbôt vốn ở trạng thái không cân bằng lực về một hệ cân bằng lực bằng cách đặt thêm lực quán tính và lực gyroscôp (lực con quay) lên cơ cấu, như sẽ phân tích sau đây.

Sau khi đã quy cơ cấu về trạng thái cân bằng lực, ta dùng phương pháp tách khớp để xác định phản lực khớp động. Việc xác định các lực cần thiết phải đặt lên các khâu kích hoạt để đảm bảo các khâu này có chuyển động theo yêu cầu dựa trên điều kiện cân bằng lực của các khâu kích hoạt.

c) Bài tính được xét chỉ có thể giải bằng phương pháp gần đúng dần, cụ thể là:

Từ giả thiết về quy luật chuyển động đã cho của các khâu kích hoạt, ta xác định phản lực của các khớp động, sau đó xác định lực cân bằng trên các khâu kích hoạt. Bước tiếp theo là từ các lực cân bằng vừa được xác định, ta xác định quy luật chuyển động của các khâu kích hoạt. Cứ tiếp tục lặp lại các quá trình tính toán trên đây để tiệm cận đến một lời giải đủ chính xác.

2. Phương pháp động - tĩnh học

Để giải bài tính phân tích lực cơ cấu rôbôt ta dùng phương pháp động tĩnh học. Về bản chất, đây chính là việc áp dụng nguyên lý Đa-lăm-be (D'Alembert) cho cơ cấu không gian. Sau đây, ta sẽ lần lượt xét việc áp dụng nguyên lý này cho một khâu riêng biệt, coi như một vật rắn trong không gian và cho cơ cấu rôbôt coi như một hệ vật rắn liên kết với nhau bằng các khớp động.

a) *Phương trình động tĩnh học vật rắn trong không gian*

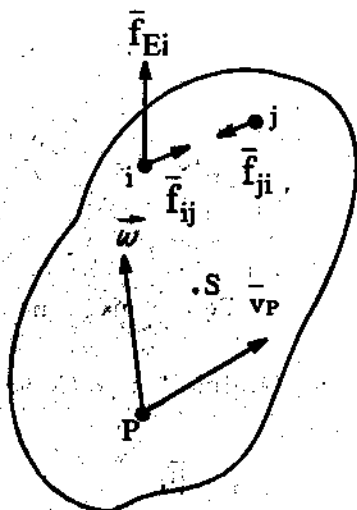
1⁰) Chuyển động tổng quát của một vật rắn trong không gian ba chiều được xác định bởi chuyển động tịnh tiến theo điểm P của nó hợp với chuyển động quay của nó quanh điểm P (Hình 18.15).

Gọi $\vec{v}_P$ là vận tốc của điểm P, $\vec{\omega}$ là vận tốc quay của vật rắn.

Bộ vectơ $(\vec{v}_P, \vec{\omega})$ đặt tại điểm P xác định chuyển động của khâu.

Gọi: m_i - là khối lượng của chất điểm I của vật rắn và $\vec{V}_I$ là vận tốc của điểm I.

Theo nguyên lý cơ học thứ hai của Newton, phương trình động lực (chuyển động) của chất điểm I có dạng:



Hình 18.15

$$\sum_J \vec{f}_{JI} + \vec{f}_{EI} = \frac{d}{dt} (\mu_I \vec{v}_I) \quad (18.62)$$

Với: $\vec{f}_{JI}$ là phản lực liên kết của điểm J tác dụng lên điểm I.

$\vec{f}_{EI}$ là ngoại lực tác dụng tại điểm I.

μ_I là khối lượng của chất điểm I.

Phương trình ứng với cả vật rắn như vậy có dạng:

$$\sum_I \sum_J \vec{f}_{JI} + \sum_I \vec{f}_{EI} = \frac{d}{dt} \sum \mu_I \vec{v}_I \quad (18.63)$$

Vì vật rắn tuyệt đối nên:

$$\vec{f}_{IJ} + \vec{f}_{JI} = 0 \quad (18.64)$$

từ đó suy ra:

$$\sum \vec{f}_{EI} = \vec{F}_E = \frac{d}{dt} \sum \mu_I \vec{v}_I \quad (18.65)$$

Gọi m là khối lượng của vật rắn:

$$m = \sum \mu_I$$

thì bán kính vectơ của khối tâm S được cho bằng:

$$\vec{r}_S = \frac{\sum \mu_I \vec{r}_I}{m}$$

do đó:

$$\frac{d}{dt} \vec{r}_S = \vec{v}_S = \frac{\sum \mu_I \vec{v}_I}{m}$$

Và:

$$\vec{F}_E = \frac{d}{dt} m \vec{v}_S = m \vec{a}_S \quad (18.66)$$

với $\vec{v}_S$, $\vec{a}_S$ lần lượt là vận tốc và gia tốc của khối tâm.

Đặt:

$$\vec{r} = \vec{PI}$$

ta có:

$$\sum_I \sum_J \vec{r}_I \wedge \vec{f}_{JI} + \sum_I \vec{r}_I \wedge \vec{f}_{EI} = \sum \vec{r}_I \wedge \frac{d}{dt} \mu_I \vec{v}_I \quad (18.67)$$

Hãy xét vế phải của (18.67); ta có thể viết:

$$\sum_I \vec{r}_I \wedge \frac{d}{dt} (\mu_I \vec{v}_I) = \sum_I \left\{ \frac{d}{dt} (\vec{r}_I \wedge \mu_I \vec{v}_I) - \vec{v}_I \wedge \mu_I \vec{v}_I \right\}$$

Vì:

$$\vec{v}_I \wedge \mu_I \vec{v}_I = 0$$

nên:

$$\sum_I \vec{r}_I \wedge \frac{d}{dt}(\mu_I \vec{v}_I) = \sum_I \frac{d}{dt}(\vec{r}_I \wedge \mu_I \vec{v}_I)$$

Đặt:

$$\vec{L}_P = (\vec{r}_I \wedge \mu_I \vec{v}_I) \quad (18.68)$$

$\vec{L}_P$ được gọi là momen động lượng của vật rắn đối với điểm P. Vế phải của (18.67) như vậy bằng: $\frac{d}{dt} \vec{L}_P$.

Bây giờ xét vế trái của (18.67). Vì vật rắn tuyệt đối nên:

$$\sum_I \sum_J \vec{r}_I \wedge \vec{f}_{JI} = 0$$

Đặt:

$$\vec{M}_{EP} = \sum_I \vec{r}_I \wedge \vec{f}_{EI}$$

$\vec{M}_{EP}$ là momen ngoại lực đối với điểm P tác động lên vật rắn được xét.

Phương trình (18.67) cuối cùng có dạng sau:

$$\vec{M}_{EP} = \frac{d}{dt} \vec{L}_P \quad (18.69)$$

2^o) Hãy xác định biểu thức của $\vec{L}_P$ trong trường hợp tổng quát. Ta có:

$$\begin{aligned} \vec{L}_P &= \sum_I \vec{r}_I \wedge \mu_I \vec{v}_I = \sum_I \vec{r}_I \wedge (\vec{v}_P + \vec{\omega} \wedge \vec{r}_I) \mu_I \\ &= \sum_I \vec{r}_I \wedge \mu_I \vec{v}_P + \sum_I \vec{r}_I \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}_I) \mu_I \end{aligned} \quad (18.70)$$

trong đó:

$$\sum_I \vec{r}_I \wedge \mu_I \vec{v}_P = m \vec{r}_S \wedge \vec{v}_P$$

Gọi Pxyz là một hệ tọa độ gắn liền với vật rắn tại điểm P của nó. Vận tốc góc của vật rắn và bán kính vectơ của điểm I trong hệ tọa độ này lần lượt bằng:

$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} \omega_x & \omega_y & \omega_z \end{bmatrix}^T$$

$$\vec{r}_I = \begin{bmatrix} x_I & y_I & z_I \end{bmatrix}^T$$

Do đó

$$\sum_I \vec{r}_I \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}_I) m_I = \vec{H}_P = \begin{vmatrix} J_{Pxx} \cdot \omega_x - J_{Pxy} \cdot \omega_y - J_{Pxz} \cdot \omega_z \\ -J_{Pyx} \cdot \omega_x + J_{Pyy} \cdot \omega_y - J_{Pyz} \cdot \omega_z \\ -J_{Pzx} \cdot \omega_x - J_{Pzy} \cdot \omega_y + J_{Pzz} \cdot \omega_z \end{vmatrix} \quad (18.71)$$

hay:

$$\vec{H}_P = \begin{vmatrix} H_{Px} \\ H_{Py} \\ H_{Pz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J_{Pxx} & -J_{Pxy} & -J_{Pxz} \\ -J_{Pyx} & J_{Pyy} & -J_{Pyz} \\ -J_{Pzx} & -J_{Pzy} & J_{Pzz} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{vmatrix} \quad (18.72)$$

trong đó:

$$J_{Pxx} = \sum_I m_I (y_I^2 + z_I^2) = \int (y^2 + z^2) dm$$

$$J_{Pyy} = \sum_I m_I (z_I^2 + x_I^2) = \int (z^2 + x^2) dm$$

$$J_{Pzz} = \sum_I m_I (x_I^2 + y_I^2) = \int (x^2 + y^2) dm$$

$$J_{Pxy} = J_{Pyx} = \sum_I m_I x_I y_I = \int x \cdot y \cdot dm$$

$$J_{Pyz} = J_{Pzy} = \sum_I m_I y_I z_I = \int y \cdot z \cdot dm$$

$$J_{Pzx} = J_{Pxz} = \sum_I m_I z_I x_I = \int z \cdot x \cdot dm$$

Khi đó biểu thức của momen động lượng của vật rắn đối với điểm P có dạng:

$$\vec{L}_P = m \vec{r}_S \wedge \vec{v}_P + \vec{H}_P \quad (18.73)$$

Phương trình (18.69) bây giờ có dạng.

$$\vec{M}_{E/P} = \frac{d}{dt} \vec{L}_P = m \vec{r}_S \wedge \vec{a}_P + \frac{d}{dt} \vec{H}_P \quad (18.74)$$

Khi chọn điểm P trùng với khối tâm S, thì:

$$\vec{r}_S = 0;$$

và:

$$\vec{H}_P = \vec{H}_S$$

Với $\vec{H}_S$ được cho bằng công thức sau (xem công thức (18.72)):

$$\vec{H}_S = \begin{vmatrix} H_{Sx} \\ H_{Sy} \\ H_{Sz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J_{Sxx} & -J_{Sxy} & -J_{Sxz} \\ -J_{Syx} & J_{Syy} & -J_{Syz} \\ -J_{Szx} & -J_{Szy} & J_{Szz} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{vmatrix} \quad (18.75)$$

Phương trình (18.74) khi đó có dạng:

$$\vec{M}_{E/S} = \frac{d}{dt} \vec{H}_S$$

Gọi $\vec{e}$ là vectơ đơn vị chỉ phương của $\vec{H}_S$:

$$\vec{H}_S = H_S \vec{e}$$

ta có:

$$\frac{d}{dt} \vec{H}_S = \frac{d}{dt} H_S \vec{e} + H_S \frac{d}{dt} \vec{e}$$

hay:

$$\frac{d}{dt} \vec{H}_S = \frac{dH_S}{dt} \vec{e} + \omega H_S \vec{n}$$

Vì:

$$\omega H_S \vec{n} = \vec{\omega} \wedge \vec{H}_S$$

nên cuối cùng có:

$$\vec{M}_{E/S} = \frac{dH_S}{dt} \vec{e} + \vec{\omega} \wedge \vec{H}_S \quad (18.76)$$

Với (18.75), phương trình (18.76) có thể viết lại như sau:

$$\vec{M}_{E/S} = K_{J_S} \vec{\varepsilon} + K_{\vec{\omega}} K_{J_S} \vec{\omega} \quad (18.77)$$

trong đó:

$$K_{J_S} = \begin{vmatrix} J_{S_{xx}} & -J_{S_{xy}} & -J_{S_{xz}} \\ -J_{S_{yx}} & J_{S_{yy}} & -J_{S_{yz}} \\ -J_{S_{zx}} & -J_{S_{zy}} & J_{S_{zz}} \end{vmatrix} \quad (18.78)$$

$$K_{\vec{\omega}} = \begin{vmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_x & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{vmatrix} \quad (18.79)$$

$$\vec{\varepsilon} = \begin{vmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{vmatrix}; \quad \vec{\omega} = \begin{vmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{vmatrix}; \quad \vec{M}_{E/S} = \begin{vmatrix} M_{x_{E/S}} \\ M_{y_{E/S}} \\ M_{z_{E/S}} \end{vmatrix} \quad (18.80)$$

Với:

$$\varepsilon_x = \dot{\omega}_x; \varepsilon_y = \dot{\omega}_y; \varepsilon_z = \dot{\omega}_z$$

Nếu ta chọn hệ tọa độ Sxyz là hệ trục quán tính chính của vật rắn thì chỉ có các giá trị $J_{S_{xx}}, J_{S_{yy}}, J_{S_{zz}}$ là khác không tức là:

$$\mathbf{K}_{J_S} = \begin{bmatrix} J_{S_{xx}} & 0 & 0 \\ 0 & J_{S_{yy}} & 0 \\ 0 & 0 & J_{S_{zz}} \end{bmatrix} \quad (18.81)$$

và phương trình (18.77) khi đó có dạng:

$$\left. \begin{aligned} J_{S_{xx}} \varepsilon_x - (J_{S_{yy}} - J_{S_{zz}}) \omega_y \cdot \omega_z &= M_{x_{E/S}} \\ J_{S_{yy}} \varepsilon_y - (J_{S_{zz}} - J_{S_{xx}}) \omega_z \cdot \omega_x &= M_{y_{E/S}} \\ J_{S_{zz}} \varepsilon_z - (J_{S_{xx}} - J_{S_{yy}}) \omega_x \cdot \omega_y &= M_{z_{E/S}} \end{aligned} \right\} \quad (18.82)$$

Như vậy phương trình động lực học của vật rắn chuyển động trong không gian ba chiều là hệ các phương trình (18.66) và (18.77), tức là:

$$\left. \begin{aligned} \vec{\mathbf{F}}_E &= m\vec{\mathbf{a}}_S & (a) \\ \vec{\mathbf{M}}_{E/S} &= \mathbf{K}_{J_S} \vec{\varepsilon} + \mathbf{K}_{\vec{\omega}} \mathbf{K}_{J_S} \vec{\omega} & (b) \end{aligned} \right\} \quad (18.83)$$

trong đó:

- Phương trình (18.83a) xác định chuyển động tịnh tiến của vật rắn theo khối tâm S.
- Phương trình (18.83b) xác định chuyển động quay của vật rắn quanh khối tâm S.

Phương trình (18.83) này được gọi là phương trình D'Alembert - Euler của vật rắn chuyển động trong không gian.

Phương trình (18.83) có thể viết lại như sau:

$$\left. \begin{aligned} \vec{\mathbf{F}}_E - m\vec{\mathbf{a}}_S &= 0 \\ \vec{\mathbf{M}}_{E/S} - \mathbf{K}_{J_S} \vec{\varepsilon} - \mathbf{K}_{\vec{\omega}} \mathbf{K}_{J_S} \vec{\omega} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18.84)$$

hay:

$$\left. \begin{aligned} \vec{\mathbf{F}}_E + \vec{\mathbf{F}}_Q &= 0 \\ \vec{\mathbf{M}}_{E/S} + \vec{\mathbf{M}}_Q + \vec{\mathbf{M}}_G &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18.85)$$

Với:

- $\vec{\mathbf{F}}_E$ là tổng ngoại lực tác động lên vật rắn.
- $\vec{\mathbf{M}}_{E/S}$ là vectơ momen ngoại lực trên khâu đối với khối tâm S.
- $\vec{\mathbf{F}}_Q = -m\vec{\mathbf{a}}_S$ là lực quán tính của khâu đặt tại khối tâm.
- $\vec{\mathbf{M}}_Q = -\mathbf{K}_{J_S} \vec{\varepsilon}$ là momen, lực quán tính đối với khối tâm S.
- $\vec{\mathbf{M}}_G = -\mathbf{K}_{\vec{\omega}} \mathbf{K}_{J_S} \vec{\omega}$ là momen gyrocôp (momen con quay).

Khi Sxyz là hệ trục quán tính chính trung tâm thì:

$$\vec{\mathbf{M}}_Q = \begin{bmatrix} M_{Q_x} & M_{Q_y} & M_{Q_z} \end{bmatrix}^T \quad (18.86)$$

Với:

$$M_{Q_x} = -J_{S_{xx}} \epsilon_x; M_{Q_y} = -J_{S_{yy}} \epsilon_y; M_{Q_z} = -J_{S_{zz}} \epsilon_z \quad (18.87)$$

$$\vec{M}_G = \begin{bmatrix} M_{G_x} & M_{G_y} & M_{G_z} \end{bmatrix}^T \quad (18.88)$$

Với:

$$\left. \begin{aligned} M_{G_x} &= (J_{S_{yy}} - J_{S_{zz}}) \omega_y \omega_z \\ M_{G_y} &= (J_{S_{zz}} - J_{S_{xx}}) \omega_z \omega_x \\ M_{G_z} &= (J_{S_{xx}} - J_{S_{yy}}) \omega_x \omega_y \end{aligned} \right\} \quad (18.89)$$

Các phương trình (18.84), (18.85) cho phép ta phát biểu như sau:

“Nếu trên vật rắn, ngoài các lực và momen ngoại lực, ta đặt thêm momen lực quán tính đối với khối tâm, lực quán tính tại khối tâm và momen gyroscôp (momen con quay) coi như ngoại lực thì vật rắn sẽ ở trạng thái cân bằng”.

Đây chính là nguyên lý Đa-lăm-be đối với vật rắn trong không gian.

b) Phương trình động lực học của cơ cấu rôbôt.

Hãy xét một cơ cấu rôbôt gồm n khâu (vật rắn) liên kết với nhau bằng các khớp động.

Nếu tách riêng khâu i ra xét, áp dụng phương trình D'Alembert-Euler, ta có:

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_{E_i} - m_i \vec{a}_{S_i} + \vec{F}_{i-1,i} + \vec{F}_{i+1,i} &= 0 \\ \vec{M}_{E_i/S_i} + \vec{M}_{Q_i} + \vec{M}_{G_i} + \vec{M}_{i-1,i} + \vec{M}_{i+1,i} + \vec{M}_{F_{i-1,i}/S_i} + \vec{M}_{F_{i+1,i}/S_i} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18.90)$$

Xét toàn bộ các khâu của cơ cấu rôbôt ta sẽ có:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \left\{ \vec{F}_{E_i} - m_i \vec{a}_{S_i} + \vec{F}_{i-1,i} + \vec{F}_{i+1,i} \right\} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \left\{ \vec{M}_{E_i/S_i} + \vec{M}_{Q_i} + \vec{M}_{G_i} + \vec{M}_{i-1,i} + \vec{M}_{i+1,i} + \vec{M}_{F_{i-1,i}/S_i} + \vec{M}_{F_{i+1,i}/S_i} \right\} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18.91)$$

Vì, theo nguyên lý phản tác dụng:

$$\vec{F}_{jk} + \vec{F}_{kj} = 0$$

$$\vec{M}_{jk} + \vec{M}_{kj} = 0$$

nên từ (18.91), ta có:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \left\{ \vec{F}_{E_i} + \vec{F}_{Q_i} \right\} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \left\{ \vec{M}_{E_i/S_i} + \vec{M}_{Q_i} + \vec{M}_{G_i} \right\} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19.92)$$

Đây chính là phương trình động tĩnh học của cơ cấu rôbôt. Phương trình này cho phép phát biểu nguyên lý Đa-lăm-be cho cơ cấu không gian:

"Nếu trên hệ vật rắn, ngoài các ngoại lực và momen ngoại lực đặt lên các khâu, ta đặt thêm các lực quán tính, momen lực quán tính và momen gyroscôp lên các khâu tương ứng và coi các lực này như ngoại lực thì hệ vật rắn sẽ ở trạng thái cân bằng lực".

3. Lực và momen cân bằng trên các khâu kích hoạt

a) Áp dụng phương pháp động tĩnh học

Ta đặt thêm lên rôbôt (xem 18.84):

- Lực quán tính chính $\vec{F}_{Q_i} = -m_i \vec{a}_{S_i}$.

- Momen lực quán tính $\vec{M}_{Q_i} = -K_{J_{S_i}} \vec{\varepsilon}_i$

- Momen gyroscôp: $\vec{M}_{G_i} = -K_{\vec{\omega}_i} K_{J_{S_i}} \vec{\omega}$

Ở đây $\vec{a}_{S_i}$, $\vec{\omega}_i$, $\vec{\varepsilon}_i$, được xác định từ quy luật chuyển động giả thiết của khâu kích hoạt.

Quy luật chuyển động giả thiết đó chỉ là gần đúng. Do vậy các đại lượng $\vec{F}_{Q_i}$, $\vec{M}_{Q_i}$, $\vec{M}_{G_i}$ tính được chỉ là các giá trị gần đúng của chúng. Do đó ta cần đặt thêm trên khâu kích hoạt một lực $\vec{F}_{cb_k}$ hoặc một momen lực $\vec{M}_{cb_k}$ (tuỳ theo chuyển động kích hoạt là tịnh tiến hay quay), để đảm bảo cho khâu kích hoạt chuyển động đúng như giả thiết.

Phương trình cân bằng lực trên cơ cấu sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \left\{ \vec{F}_{E_i} + \vec{F}_{Q_i} + \vec{F}_{cb_k} \right\} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \left\{ \vec{M}_{E_i/S_i} + \vec{M}_{Q_i} + \vec{M}_{G_i} + \vec{M}_{cb_k} \right\} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18.93)$$

với k là khâu kích hoạt. Khâu kích hoạt thường được chọn là khâu có một bậc tự do đối với khâu tựa (khâu cơ sở) của nó.

Từ đó lực momen cân bằng trên khâu kích hoạt là cứ liệu để tính năng lượng và chọn đặc trưng động lực của nguồn động lực rôbôt.

b) Quy tắc tính truy lùi xác định áp lực khớp và lực momen cân bằng

1^o) Bước 1:

Xác định các ngoại lực $\vec{F}_{E_i}$, $\vec{M}_{E_i/S_i}$ các lực quán tính $\vec{F}_{Q_i}$, $\vec{M}_{Q_i}$ và các momen gyroscôp $\vec{M}_{G_i}$.

Đặt các lực này lên các khâu tương ứng và đặt thêm các lực momen cân bằng $\vec{F}_{cb_k}$, $\vec{M}_{cb_k}$ trên các khâu kích hoạt. Ta có hệ lực đó cân bằng tại từng thời điểm ứng với từng vị trí của rôbôt.

$\vec{F}_{cb_k}$ và $\vec{M}_{cb_k}$ là ẩn cần xác định.

2^o) Bước 2:

Tách dần các khớp. Thay liên kết khớp bằng các áp lực khớp $\vec{N}_{ij}$, $\vec{M}_{ij}$ tương ứng với các hạn chế bậc tự do tương ứng của khớp.

Phải đảm bảo điều kiện tĩnh định tức là phải đảm bảo số phương trình cân bằng có thể thiết lập được bằng số ẩn số của các áp lực khớp và lực momen cân bằng trong nhóm.

Với mỗi khâu ta có sáu phương trình cân bằng lực:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ix} = 0; \sum F_{iy} = 0; \sum F_{iz} = 0 \\ \sum M_{ix} = 0; \sum M_{iy} = 0; \sum M_{iz} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (18.94)$$

Trình tự tách khâu, nhóm bắt đầu từ khâu, nhóm xa khâu kích hoạt nhất.

3^o) Bước 3:

Với các phương trình thiết lập được cho các khâu, nhóm, tính $\vec{N}_{ij}$, $\vec{M}_{ij}$, $\vec{N}_{cbk}$, $\vec{M}_{cbk}$.

4. Ví dụ:

Hãy xét ví dụ hình 18.16.

a) Giả thiết đã cho trước quy luật chuyển động: các góc quay φ_{10} , φ_{21} (của khâu 1 đối với giá và của khâu 2 đối với khâu 1) và chuyển vị dài d_{32} của khâu 3 đối với khâu 2. Ta xác định các vận tốc gia tốc tại vị trí đang xét.

b) Xác định các lực đặt trên rôbôt

$\vec{G}_i$ - Trọng lượng.

$\vec{F}_i = -m_i \vec{a}_{S_i}$ đặt tại S_i

$\vec{M}_{Q_i} = -K_{JS_i} \vec{\varepsilon}_i$

$\vec{M}_{G_i} = -K_{\omega_i} K_{JS_i} \vec{\omega}_i$

Đặt

$\vec{M}_{CB_1} = M_{CB_1} \vec{e}_{z_1}$ - Momen cân bằng quay của khâu 1.

$\vec{M}_{CB_2} = M_{CB_2} \vec{e}_{z_2}$ - Momen cân bằng quay của khâu 2.

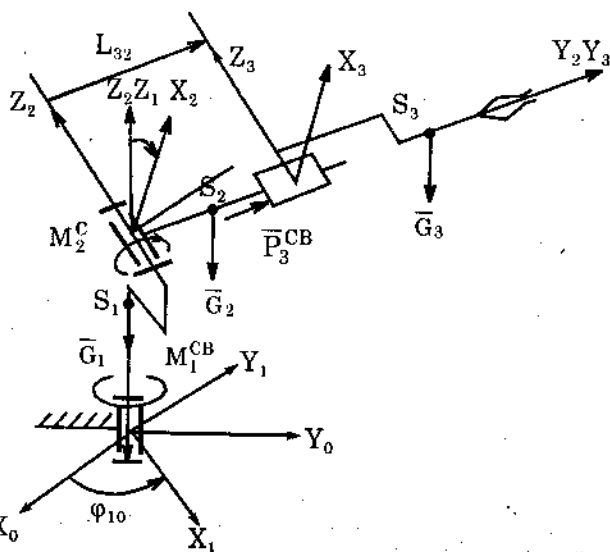
$\vec{F}_{CB_3} = F_{CB_3} \vec{e}_{z_3}$ - Lực cân bằng dịch chuyển khâu 3.

c) Tách khâu, thiết lập các phương trình cân bằng tĩnh lực, chú ý các khâu kích hoạt là các khâu 1/0; 2/0; 3/2.

1^o) Tách khâu 3

Khớp 3/2 là khớp tịnh tiến loại 5 do đó các ẩn số của áp lực ở đây là các đại lượng sau (xem bảng 18.3) M_{23x} , M_{23y} , M_{23z} , N_{23x} , N_{23y} , ngoài ra lực cân bằng F_{CB_3} cũng là một ẩn.

Từ các phương trình cân bằng lực của khâu 3 trong hệ H_3 , ta sẽ xác định được giá trị các ẩn của bài tính cụ thể là:



Hình 18.16

$$\sum F_{3x} = 0 \rightarrow N_{23x}$$

$$\sum F_{3y} = 0 \rightarrow N_{23y}$$

$$\sum F_{3z} = 0 \rightarrow F_{CB3}$$

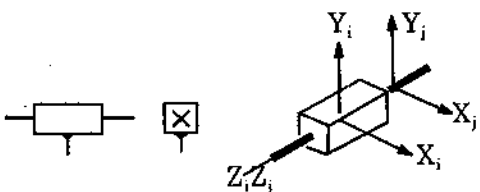
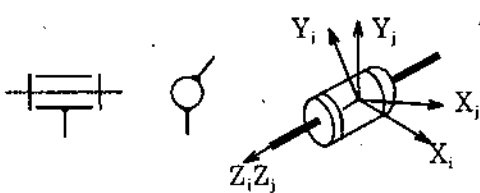
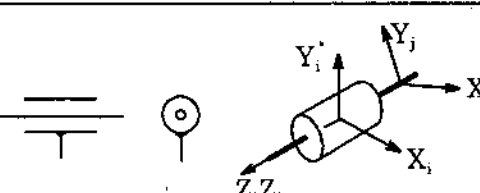
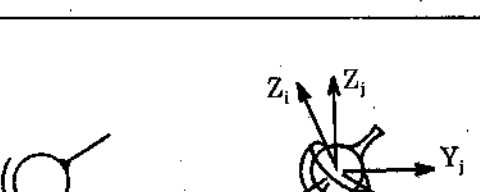
$$\sum M_{3x} = 0 \rightarrow M_{23x}$$

$$\sum M_{3y} = 0 \rightarrow M_{23y}$$

$$\sum M_{3z} = 0 \rightarrow M_{23z}$$

2^o) Tách khâu 2

Bảng 18.3. Một số khớp thông dụng và các thành phần phản lực khớp tương ứng

Lược đồ khớp	Ràng buộc của khớp	Q_{ijx}	Q_{ijy}	Q_{ijz}	T_{ijx}	T_{ijy}	T_{ijz}
	Phản lực (Bỏ qua ma sát)	M_{ijx}	M_{ijy}	M_{ijz}	N_{ijx}	N_{ijy}	N_{ijz}
		x	x	x	x	x	0
		x	x	0	x	x	x
		x	x	0	x	x	0
		0	0	0	x	x	x

Đối với khâu 2 các phản lực $\vec{N}_{32} = -\vec{N}_{23}$; $\vec{M}_{32} = -\vec{M}_{23}$ đã biết vì vừa xác định trong bước trước. Ngoài ra, chú ý là khâu 2 được nối với khâu 1 bằng khớp bản lề loại 5 do đó các ẩn số của bài tính ở đây là (xem bảng 18.3):

$$N_{12x}, N_{12y}, N_{12z}, M_{12x}, M_{12y} \text{ và } M_{CB_2}$$

Từ các phương trình cân bằng lực momen của khâu 2 trong hệ H_2 ta xác định được giá trị của các ẩn cụ thể là:

$$\sum F_{2x} = 0 \rightarrow N_{12x}$$

$$\sum F_{2y} = 0 \rightarrow N_{12y}$$

$$\sum F_{2z} = 0 \rightarrow N_{12z}$$

$$\sum M_{2x} = 0 \rightarrow M_{12x}$$

$$\sum M_{2y} = 0 \rightarrow M_{12y}$$

$$\sum M_{2z} = 0 \rightarrow M_{12z}$$

Momen cân bằng M_{CB_2} còn có thể xác định theo cách sau:

1^o) Xét cả nhóm hai khâu 2 và 3. Sử dụng phương trình cân bằng momen của tất cả các lực momen trên khâu 2 và 3 đối với trục Z_2 .

$$\sum \vec{M}_{2,3/Z_2=0} \rightarrow \vec{M}_{CB_2}$$

Cũng bằng cách đó ta có thể tính được áp lực khớp 2/1 là $\vec{N}_{12}$ và $\vec{M}_{12}$.

3^o) Tách riêng khâu 1 hoặc cả chuỗi khâu 1-2-3. Sử dụng các phương trình cân bằng lực trong hệ trục H_1 như các trường hợp trên ta sẽ tính được $\vec{N}_{01}$, $\vec{M}_{01}$ và $\vec{M}_{cb_1}$.

18.3.2. Phương trình chuyển động của rôbôt

Phương trình chuyển động của rôbôt được thiết lập dựa trên các phương trình động lực của hệ. Thông thường hay sử dụng là các phương trình Đalămbe - Ô le và phương trình La grăng gio loại II.

1. Phương trình chuyển động của rôbôt dưới dạng Đalămbe - Ô le

a) Ở phần trước ta đã suy diễn phương trình chuyển động Đalămbe - Ô le của vật rắn - trong không gian (xem 18.83).

$$\vec{F}_E = m\vec{a}_S$$

$$\vec{M}_{E/S} = K_{JS} \vec{\varepsilon} + K_{\bar{\omega}} K_{JS} \vec{\omega}$$

Để biểu diễn đơn giản, ta viết lại phương trình momen ở trên dưới dạng:

$$\vec{M}_{E/S} = J_S \vec{\varepsilon} + \vec{\omega} \wedge (J_S \cdot \vec{\omega}) \quad (18.95)$$

trong đó:

$$J_S \vec{\omega} = J_{Sxx} \omega_x \vec{e}_x + J_{Syy} \omega_y \vec{e}_y + J_{Szz} \omega_z \vec{e}_z \quad (18.96)$$

$$J_S \vec{\varepsilon} = J_{Sxx} \varepsilon_x \vec{e}_x + J_{Syy} \varepsilon_y \vec{e}_y + J_{Szz} \varepsilon_z \vec{e}_z \quad (18.97)$$

Sxyz là hệ trục quán tính chính trung tâm của vật rắn.

Bây giờ hãy xét một khâu i của rôbốt đã được tách riêng ra, khi đó các phản lực $\vec{F}_{i-1,i}$, $\vec{M}_{i-1,i}$, $\vec{F}_{i+1,i}$, $\vec{M}_{i+1,i}$ từ khâu i-1, và khâu i+1 tác động lên nó phải được coi là ngoại lực. Do đó phương trình động học của khâu i là:

$$\left. \begin{aligned} m_i \vec{a}_{S_i} &= \vec{F}_{i-1,i} + \vec{F}_{i+1,i} + m_i \vec{g} + \vec{F}_{ei} \\ J_{S_i} \vec{\varepsilon}_i + \vec{\omega}_i \wedge (J_{S_i} \vec{\omega}_i) &= \vec{M}_{i-1,i} + \vec{M}_{i+1,i} + \\ &+ \vec{M}_{ei} + \vec{O_i S_i} \wedge \vec{F}_{i-1,i} + \vec{O_{i+1} S_i} \wedge \vec{F}_{i+1,i} + \vec{IS_i} \wedge \vec{F}_{ei} \end{aligned} \right\} \quad (18.98)$$

ở đây:

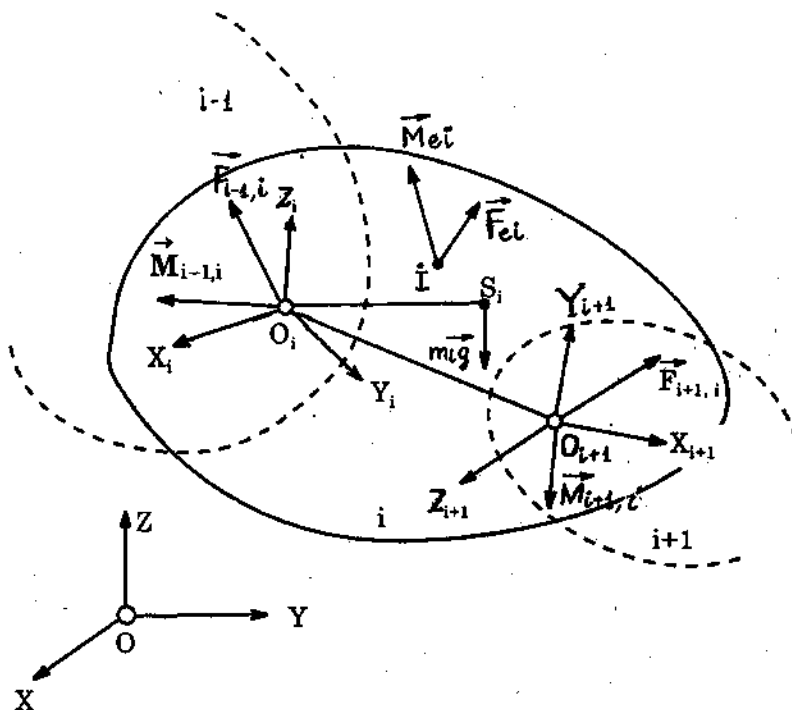
$\vec{F}_{i-1,i}$ là lực tác động tại khớp O_i của khâu i-1 lên khâu i.

$$\vec{F}_{i,i+1} = -\vec{F}_{i+1,i}$$

$\vec{F}_{ei}$ là ngoại lực tác động tại điểm I của khâu i.

$\vec{M}_{i-1,i}$ là momen tại khớp O_i của khâu i-1 lên khâu i.

$$\vec{M}_{i,i+1} = -\vec{M}_{i+1,i}$$



Hình 18.17

$\vec{M}_{ei}$ là momen ngoại lực tác động trên khâu i .

$\vec{g} = \|0 \ 0 \ -g\|^T$ là gia tốc trọng trường xác định trong hệ cố định gắn với giá Oxyz.

Các lực được chỉ ra như trên hình 18.17.

Chuyển hệ phương trình (18.98) trên về điểm O_i của hệ $H_i - O_i x_i y_i z_i$ gắn với khâu i , ta được:

$$\left. \begin{aligned} m_i \vec{a}_{S_i} &= \vec{F}_{i-1,i} - \vec{F}_{i+1,i} + m_i \vec{g} + \vec{F}_{ei} \\ J_{S_i} \vec{\epsilon}_i + \vec{\omega}_i \wedge J_{S_i} \vec{\omega}_i + \vec{O_i S_i} \wedge m_i \vec{a}_{S_i} &= \vec{M}_{ei} + \\ &+ \vec{IO_i} \wedge \vec{F}_{ei} + \vec{S_i O_i} \wedge m_i \vec{g} + \vec{M}_{i-1,i} - \vec{M}_{i+1,i} - \\ &- \vec{O_{i+1} O_i} \wedge \vec{F}_{i,i+1} \end{aligned} \right\} \quad (18.99)$$

hay:

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_{i,i-1} &= \vec{F}_{i,i+1} + m_i (\vec{a}_{S_i} - \vec{g}) - \vec{F}_{ei} \\ \vec{M}_{i-1,i} &= \vec{M}_{i+1,i} + J_{S_i} \vec{\epsilon}_i + \vec{\omega}_i \wedge (J_{S_i} \vec{\omega}_i) + \\ &+ \vec{O_i S_i} \wedge m_i (\vec{a}_{S_i} + \vec{g}) - \vec{O_i O_{i+1}} \wedge \vec{F}_{i,i+1} + \\ &+ \vec{O_i I} \wedge \vec{F}_{ei} - \vec{M}_{ei} \end{aligned} \right\} \quad (18.100)$$

Phương trình (18.100) này được gọi là phương trình động lực, cũng chính là phương trình chuyển động của rôbot dưới dạng truy lùi.

Hệ trên được tính lùi dần từ khâu n về khâu 1 của rôbot.

b) Thông thường khớp nối giữa hai khâu $i - 1$ và khâu i của rôbot có một bậc tự do tương đối. Khi đó phương trình chuyển động của chuỗi động $i, i+1, \dots, n$ có dạng như sau:

1^o) Trường hợp khâu i tịnh tiến đối với khâu $i - 1$, ta có:

$$\vec{F}_{ki} = \left(\vec{F}_{i-1,i} \cdot \vec{e}_{zi} \right) \vec{e}_{zi} \quad (18.101)$$

$\vec{F}_{ki}$ - là lực kích hoạt từ khâu tựa $i - 1$ tác động lên khâu i .

$\vec{e}_{zi}$ - là vectơ đơn vị chỉ phương của trục z_i được chọn trùng với phương tịnh tiến của khâu i đối với khâu $i - 1$.

2^o) Trường hợp khâu i quay đối với khâu $i - 1$, ta có:

$$\vec{M}_{ki} = \left(\vec{M}_{i-1,i} \cdot \vec{e}_{zi} \right) \vec{e}_{zi} \quad (18.102)$$

$\vec{M}_{ki}$ là momen kích hoạt từ khâu tựa $i - 1$ tác động lên khâu i .

$\vec{e}_{zi}$ là vectơ đơn vị chỉ phương trục quay z_i của khâu i đối với khâu $i - 1$.

c) Phương trình (18.100) cũng dùng để xác định áp lực của khâu $i - 1$ tác động lên khâu i theo các công thức:

$$N_{i-1,i_x} = \vec{F}_{i-1,i} \cdot \vec{e}_{x_1}$$

$$N_{i-1,i_y} = \vec{F}_{i-1,i} \cdot \vec{e}_{y_1}$$

$$N_{i-1,i_z} = \vec{F}_{i-1,i} \cdot \vec{e}_{z_1}$$

$$M_{i-1,i_x} = \vec{M}_{i-1,i} \cdot \vec{e}_{x_1}$$

$$M_{i-1,i_y} = \vec{M}_{i-1,i} \cdot \vec{e}_{y_1}$$

$F_{k_i} = N_{i-1,i_z}$ - nếu khâu i tịnh tiến đối với khâu $i-1$.

$M_{i-1,i_z} = M_{k_i}$ - nếu khâu i quay đối với khâu $i-1$.

d) Trình tự giải bài tính chuyển động thực.

Trình tự giải bài toán gồm các bước sau:

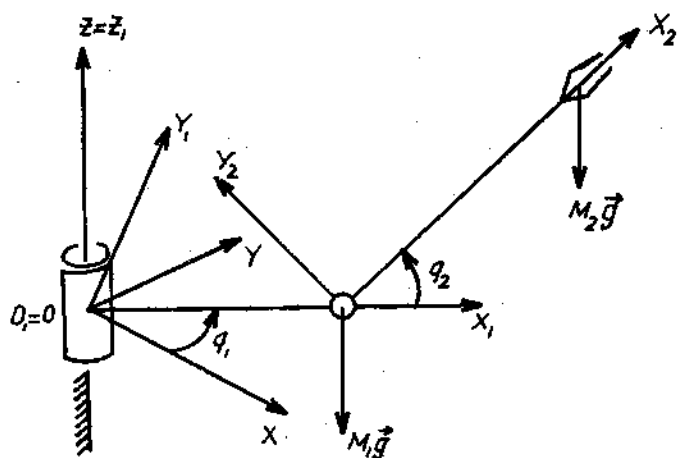
- 1^o) Từ cấu trúc của rôbôt ta xác định các quan hệ hình động học giữa các đại lượng:
 $q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i, \vec{e}_i, \vec{a}_i$
- 2^o) Theo cấu tạo xác định trọng tâm S_i và tenxơ quán tính J_{S_i} của khâu.
- 3^o) Thiết lập hệ phương trình chuyển động từ khâu m về khâu 1.
- 4^o) Giải hệ phương trình chuyển động.

2. Ví dụ.

Thiết lập phương trình chuyển động của Rôbôt hai bậc tự do như trên hình 18.18. Để đơn giản, ta giả thiết khối lượng của các khâu chỉ tập trung tại trọng tâm.

$$O_1O_2 = O_1S_1 = l_1; O_2S_2 = l_2$$

Hệ toạ độ trên các khâu được xác định như trên hình vẽ, từ đó ta có các ma trận chuyển đổi vectơ giữa các hệ toạ độ là ma trận chuyển đổi toạ độ giữa các hệ được xoá đi cột thứ tư, và dòng thứ tư chúng có dạng sau:



Hình 18.18

$$K_{01} = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{10} = K_{01}^{-1} = K_{01}^T = \begin{bmatrix} \cos q_1 & \sin q_1 & 0 \\ -\sin q_1 & \cos q_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{12} = \begin{vmatrix} \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 \end{vmatrix}$$

$$K_{21} = K_{12}^{-1} = K_{12}^T = \begin{vmatrix} \cos q_2 & 0 & \sin q_2 \\ -\sin q_2 & 0 & \cos q_2 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

Theo các công thức quan hệ động học đã xác định, ta có:

$$\bar{\omega}_1 = \dot{q}_1 \bar{e}_{z1}$$

$$\bar{e}_1 = \dot{q}_1 \bar{e}_{z1}$$

$$\bar{\omega}_2 = \bar{\omega}_1 + \dot{q}_2 \bar{e}_{z2} = \dot{q}_1 \bar{e}_{z1} + \dot{q}_2 \bar{e}_{z2}$$

$$\bar{e}_2 = \ddot{q}_1 \bar{e}_{z1} + \ddot{q}_2 \bar{e}_{z2} + \dot{q}_1 \bar{e}_{z1} + \dot{q}_2 \bar{e}_{z2}$$

$$\bar{a}_{O_2} = \bar{a}_{S_1} = \bar{e}_1 \wedge \overrightarrow{O_1 S_1} + \bar{\omega}_1 \wedge (\bar{\omega}_1 \wedge \overrightarrow{O_1 S_1})$$

$$\bar{a}_{S_2} = \bar{a}_{O_2} = \bar{e}_2 \wedge \overrightarrow{O_2 S_2} + \bar{\omega}_2 \wedge (\bar{\omega}_2 \wedge \overrightarrow{O_2 S_2})$$

Phương trình để xác định áp lực khớp động và phương trình chuyển động có dạng:

Đối với khâu 2

$$\begin{cases} \vec{F}_{12} = m_2 (\bar{a}_{S_2} - \vec{g}) \\ \vec{M}_{12} = J_{S_2} \bar{e}_2 + \bar{\omega}_2 \wedge (J_{S_2} \bar{\omega}_2) + \overrightarrow{O_2 S_2} \wedge m_2 (\bar{a}_{S_2} - \vec{g}) \end{cases}$$

Đối với khâu 1

$$\begin{cases} \vec{F}_{01} = m_2 (\bar{a}_{S_2} - \vec{g}) + m_1 (\bar{a}_{S_1} - \vec{g}) \\ \vec{M}_{01} = \vec{M}_{12} + J_{S_1} \bar{e}_1 + \bar{\omega}_1 \wedge (J_{S_1} \bar{\omega}_1) + \overrightarrow{O_1 S_1} \wedge m_1 (\bar{a}_{S_1} - \vec{g}) - \overrightarrow{O_1 S_1} \wedge \vec{F}_{12} \end{cases}$$

Theo giả thiết khối lượng các khâu chỉ tập trung tại khối tâm S_i , do đó $J_{S_i} = 0$. Từ đó ta có phương trình xác định áp lực và chuyển động có dạng:

Đối với khâu 2:

$$\vec{F}_{12} = m_2 (\bar{a}_{S_2} - \vec{g})$$

$$\vec{M}_{12} = \overrightarrow{O_2 S_2} \wedge m_2 (\bar{a}_{S_2} - \vec{g})$$

Đối với khâu 1:

$$\vec{F}_{01} = m_2 (\bar{a}_{S_2} + \vec{g}) + m_1 (\bar{a}_{S_1} - \vec{g})$$

$$\vec{M}_{01} = \vec{M}_{12} + \overrightarrow{O_1 S_1} \wedge m_1 (\vec{a}_{S_1} - \vec{g}) - \overrightarrow{O_1 O_2} \wedge \vec{F}_{12}$$

Để tính cụ thể, đối với từng khâu các phương trình chuyển động và xác định áp lực của nó được chuyển về hệ toạ độ gắn trên khâu đó như sau:

Khâu 2: tính trong hệ $H_2 - O_2 x_2 y_2 z_2$:

$$K_{20} \vec{F}_{12} = m_2 K_{20} (\vec{a}_{S_2} - \vec{g})$$

$$K_{20} \vec{M}_{12} = K_{20} \overrightarrow{O_2 S_2} \wedge m_2 K_{20} (\vec{a}_{S_2} - \vec{g})$$

Khâu 1, tính trong hệ $H_1 - O_1 x_1 y_1 z_1$:

$$K_{10} \vec{F}_{01} = m_2 K_{10} (\vec{a}_{S_2} - \vec{g}) + m_1 K_{10} (\vec{a}_{S_1} - \vec{g}) K_{10}$$

$$\vec{M}_{01} = K_{12} (K_{20} \vec{M}_{12}) + \overrightarrow{O_1 S_1} \wedge m_1 K_{10} (\vec{a}_{S_1} - \vec{g}) - K_{10} \overrightarrow{O_1 O_2} \wedge K_{12} (K_{20} \vec{F}_{12})$$

Phương trình chuyển động của rôbôt, có dạng:

$$M_{k_2} = (K_{20} \vec{M}_{12}) \cdot (K_{20} \vec{e}_{z_2})$$

$$M_{k_1} = (K_{10} \vec{M}_{01}) \cdot (K_{10} \vec{e}_{z_1})$$

Sau khi thế các biểu thức trên và tính toán cuối cùng, phương trình chuyển động của rôbôt có dạng:

$$M_{K_2} = m_2 l_2^2 \ddot{q}_2 + m_2 l_2 \sin q_2 (l_1 + l_2 \cos q_2) \dot{q}_1^2 - m_2 g l_2 \cos q_2$$

$$M_{k_1} = [m_1 l_1^2 + m_2 (l_1 + l_2 \cos q_2) l_1] \ddot{q}_1 - 2(l_1 + l_2 \cos q_2) \cdot m_1 \cdot l_2 \cdot \sin q_2 \cdot \dot{q}_1 \cdot \dot{q}_2$$

2. Phương trình chuyển động của rôbôt dưới dạng Lagrange II

a) Do tính vạn năng, phương trình Lagrange II được sử dụng khá phổ biến trong việc thiết lập các phương trình chuyển động của các cơ hệ phức tạp cũng như đối với rôbôt.

Phương trình Lagrange II đối với cơ hệ có dạng:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i \quad (18.103)$$

$L = L(q_i, \dot{q}_i, t)$ - là hàm Lagrange.

$L = T - U$.

$T = T(q_i, \dot{q}_i, t)$ - là động năng toàn phần của hệ.

$U = U(q_i, t)$ - là thế năng của hệ.

q_i - là toạ độ suy rộng của hệ. Ở đây đối với rôbôt, là thông số chuyển vị độc lập của khâu i đối với khâu $i - 1$.

τ_i - là lực suy rộng ứng với toạ độ suy rộng q_i . Nó có thể là lực hoặc momen lực: Khi toạ độ q_i là chuyển vị tịnh tiến thì τ_i là lực. Khi toạ độ q_i là chuyển vị quay thì τ_i là momen lực.

Phương trình trên được xây dựng trong hệ quy chiếu gắn liền với giá cố định. Bây giờ hãy áp dụng phương trình này cho cơ cấu rôbôt.

1^o) Trước hết hãy xác định động năng của cơ cấu T. Ta có:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (18.104)$$

Với T_i là động năng của khâu i bằng:

$$T_i = \sum \frac{1}{2} dm_i \bar{v}_{M_i}^2 = \sum_{i=1}^n dT_i$$

trong đó:

- dm_i là khối lượng của chất điểm M_i thuộc khâu i .
- $\bar{v}_{M_i}$ là vận tốc của điểm M_i .

Ta có thể viết:

$$dT_i = \frac{1}{2} \text{Tr} \left(\vec{v}_{M_i} \cdot \vec{v}_{M_i}^T \right) dm_i \quad (18.105)$$

Với:

$$\vec{v}_{M_i} \cdot \vec{v}_{M_i}^T = \begin{pmatrix} v_{M_{ix}} \\ v_{M_{iy}} \\ v_{M_{iz}} \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} v_{M_{ix}} & v_{M_{iy}} & v_{M_{iz}} & 0 \end{pmatrix}$$

hay:

$$\vec{v}_{M_i} \cdot \vec{v}_{M_i}^T = \begin{pmatrix} v_{M_{ix}}^2 & v_{M_{ix}} v_{M_{iy}} & v_{M_{ix}} v_{M_{iz}} & 0 \\ v_{M_{iy}} v_{M_{ix}} & v_{M_{iy}}^2 & v_{M_{iy}} v_{M_{iz}} & 0 \\ v_{M_{iz}} v_{M_{ix}} & v_{M_{iz}} v_{M_{iy}} & v_{M_{iz}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (18.106)$$

và:

$$T_i \|\mathbf{A}\| = \sum_{i=1}^n A_{ii} \quad (18.107)$$

Bán kính vectơ và vận tốc của điểm M_i được xác định như sau:

$$\bar{\mathbf{r}}_{M_i} = \bar{\mathbf{r}}_{M_i}^0 = \mathbf{K}_{01} \mathbf{K}_{12} \dots \mathbf{K}_{i-1,i} \bar{\mathbf{r}}_{M_i}^i = \mathbf{K}_{0i} \bar{\mathbf{r}}_{M_i}^i$$

$$\vec{v}_{M_i} = \frac{d}{dt} \bar{\mathbf{r}}_{M_i}$$

hay (xem công thức (18.45)):

$$\vec{v}_{M_i} = \sum_{j=1}^i (\mathbf{D}_{ij} \dot{q}_j) \vec{r}_{M_i/j} \quad (18.108)$$

với:

$$\mathbf{D}_{ij} = \frac{\partial}{\partial q_j} (\mathbf{K}_{oi}) \quad (18.109)$$

Từ đó ta có:

$$\begin{aligned} dT_i &= \frac{1}{2} \text{Tr} \left[\sum_{p=1}^i \mathbf{D}_{ip} \dot{q}_p \vec{r}_{M_i/i} \left(\sum_{r=1}^i \mathbf{D}_{ir} \dot{q}_r \vec{r}_{M_i}^i \right)^T \right] dm_i \\ &= \frac{1}{2} \text{Tr} \left[\sum_{p=1}^i \sum_{r=1}^i \mathbf{D}_{ip} \left(\vec{r}_{M_i}^i dm_i \vec{r}_{M_i}^T \right) \mathbf{D}_{ir}^T \dot{q}_p \dot{q}_r \right] \\ \int dT_i &= \frac{1}{2} \text{Tr} \left[\sum_{p=1}^i \sum_{r=1}^i \mathbf{D}_{ip} \left(\int \vec{r}_{M_i}^i \vec{r}_{M_i}^T dm_i \right) \mathbf{D}_{ir}^T \dot{q}_p \dot{q}_r \right] \\ I_i = I_{\text{poi}} &= \int \vec{r}_{M_i}^i \cdot \vec{r}_{M_i}^T dm_i = \begin{vmatrix} \int x_i^2 dm & \int x_i y_i dm & \int x_i z_i dm & \int x_i dm \\ \int y_i x_i dm & \int y_i^2 dm & \int y_i z_i dm & \int y_i dm \\ \int z_i x_i dm & \int z_i y_i dm & \int z_i^2 dm & \int z_i dm \\ \int x_i dm & \int y_i dm & \int z_i dm & dm \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (18.110)$$

Cuối cùng ta có biểu thức động năng toàn phần như sau:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^i \sum_{r=1}^i \left[\text{Tr} (\mathbf{D}_{ip} I_i \mathbf{D}_{ir}^T) \dot{q}_p \dot{q}_r \right] \quad (18.111)$$

2^o) Thế năng của trọng lượng

Ở đây ta chỉ xét tới thế năng của trọng lượng

$$U = \sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n \left[-m_i \vec{g}(\mathbf{K}_{oi} \cdot \vec{r}_i^i) \right] \quad (18.112)$$

3^o) Lực suy rộng

Gọi τ_i là lực suy rộng tác động lên khâu i.

Lực suy rộng τ_i là lực tác động trên khâu i có công bằng tổng công của các ngoại lực trong di chuyển khả dĩ của rôbot ứng với di chuyển vô cùng bé δq_i của khâu i đối với khâu tựa i - 1.

Công thức tính như sau:

$$\tau_i \cdot \delta q_i = \sum_{j=1}^n \delta A_j = \sum_{j=1}^n \vec{M}_j \cdot \delta \vec{q}_j + \vec{F}_j \cdot \delta \vec{r}_j \quad (18.113)$$

$\delta \vec{q}_j$ - là góc quay của khâu j.

$\delta \vec{r}_I$ - là chuyển vị dài của điểm I

I - là điểm đặt của lực $\vec{F}_J$.

$\delta \vec{q}_j, \delta \vec{r}_J$ sinh ra bởi chuyển vị $\delta \vec{q}_j$

Từ biểu thức (18.113) ta có:

$$\vec{r}_I \cdot \frac{d\delta \vec{q}_j}{dt} = \sum_{j=1}^n \vec{M}_j \cdot \frac{d\delta \vec{q}_j}{dt} + \vec{F}_J \cdot \delta \vec{r}_J \quad (18.114)$$

$$\vec{\tau}_i (\dot{q}_i \vec{e}_{zi}) = \sum_{j=1}^n \vec{M}_j \cdot \vec{\omega}_{j/i-1} + \vec{F}_j \cdot \vec{v}_{J/i-1} \quad (18.115)$$

$\vec{\omega}_{j/i-1}$ là vận tốc góc của khâu j, $\vec{v}_{J/i-1}$ là vận tốc dài của điểm đặt J do vận tốc $\dot{q}_i \vec{e}_{zi}$ gây ra.

Công thức 18.115 có nghĩa là:

Công suất của lực suy rộng τ_i bằng tổng công suất của các ngoại lực sinh ra khi cho khâu i một di chuyển khả dĩ δq_i đối với khâu tựa i - 1.

4^o) Biểu thức của phương trình Lagrange II của rôbôt

Ta có:

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^i \sum_{r=1}^i \left[\text{Tr}(\mathbf{D}_{ij} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ip}^T) \dot{q}_p \dot{q}_j \right] + \sum_{i=1}^n m_i \vec{g}(\mathbf{K}_{oi} \vec{r}_i^i) \quad (18.116)$$

Để thực hiện phép lấy đạo hàm, ta lưu ý:

Mã trận quán tính $\mathbf{I}_i$ là đối xứng (xem (18.110))

$$\mathbf{I}_i = \mathbf{I}_i^T$$

do đó:

$$\left[\left(\frac{\partial \mathbf{D}_{ij}}{\partial q_k} \right) \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ij}^T \right]^T = (\mathbf{D}_{ij}^T)^T \mathbf{I}_i^T \frac{\partial \mathbf{D}_{ij}^T}{\partial q_k} = \mathbf{D}_{ij} \mathbf{I}_i \frac{\partial \mathbf{D}_{ij}^T}{\partial q_k}$$

Từ đó suy ra:

$$\text{Tr} \left(\mathbf{D}_{ij} \mathbf{I}_i \frac{\partial \mathbf{D}_{ij}^T}{\partial q_k} \right) = \text{Tr} \left(\frac{\partial \mathbf{D}_{ij}}{\partial q_k} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ij}^T \right) \quad (18.117)$$

Đặt:

$$\mathbf{D}_{ijk} = \frac{\partial \mathbf{D}_{ij}}{\partial q_k} \quad (18.118)$$

thì ta có:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial q_k} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i \sum_{p=1}^i \left[\text{Tr}(\mathbf{D}_{ij} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ip}^T) (\dot{q}_p \delta_{ik} + \dot{q}_j \delta_{kp}) \right] \\ &= \sum_{i=k}^n \sum_{p=1}^i \text{Tr}[\mathbf{D}_{ip} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ik}^T] \dot{q}_p \end{aligned} \quad (18.119)$$

với $\delta_{ik} = 0$ khi $i \neq k$ và $\delta_{ik} = 1$ khi $i = k$.

và:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) = & \sum_{i=k}^n \sum_{p=1}^i \text{Tr}(\mathbf{D}_{ip} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ik}^T) \ddot{q}_p + \sum_{i=k}^n \sum_{p=1}^i \sum_{m=1}^i \text{Tr}(\mathbf{D}_{ip} \mathbf{I}_i \cdot \mathbf{D}_{ik}^T) \dot{q}_p \dot{q}_m + \\ & + \sum_{i=k}^n \sum_{p=1}^i \sum_{m=1}^i \text{Tr}(\mathbf{D}_{ikm} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ip}^T) \dot{q}_p \dot{q}_m \end{aligned} \quad (18.120)$$

ngoài ra:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial q_k} = & \frac{1}{2} \sum_{i=k}^n \sum_{j=1}^i \sum_{p=1}^i \text{Tr}(\mathbf{D}_{ijp} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ip}^T) \dot{q}_j \dot{q}_p + \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=k}^n \sum_{j=1}^i \sum_{p=1}^i \text{Tr}(\mathbf{D}_{ipk} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ip}^T) \dot{q}_j \dot{q}_p + \sum_{i=k}^n m_i g \mathbf{D}_{ik} \bar{\mathbf{r}}_i^i \end{aligned} \quad (18.121)$$

Thế các biểu thức trên vào phương trình Lagrange II tổng quát, ta có phương trình chuyển động của rôbôt tính đến thế năng của trọng lượng dưới dạng Lagrange II như sau:

$$\tau_k = \sum_{i=k}^n \sum_{p=1}^i \text{Tr}(\mathbf{D}_{ip} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ik}^T) \ddot{q}_k + \sum_{i=k}^n \sum_{p=1}^i \sum_{m=1}^i \text{Tr}(\mathbf{D}_{ip} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ik}^T) \dot{q}_p \dot{q}_m + \sum_{i=k}^n -m_i \bar{\mathbf{g}} (\mathbf{D}_{ik} \bar{\mathbf{r}}_i^i) \quad (18.122)$$

Đặt:

$$B_i = \sum_{j=i}^n (-m_i \bar{\mathbf{g}} \cdot \mathbf{D}_{ji} \bar{\mathbf{r}}_i^i) \quad (18.123)$$

$$B_{ikm} = \sum_{j=\max(i,k)}^n \text{Tr}(\mathbf{D}_{ik} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ij}^T) \quad (18.124)$$

$$B_{ik} = \sum_{j=\max(i,k,m)}^n \text{Tr}(\mathbf{D}_{jkm} \mathbf{I}_i \mathbf{D}_{ji}^T) \quad (18.125)$$

Phương trình chuyển động của rôbôt khi đó có thể viết dưới dạng

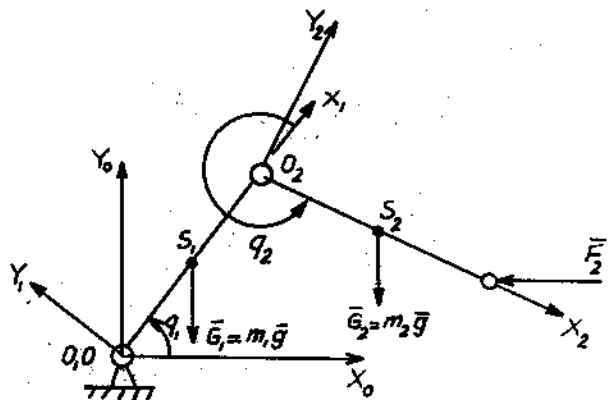
$$\tau_i = \sum_{k=1}^n B_{ik} \ddot{q}_k + \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n B_{ikm} \dot{q}_k \dot{q}_m + B_i \quad (18.126)$$

b) Ví dụ.

Thiết lập phương trình chuyển động của Rôbôt có sơ đồ như trên hình 18.19.

1) Giả sử khối lượng của các khâu phân bố đều trên đường nối tâm và khối tâm là điểm giữa của khâu S_1, S_2 .

Sử dụng phương trình chuyển động dưới dạng Lagrange II (18.126), ở đây ta có:



Hình 18. 19

$$\begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 B_{1km} \dot{q}_k \dot{q}_m \\ \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 B_{2km} \dot{q}_k \dot{q}_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix}$$

Trong đó:

$$B_{11} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{11} \mathbf{I}_1 \mathbf{D}_{11}^T) + \text{Tr}(\mathbf{D}_{21} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{21}^T)$$

$$B_{12} = B_{21} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{22} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{21}^T)$$

$$B_{22} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{22} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{22}^T)$$

$$B_1 = -m_1 \bar{\mathbf{g}} \mathbf{D}_{11} \bar{\mathbf{r}}_{S_1} - m_2 \bar{\mathbf{g}} \mathbf{D}_{21} \bar{\mathbf{r}}_{S_2}^2$$

$$B_2 = -m \bar{\mathbf{g}} \mathbf{D}_{22} \bar{\mathbf{r}}_{S_2}^2$$

$$\mathbf{K}_{01} = \begin{pmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{D}_{11} = \frac{\partial}{\partial q_1} \mathbf{K}_{01} = \mathbf{Q}_1 \cdot \mathbf{K}_{01} = \begin{pmatrix} -\sin q_1 & -\cos q_1 & 0 & 0 \\ \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{K}_{12} = \begin{pmatrix} \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 & 1 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{K}_{02} = \begin{pmatrix} \cos(q_1 + q_2) & -\sin(q_1 + q_2) & 0 & l_1 \cos q_1 \\ \sin(q_1 + q_2) & \cos(q_1 + q_2) & 0 & l_1 \sin q_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{D}_{21} = \frac{\partial}{\partial q_1} \mathbf{K}_{02}, \mathbf{D}_{22} = \frac{\partial}{\partial q_2} \mathbf{K}_{02}$$

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_{1/01} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} m_1 l_1^2 & 0 & 0 & \frac{1}{2} m_1 l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} m_1 l_1 & 0 & 0 & m_1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{I}_2 = \mathbf{I}_{202} = \begin{vmatrix} \frac{1}{3} m_2 l_2^2 & 0 & 0 & \frac{1}{2} m_2 l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} m_2 l_2 & 0 & 0 & m_2 \end{vmatrix}$$

Để đơn giản ta chọn $l_1 = l_2 = l$.

$$\bar{\mathbf{g}} = \begin{vmatrix} 0 & -g & 0 & 0 \end{vmatrix}^T$$

- Tính trong hệ OXYZ.

$$\bar{\mathbf{r}}_{S_1}^1 = \begin{vmatrix} l/2 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}^T$$

- Tính trong hệ $O_1 X_1 Y_1 Z_1$.

$$\bar{\mathbf{r}}_{S_2}^2 = \begin{vmatrix} l/2 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}^T$$

- Tính trong hệ $O_2 X_2 Y_2 Z_2$

$$B_{111} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{111} \mathbf{I}_1 \mathbf{D}_{11}^T) + \text{Tr}(\mathbf{D}_{211} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{21}^T)$$

$$B_{112} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{212} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{21}^T)$$

$$B_{121} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{211} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{22}^T)$$

$$B_{122} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{212} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{21}^T)$$

$$B_{211} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{211} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{22}^T)$$

$$B_{212} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{212} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{22}^T)$$

$$B_{221} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{221} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{22}^T)$$

$$B_{222} = \text{Tr}(\mathbf{D}_{222} \mathbf{I}_2 \mathbf{D}_{22}^T)$$

Kết quả tính được:

$$B_{11} = \frac{1}{3} m_1 l^2 + m_2 l^2 \left(\frac{4}{3} + \cos q_2 \right)$$

$$B_{12} = B_{21} = \frac{1}{3} m_2 l^2 + \frac{1}{2} m_2 l^2 \cos q_2$$

$$B_{22} = \frac{1}{3} m_2 l^2$$

$$B_1 = -\frac{1}{2} m_1 g l \cos q_1 - \frac{1}{2} m_2 g l \cos(q_1 + q_2) - m_2 g l \cos q_1$$

$$B_2 = -\frac{1}{2} m_2 g l \cos(q_1 + q_2)$$

$$B_{111} = 0$$

$$B_{112} = B_{121} = \frac{1}{2} m_2 l^2 \sin q_2$$

$$B_{122} = B_{211} = \frac{1}{2} m_2 l^2 \sin q_2$$

$$B_{212} = B_{221} = B_{222} = 0$$

2^o) Giả sử ngoại lực tác động lên khâu 2 là $\vec{F}_2$ có phương nằm ngang đặt tại K. Trên hình vẽ, trong hệ tọa độ Oxyz

$$\vec{F}_2 = \|(F_{2x} = F) \quad 0 \quad 0\|^T$$

$$\vec{\tau}_1 \cdot \vec{\omega}_1 = \vec{M}_{K_1} \cdot \vec{\omega}_1 + \vec{F}_2 \cdot (\vec{\omega}_1 \wedge \vec{OK})$$

$$\tau_1 = M_{K_1} + Fl[\sin q_1 + \sin(q_1 + q_2)]$$

$$\vec{\tau}_2 \cdot \vec{\omega}_2 = \vec{M}_{K_2} \cdot \vec{\omega}_2 + \vec{F}_2 \cdot (\vec{\omega}_2 \wedge \vec{O_2K})$$

$$\tau_2 = M_{K_2} + Fl \sin(q_1 + q_2)$$

Thay các giá trị tính được vào phương trình xuất phát, ta được phương trình chuyển động của Rôbot trên hình 18,19 như sau:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{1}{3} m_1 + \left(\frac{4}{3} + \cos q_2 \right) m_2 \right] l^2 \ddot{q}_1 + \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cos q_2 \right] m_2 l^2 \ddot{q}_2 - \\ & - \frac{1}{2} m_2 \sin q_2 \cdot l^2 \cdot \dot{q}_2^2 - m_2 l^2 \sin q_2 \cdot \dot{q}_1 \cdot \dot{q}_2 - \\ & - \left[\frac{1}{2} m_1 \cos q_1 + m_2 (\cos q_1 + \cos(q_1 + q_2)) \right] gl = M_{K_1} + Fl[\sin q_1 + \sin(q_1 + q_2)] \\ & \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cos q_2 \right] m_2 l^2 \ddot{q}_1 + \frac{1}{2} m_2 l^2 \ddot{q}_2 + \frac{1}{2} m_2 l^2 \dot{q}_1^2 - \frac{1}{2} m_2 gl \cos(q_1 + q_2) = \\ & = M_{K_2} + Fl \sin(q_1 + q_2) \end{aligned}$$

PHỤ LỤC

CÁC CHƯƠNG TRÌNH GIẢI MỘT SỐ BÀI TÍNH NGUYÊN LÝ MÁY

Phần này giới thiệu một số chương trình được viết bằng ngôn ngữ Turbo - Pascal để giải các bài tính Nguyên lý máy. Để giảm nhẹ việc lập các chương trình tính, ở đây xây dựng hai đơn vị chương trình (Unit) : Unit NLMAY1 gồm các hàm (function) và thủ tục (procedure) dùng chung cho các bài tính Nguyên lý máy và Unit NLMAY2 gồm các Procedure tạo cơ sở dữ liệu cho các bài tính này. Các chương trình tính được lập dựa trên các thuật toán đã trình bày trong tập 1 của giáo trình này [2].

Phần cuối của phụ lục giới thiệu các chương trình dùng trong phương pháp nhuộm màu, một phương pháp đồ thị trên máy tính dùng để giải một số bài tính kỹ thuật, trong đó có bài tính tìm điều kiện quay liên tục của cơ cấu sáu khâu. Cơ sở lý thuyết của phương pháp này đã được trình bày trong sách "Ứng dụng tin học trong thiết kế Nguyên lý máy" [1].

I. UNIT NLMAY1 : CÁC FUNCTION VÀ PROCEDURE DÙNG CHUNG CHO NHIỀU CHƯƠNG TRÌNH

UNIT NLMAY1 gồm các Function và Procedure dùng chung cho nhiều chương trình giải các bài tính Nguyên lý máy. Các Function và Procedure này được ký hiệu từ I.01 đến I.26, chức năng của từng Function và Procedure như sau :

- I.01 : *Procedure chonso* : Thủ tục cho phép chọn ngẫu nhiên một số trong một tập nguyên.
- I.02 : *Function bkt* : Hàm tạo một khoảng trống trên màn hình có chiều dài tự chọn trong chế độ văn bản.
- I.03 : *Procedure cho* : Thủ tục hiển thị thời gian giữ hình trên màn hình.
- I.04 : *Function dthuc2* : Hàm tính một định thức bậc hai.
- I.05 : *Procedure cucdai* : Thủ tục xác định cực đại của một dãy số thực và vị trí của cực đại này trong dãy số.
- I.06 : *Procedure cuctieui* : Thủ tục xác định cực tiểu của một dãy số nguyên và vị trí của cực tiểu này trong dãy số.
- I.07 : *Procedure cuctieu* : Thủ tục xác định cực tiểu của một dãy số thực và vị trí của cực tiểu này trong dãy số.
- I.08 : *Procedure daycung* : Thủ tục xác định nghiệm của một phương trình bằng phương pháp dây cung.
- I.09 : *Procedure delaytn* : Thủ tục có chức năng kép vừa của hàm Ch:=readkey vừa của thủ tục delay(t);
- I.10 : *Procedure maphim* : Thủ tục cho mã bàn phím.
- I.11 : *Function gocx* : Hàm cho phép xác định một góc theo giá trị sin và cos của nó.
- I.12 : *Function hev* : Hàm Heavyside.
- I.13 : *Function involute* : Hàm thân khai.

I.14 : *Procedure noibot* : Thủ tục xếp lại một dãy số thực bất kỳ thành một dãy số theo thứ tự từ nhỏ đến lớn.

I.15 : *Procedure quayvari* : Toán tử quay với biến số nguyên.

I.16 : *Procedure quayvarr* : Toán tử quay với biến số thực.

I.17 : *Procedure anhdieim* : Thủ tục cho phép gửi ảnh một điểm có màu xác định, để sau này có thể đưa ra một vị trí tùy ý trên màn hình bằng thủ tục PUTIMAGE trong chế độ đồ thị.

I.18 : *Procedure anhhinh* : Thủ tục cho phép gửi ảnh một hình vào bộ nhớ, để sau này có thể đưa ra một vị trí tùy ý trên màn hình bằng thủ tục PUTIMAGE trong chế độ đồ thị.

I.19 : *Procedure dohoa* : Thủ tục dùng để khởi tạo đồ thị.

I.20 : *Procedure tylescr* : Thủ tục cho tỷ lệ màn hình.

I.21 : *Procedure docso* : Thủ tục cho phép đọc dữ liệu bằng số trong chế độ đồ thị.

I.22 : *Procedure vietfile* : Thủ tục cho phép đọc một file kiểu bất kỳ bằng cách coi file này như một file text và viết lên màn hình trong chế độ văn bản.

I.23 : *Procedure docfile* : Thủ tục cho phép đọc một file kiểu bất kỳ bằng cách coi file này như một file text và viết lên màn hình trong chế độ đồ thị.

I.24 : *Procedure nhactext* : Thủ tục tạo một lệnh nhắc nhảy trên màn hình trong chế độ văn bản.

I.25 : *Procedure nhacgrap* : Thủ tục tạo một lệnh nhắc nhảy trên màn hình trong chế độ đồ thị.

I.26 : *Procedure baohieu* : Thủ tục viết một lệnh trên màn hình.

UNIT NLMAY1;

INTERFACE

uses crt,graph;

const n = 120;

type ten = string[120];

mat1r = array[0..n] of real;

mat1i = array[0..n] of integer;

mat2r = array[0..4,0..n] of real;

mat2i = array[0..4,0..n] of integer;

tap = set of byte;

ham = function(xz:real):real;

var i,j,k,codekb,cot,dong,xmax,ymax : integer;

tylesc : real;

Ok,Okd : boolean;

ch : char;

pter1 : pointer;

path,cau,texpa,textj : ten;

{*****}

Procedure chonso(nz: integer; var qz: integer; var tapz: tap);

Function bkt(nz: integer): ten;

Procedure cho(xz,yz,iz : integer);

```

Function dthuc2(a1,a2,a3,a4 : real) : real;
Procedure cucdai(iz,nz: integer; pt: matlr; var ptmax: real; var kz: integer);
Procedure cuctieui(iz,nz : integer; pt : matli; var ptmin : integer; var kz : integer);
Procedure cuctieu(iz,nz: integer; pt: matlr; var ptmin: real; var kz: integer);
Procedure daycung(hamz: ham; xoz,xmz,buoc,saiso: real;
                  var songhiem: integer; var nghiemz: matlr);
Procedure delaytn(jz: integer);
Procedure maphim;
Function gocx(co,si: real): real;
Function hev(x,x1,x2: real): integer;
Function involute(alfaz: real): real;
Procedure noibot(nz: integer; ptv: matlr; var pt: matlr);
Procedure quayvari(xgoc,ygoc,xxv,yv: integer; gocquay: real; var xr,yr: integer);
Procedure quayvarr(xgoc,ygoc : integer; xv,yv,gocquay : real; var xr,yr : real);
Procedure anhdien(mauz: integer);
Procedure anhhinh( xz1,yz1,xz2,yz2: integer; var hinhchup: pointer);
Procedure dohoa;
Procedure tylesc( var tylesc : real);
Procedure docso(mau,xoz,yoz: integer; var soz: real);
Procedure vietfile(tenfile : ten);
Procedure docfile(tenfilez :ten );
Procedure nhactext(cotx,dongy,mauz: integer; cau: ten);
Procedure nhacgrap(xz,yz,mauz: integer; cau: ten);
Procedure baohieu(xz,yz,mau:integer;cau:ten);
{*****}

```

IMPLEMENTATION

{I.01}

```
Procedure chonso;
```

```
begin
```

```
repeat
```

```
  qz:=random(nz+1);
```

```
  until qz in tapz;
```

```
  tapz:=tapz-[qz];
```

```
end;
```

```
{-----}
```

{I.02}

```
Function bkt;
```

```
var i: integer;
```

```
    bkg : ten;
```

```
begin
```

```
  bkg:=' ';
```

```
  for i:=1 to nz do bkg:=bkg+' ';
```

```
  bkt:=bkg;
```

```
end;
```

```
{-----}
```

{I.03}

Procedure cho(xz,yz,iz : integer);

var i : integer;

texti : string[4];

begin

i:=1;

repeat

str(i:4,texti);

setcolor(10);

outtextxy(xz,yz,texti);

delay(3);

i:=i+1;

setcolor(0);

outtextxy(xz,yz,texti);

until i=iz;

end;

{-----}

{I.04}

Function dthuc2(a1,a2,a3,a4 : real) : real;

begin

dthuc2:=a1*a4-a2*a3;

end;

{-----}

{I.05}

Procedure cucdai(iz,nz : integer; pt : matli; var ptmax : real; var kz : integer);

var i : integer;

begin

for i:=iz to nz do

begin

if i=iz then

begin

ptmax:=pt[i];kz:=i;

end else

if ptmax<pt[i] then

begin

ptmax:=pt[i];kz:=i;

end;

end;

end;

{-----}

{I.06}

Procedure cuctieui(iz,nz : integer; pt : matli; var ptmin : integer; var kz : integer);

var i : integer;

begin

for i:=iz to nz do

```

begin
  if i=iz then
    begin
      ptmin:=pt[i];kz:=i;
    end else if ptmin>pt[i] then
      begin
        ptmin:=pt[i];kz:=i;
      end;
    end;
  end;
end;
{-----}
{I.07}
Procedure cuctieu(iz,nz: integer; pt: matlr;var ptmin: real; var kz: integer);
var i: integer;
begin
  for i:=iz to nz do
    begin
      if i=iz then
        begin
          ptmin:=pt[i];kz:=i;
        end else if ptmin>pt[i] then
          begin
            ptmin:=pt[i];kz:=i;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
{-----}
{I.08}
Procedure daycung(hamz: ham; xoz,xmz,buoc,saio: real;
                  var songhiem: integer; var nghiemiz: matlr);
var x,dx,y,yo,y1,dxo,dx1,tich: real;
    Ok,chuaco: boolean;
    i,j: integer;
begin
  x:=xoz-buoc;j:=0;textcolor(11);
  while x<=xmz do
    begin
      Ok:=true;chuaco:=true;dx:=buoc;i:=0;
      while Ok and (x<=xmz) do
        begin
          gotoxy(1,1);
          textcolor(15);
          write(i);
          x:=x+dx;i:=i+1;
          y:=hamz(x);

```

```

if (abs(y)<=saiso) then
begin
  j:=j+1;nghiemz[j]:=x;Ok:=false;
end else
begin
  if i>1 then
  begin
    tich:=y*yo;
    if tich<0 then
    begin
      dxo:=dx;dx:=dxo*y/(yo-y);dx1:=dx+dxo;
      y1:=yo;chuaco:=false;
    end else if not(chuaco) then
    begin
      yo:=y1;dxo:=dx1;dx:=dxo*y/(yo-y);dx1:=dx+dxo;
    end;
  end;
end;
gotoxy(1,1);
textcolor(12);
write(i);
yo:=y;
end;
end;
songhiem:=j;
gotoxy(1,1);
textcolor(0);
write(i);
clrscr;
end;
{-----}
{I.09}
Procedure delaytn(jz: integer);
var  j: integer;
begin
  j:=0;
  repeat
    j:=j+1;
    if keypressed then Okd:=false;
  until (j=jz) or not(Okd);
  setcolor(15);
  outtextxy(cot,ymax-10,'An fim bat ky de tam dung');
end;
{-----}
{I.10}

```

```

Procedure maphim;
var funckey: boolean;
begin
  funckey := false; codekb := 0;
  ch:=readkey;
  if (ch = #27) and keypressed then
    begin
      funcKey := true;
      ch:=readkey;
    end;
  codekb := ord(ch);
end;
{-----}
{I.11}
Function gocx(co,si: real): real;
begin
  if abs(co)<=0.001 then
    begin
      if co>0 then gocx:=(pi/2)-arctan(co/si)
      else gocx:=(pi/2)-arctan(co/si)+pi;
    end else
      begin
        if co>0 then gocx:=arctan(si/co)
        else gocx:=pi+arctan(si/co);
      end;
    end;
end;
{-----}
{I.12}
Function hev(x,x1,x2: real): integer;
begin
  if (x>=x1) and (x<=x2) then hev:=1 else hev:=0;
end;
{-----}
{I.13}
Function involute(alfaz: real): real;
begin
  involute:=-alfaz+sin(alfaz)/cos(alfaz);
end;
{-----}
{I.14}
Procedure noibot(nz: integer; ptv: mat1r; var pt: mat1r);
var i,k: integer;
    sodem: real;
begin
  for i:=0 to nz do pt[i]:=ptv[i];

```

```

i:=1;
while i<=nz do
begin
  k:=i;j:=k-1;
  while j>=0 do
  begin
    if pt[k]<pt[j] then
    begin
      sodem:=pt[k];pt[k]:=pt[j];pt[j]:=sodem;
      k:=k-1;j:=k-1;
    end else j:=-1;
  end;
  i:=i+1;
end;
end;
{-----}
{I.15}
procedure quayvari(xgoc,ygoc,xv,yv: integer; gocquay: real; var xr,yr: integer);
begin
  xr:=xgoc+round((xv-xgoc)*cos(gocquay)-round(yv-ygoc)*sin(gocquay));
  yr:=ygoc+round((yv-ygoc)*cos(gocquay)+(xv-xgoc)*sin(gocquay));
end;
{-----}
{I.16}
Procedure quayvarr(xgoc,ygoc : integer; xv,yv,gocquay : real; var xr,yr : real);
begin
  xr:=xgoc+((xv-xgoc)*cos(gocquay)- (yv-ygoc)*sin(gocquay));
  yr:=ygoc+((yv-ygoc)*cos(gocquay) +(xv-xgoc)*sin(gocquay));
end;
{-----}
{I.17}
Procedure anhdien(mauz: integer);
var size: integer;
begin
  putpixel(1,1,mauz);
  size:=imagesize(0,0,2,2);
  getmem(pter1,size);
  getimage(0,0,2,2,pter1^);
  putimage(0,0,pter1^,xorput);
end;
{-----}
{I.18}
Procedure anhhinh( xz1,yz1,xz2,yz2: integer; var hinhchup: pointer);
var size: integer;
begin

```

```

size:=imagesize(xz1,yz1,xz2,yz2);
getmem(hinhchup,size);
getimage(xz1,yz1,xz2,yz2,hinhchup^);
putimage(xz1,yz1,hinhchup^,xorput);
end;
{-----}
{I.19}
Procedure docso(mau,xoz,yoz: integer; var soz: real);
var  cau: ten;
     chu: char;
     k,result1,result2,valchu: integer;
     Ok,chuacham,doc: boolean;
     chuo: array[1..24] of char;
begin
  doc:=true;chuacham:=true;k:=0;cau:="";
  while doc do
    begin
      maphim;
      setcolor(mau);
      if codekb=13 then doc:=false else
        begin
          chu:=chr(codekb);
          Ok:=(chu='.') and chuacham;
          val(chu,valchu,result1);
          if (result1=0) or (codekb=45) then
            begin
              k:=k+1;
              chuo[k]:=chu;
              cau:=cau+chu;
              outtextxy(xoz,yoz,chu);
              xoz:=xoz+8;
            end;
          if Ok then
            begin
              k:=k+1;
              chuo[k]:=chu;
              cau:=cau+chu;
              outtextxy(xoz,yoz,chu);
              xoz:=xoz+8;
              chuacham:=false;
            end;
          end;
        if codekb=8 then
          begin
            xoz:=xoz-8;

```

```

    setcolor(0);
    outtextxy(xoz,yoz,chuo[k]);
    delete(cau,length(cau),1);
    k:=k-1;
    chuacham:=true;
end;
end;
val(cau,soz,result2);
end;
{-----}
{I.20}
Procedure dohoa;
var   i,driver,mode: integer;
begin
  repeat
    driver:= detect;
    initgraph(driver,mode,path);
    i:=graphresult;
    if i<>grok then
      if i = -3 then
        begin
          write(' Hay cho lai duong dan ');
          readln(path);
        end;
      until i = grok;
      setgraphmode(vgahi);
    end;
  {-----}
{I.21}
  procedure tylescr(var tylesc : real);
  var   xasp,yasp : word;
  begin
    getaspectratio(xasp,yasp);
    tylesc:=xasp/yasp;
  end;
  {-----}
{I.22}
  Procedure vietfile(tenfile : ten);
  var   xx,yy,i,sodong : integer;
        dong,letrai : string;
        ch : char;
        vanban : text;
  begin
    textcolor(11);
    sodong:=20;yy:=0;letrai:="";

```

```

assign(vanban,tenfile);
reset(vanban);
i:= 0;
textcolor(11);
while not eof(vanban) do
begin
  if i > sodong then
  begin
    i := 0;
  end;
  inc(i);
  readln(vanban,dong);
  write(letrai);
  writeln(dong);
  xx:=i mod sodong;
  if xx=0 then ch:=readkey;
end;
close(vanban);
end;
{-----}
{L.23}
Procedure docfile(tenfilez : ten);
var  vanban: text;
     cot,dong,sodong,letrai,dongdau,i: integer;
     h: word;
{-----}
procedure viet(var cot,dong: integer; cau : ten);
begin
  outtextxy(cot,dong,cau);
  cot:= letrai;
  dong:= dong+h;
end;
{-----}
begin
  xmax:=getmaxx;ymax:=getmaxy;
  letrai:=5;dongdau:=30;sodong:=40;
  cot:=letrai;dong:=dongdau;
  h:=textheight('h')+6;
  assign(vanban,tenfilez);
  reset(vanban);
  i:=0;
  while not eof(vanban) do
  begin
    if i>sodong then i:=0
    else inc(i);

```

```

readln(vanban,cau);
if i<4 then
begin
  settextstyle(1,0,1);
  setcolor(11);
end else
begin
  setcolor(15);
  settextstyle(0,0,1);
end;
viet(cot,dong,cau);
end;
close(vanban);
setcolor(14);
rectangle(10,10,630,dong+h);
cau:=' An motfim de tieptuc ';
nhacgrap(10,ymax-15,12,cau);
ch:=readkey;
end;

```

```

{-----}

```

{I.24}

Procedure nhactext(cotx,dongy,mauz: integer; cau: ten);

begin

repeat

textcolor(mauz);

gotoxy(cotx,dongy);

write(cau);

delay(50);

gotoxy(cotx,dongy);

textcolor(0);

write(cau);

delay(20);

until keypressed;

gotoxy(cotx,dongy);

textcolor(0);

write(cau);

textcolor(mauz);

end;

```

{-----}

```

{I.25}

Procedure nhacgrap(xz,yz,mauz: integer; cau: ten);

begin

settextstyle(0,0,1);

repeat

setcolor(mauz);

```

outtextxy(xz,yz,cau);
delay(250);
setcolor(15);
outtextxy(xz,yz,cau);
delay(200);
until keypressed;
end;
{-----}
{I.26}
Procedure baohieuv(xz,yz,mauv : integer; cau :ten);
begin
  textcolor(mauv);
  gotoxy(xz,yz);
  write(cau);
end;
END.

```

II. UNIT NLMAY2 : CÁC PROCEDURE DỮ LIỆU CHO CÁC CHƯƠNG TRÌNH TÍNH

UNIT NLMAY2 gồm các Procedure tạo cơ sở dữ liệu cho các chương trình tính các bài toán Nguyên lý máy. Có thể lấy dữ liệu từ các ví dụ có sẵn (ấn chữ V), hoặc nhập dữ liệu mới từ bàn phím (ấn chữ F) và sau đó lấy lại dữ liệu này từ đĩa (ấn chữ D). Các Procedure này được ký hiệu từ II.01 đến II.07, chức năng của từng Procedure như sau :

- II.01 : *Procedure DLBLE* : Thủ tục tạo dữ liệu cho chương trình **VTRI4KBL**.
- II.02 : *Procedure DLCUL* : Thủ tục tạo dữ liệu cho chương trình **DHOCULIT**
- II.03 : *Procedure DLCULD* : Thủ tục tạo dữ liệu cho chương trình **VTRICULID**
- II.04 : *Procedure DLTQCT* : Thủ tục tạo dữ liệu cho chương trình **DHOCTQCT**
- II.05 : *Procedure DLLUC* : Thủ tục tạo dữ liệu cho chương trình **LUC4KBL**
- II.06 : *Procedure DLCDTHUC* : Thủ tục tạo dữ liệu cho chương trình **CHDGTHUC**
- II.07 : *Procedure DLBR* : Thủ tục tạo dữ liệu cho chương trình **BANHRANG**

UNIT NLMAY2;
INTERFACE

```

uses crt,graph,nlmay1;
type ten = string[120];
var i,j,no,n1,sv,xo,yo : integer;
    fi3,fi4,defi,omega1,tyle,lucP3,lp3,momen3,beta3,xx,yy,
        ls2,beta2,lucP,atam,modun,alfa,i12,alfal : real;
    tenfile,cau : ten;
    fildl : text;
    ch : char;
    l,ls,beta,mk,js : mat1r;
    fi,omega,epsil,xt,yt : mat2r;

```

```

        xi,yi : mat2i;
        vidu: boolean;
{*****}
Procedure DLBLE;
Procedure DLCUL;
Procedure DLCULD;
Procedure DLTQCT;
Procedure DLLUC;
Procedure DLCDTHUC;
Procedure DLBRG;
{*****}
IMPLEMENTATION
{II.01}
Procedure DLBLE;
var   phgan : integer;
      textpa : string[3];
      Okq ,Okf : boolean;
{-----}
procedure fim;
begin
  Okq:=false;
  repeat
    for i:=1 to 4 do
      begin
        write('l['i,'] = ');
        readln(l[i]);
      end;
      Okq:=(abs(l[1]-l[4])>=abs(l[2]-l[3]));
      Okq:=Okq and (l[1]+l[4]<=l[2]+l[3]);
      if not(Okq) then
        begin
          textcolor(12);
          write('Dieukien quaytoanvong ');
          writeln('cua khau1 khong duoc thoaman');
          writeln('Hay cho lai kichthuoc cac khau ! ');
        end;
        textcolor(11);
      until Okq;
      writeln;
      write('Goc vitri cua gia      : fi4 = ');
      readln(fi4);
      fi4:=fi4*pi/180;
      assign(fildl,tenfile);
      rewrite(fildl);
      for i:=1 to 4 do

```

```

begin
    writeln(fildl,l[i]);
end;
writeln(fildl,fi4);
close(fildl);
end;
{-----}
procedure dia;
begin
    assign(fildl,tenfile);
    reset(fildl);
    for i:=1 to 4 do
    begin
        readln(fildl,l[i]);
        textcolor(11);
        writeln(' l[i,i] = ',l[i]:6:0);
    end;
    writeln;
    readln(fildl,fi4);
    writeln('Goc vitri cua gia      : fi4 = ',(fi4*180/pi):6:2);
    writeln;
    close(fildl);
end;
{-----}
begin
    closegraph;
    textmode(3);
    textcolor(11);
    write('Lay solieu trong vidu cho truoc (V) ');
    writeln('hay tu cho solieu (T) ?');
    repeat
        ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['V','T'];
    clrscr;
    vidu:=false;
    if upcase(ch)='V' then
    begin
        vidu:=true;
        writeln('Co bon vidu :1,2,3,4 . Ban muon xem vidu nao ?');
        write('Vidu so : ');
        readln(phgan);
        str(phgan,textpa);
        tenfile:='a:vidublea.'+textpa;
        textcolor(14);
        clrscr;
    end;
end;

```

```

writeln('          Cac solieu cho truoc .');
writeln;
textcolor(11);
dia;
no:=60;sv:=2;tyle:=2;
nhactext(1,24,15,'An fim batky de tieptuc');
ch:=readkey;
end else
begin
textcolor(14);
tenfile:='a:vidublex';
assign(fildl,tenfile);
{$I-}reset(fildl) {$I+};
Okf:=(IOresult=0);
if not(Okf) then
begin
nhactext(40,24,10,'An fim F de tieptuc');
repeat
ch:=readkey;
until upcase(ch)='F';
end else
begin
nhactext(40,24,10,'Cho dulieu tu fim (F) hay tu dia (D) ');
repeat
ch:=readkey;
until upcase(ch) in ['F','D'];
end;
clrscr;
writeln('          Cac solieu cho truoc .');
writeln;
textcolor(11);
case upcase(ch) of
'F':fim;
'D':dia;
end;
write('Hay cho tyle hinhve      : tyle = ');
readln(tyle);
write('So vong quay          : sv = ');
readln(sv);
write('So vitri trong mot vong : no = ');
readln(no);
end;
defi:=2*pi/no;
end;
{=====}

```

{II.02}

Procedure DLCUL;

var beta : real;

{-----}

procedure fim;

begin

assign(fildl,tenfile);

textcolor(11);

write('l[',1,'] = ');

readln(l[1]);

write('l[',4,'] = ');

readln(l[4]);

l[2]:=0;

writeln;

write('Goc vitri cua gia : fi4 = ');

read(fi4);

fi4:=fi4*pi/180;

rewrite(fildl);

for i:=1 to 4 do if i<>3 then writeln(fildl,l[i]);

writeln(fildl,fi4);

.close(fildl);

end;

{-----}

procedure dia;

begin

assign(fildl,tenfile);

reset(fildl);

for i:=1 to 4 do

begin

if i<>3 then

begin

readln(fildl,l[i]);

writeln(' l[',i,'] = ',l[i]:6:0);

end;

end;

writeln;

write('Goc vitri cua gia : fi4 = ');

readln(fildl,fi4);

writeln((fi4*180/pi):6:2);

close(fildl);

end;

{-----}

begin

textmode(3);

textcolor(11);

```

write('Lay solieu trong vidu cho truoc (V) ');
writeln('hay tu cho solieu (T) ?');
repeat
  ch:=readkey;
until upcase(ch) in ['V','T'];
clrscr;
vidu:=false;
if upcase(ch)='V' then
begin
  tyle:=1;
  vidu:=true;
  textcolor(14);
  writeln('          Cac solieu cho truoc .');
  writeln;
  textcolor(11);
  tenfile:='a:viducula';
  assign(fildl,tenfile);
  dia;
  no:=60;sv:=2;tyle:=1.5;
  nhactext(1,24,15,'An fim batky de tieptuc');
  ch:=readkey;
end else
begin
  tenfile:='a:viduculx';
  textcolor(14);
  writeln('          , Cho dulieu tu banfim hay doc tu dia(F/D)?');
  writeln;
  textcolor(11);
  repeat
    ch:=readkey;
  until upcase(ch) in ['F','D'];
  case upcase(ch) of
    'F':fim;
    'D':dia;
  end;
  write('So vong quay          : sv = ');
  readln(sv);
  write('So vitri trong mot vong : no = ');
  readln(no);
  write('Hay cho tyle hinhve      : tyle = ');
  readln(tyle);
end;
end;
{=====}
{II.03}

```

Procedure DLCULD;

var beta : real;

Okq:boolean;

{-----}

procedure fim;

begin

Okq:=false;

assign(fildl,tenfile);

textcolor(11);

repeat

write('l',3,' = ');

readln(l[3]);

write('l',4,' = ');

readln(l[4]);

l[2]:=0;

Okq:= (l[4]<=l[3]);

if not(Okq) then

begin

textcolor(12);

cau:='Dieukien quaytoanvong cua khaul khongduoc thoaman';

writeln(cau);

writeln('Hay cho lai kichthuoc cac khaul !');

end;

textcolor(11);

until Okq;

writeln;

write('Goc vitri cua gia : fi4 = ');

read(fi4);

fi4:=fi4*pi/180;

rewrite(fildl);

for i:=1 to 4 do if i<>1 then writeln(fildl,l[i]);

writeln(fildl,fi4);

close(fildl);

end;

{-----}

procedure dia;

begin

assign(fildl,tenfile);

reset(fildl);

for i:=1 to 4 do

begin

if i<>1 then

begin

readln(fildl,l[i]);

writeln(' l',i,' = ',l[i]:6:0);

```

end;
end;
writeln;
write('Goc vitri cua gia      : fi4 = ');
readln(fild1,fi4);
writeln((fi4*180/pi):6:2);
close(fild1);
end;
{-----}
begin
  textcolor(11);
  write('Lay solieu trong vidu cho truoc (V) ');
  writeln('hay tu cho solieu (T) ?');
  repeat
    ch:=readkey;
  until upcase(ch) in ['V','T'];
  clrscr;
  vidu:=false;
  if upcase(ch)='V' then
    begin
      vidu:=true;
      textcolor(14);
      writeln('      Cac solieu cho truoc .');
      writeln;
      textcolor(11);
      tenfile:='a:vduculda';
      assign(fild1,tenfile);
      dia;
      no:=60;sv:=2;tyle:=1;
      cau:='An fim batky de tieptuc';
      nhactext(1,24,15,cau);
      ch:=readkey;
    end else
      begin
        tenfile:='a:vduculdx';
        textcolor(14);
        cau:='Cho dulieu tu banfim hay doc tu dia(F/D)?';
        writeln('      ',cau);
        writeln;
        textcolor(11);
        repeat
          ch:=readkey;
        until upcase(ch) in ['F','D'];
        case upcase(ch) of
          'F':fim;

```

```

'D':dia;
end;
write('So vong quay      : sv = ');
readln(sv);
write('So vitri trong mot vong : no = ');
readln(no);
write('Hay cho tyle hinhve      : tyle = ');
readln(tyle);
end;
end;
{=====}
{II.04}
Procedure DLTQCT;
var  beta : real;
      Okq : boolean;
{-----}
procedure fim;
begin
  Okq:=false;
  repeat
    for i:=1 to 4 do
      begin
        if i<>3 then
          begin
            write('l['i,'] = ');
            read(l[i]);
          end;
        end;
      Okq:= (l[1]+l[4]<=l[2]);
      if not(Okq) then
        begin
          textcolor(12);
          cau:='Dieukien quaytoanvong cua khaul khong duoc thoaman';
          writeln(cau);
          writeln('Hay cho lai kichthuoc cac khaul !');
        end;
      until Okq;
      textcolor(11);
      writeln;
      write('Goc vitri cua phuongtruot : fi3 = ');
      read(fi3);
      fi3:=fi3*pi/180;
      if l[4]>0 then
        begin
          write('Goc giua gia va phuongtruot : beta = ');

```

```

    read(beta);
    fi4:=fi3+(beta*pi/180);
end else fi4:=0;
assign(fildl,tenfile);
rewrite(fildl);
for i:=1 to 4 do if i<>3 then writeln(fildl,l[i]);
writeln(fildl,fi3);
writeln(fildl,fi4);
close(fildl);

```

```
end;
```

```
{-----}
```

```
procedure dia;
```

```
begin
```

```
    assign(fildl,tenfile);
```

```
    reset(fildl);
```

```
    for i:=1 to 4 do
```

```
        begin
```

```
            if i<>3 then
```

```
                begin
```

```
                    readln(fildl,l[i]);
```

```
                    writeln(' l['i,'] = ',l[i]:6:0);
```

```
                end;
```

```
            end;
```

```
        writeln;
```

```
        write('Goc vitri cua phuongtruot : fi3 = ');
```

```
        readln(fildl,fi3);
```

```
        writeln(fi3*180/pi:6:2);
```

```
        write('Goc vitri cua gia : fi4 = ');
```

```
        readln(fildl,fi4);
```

```
        writeln(fi4*180/pi:6:2);
```

```
        close(fildl);
```

```
end;
```

```
{-----}
```

```
begin
```

```
    textmode(3);
```

```
    textcolor(11);
```

```
    write('Lay solieu trong vidu cho truoc (V) ');
```

```
    writeln('hay tu cho solieu (T) ?');
```

```
    repeat
```

```
        ch:=readkey;
```

```
    until upcase(ch) in ['V','T'];
```

```
    clrscr;
```

```
    vidu:=false;
```

```
    if upcase(ch)='V' then
```

```
        begin
```

```

vidu:=true;
textcolor(14);
writeln('          Cac solieu cho truoc .');
writeln;
textcolor(11);
tenfile:='a:vduqtcta';
dia;
no:=60;sv:=2;tyle:=1;
nhactext(1,24,15,'An fim batky de tieptuc');
ch:=readkey;
end else
begin
  tenfile:='a:vduqtctx';
  textcolor(14);
  cau:='Cho dulieu tu banfim hay doc tu dia(F/D) ?';
  writeln('          ',cau);
  writeln;
  textcolor(11);
  repeat
    ch:=readkey;
  until (upcase(ch)='F') or (upcase(ch)='D');
  case upcase(ch) of
    'F':fim;
    'D':dia;
  end;
  write('So vong quay          : sv = ');
  readln(sv);
  write('So vitri trong mot vong : no = ');
  readln(no);
  write('Hay cho tyle hinhve      : tyle = ');
  readln(tyle);
end;
end;

```

```

{=====}

```

```

{II.05}

```

```

Procedure DLLUC;

```

```

var   Okf : boolean;

```

```

{-----}

```

```

procedure docvable;

```

```

begin

```

```

  textcolor(15);

```

```

  gotoxy(40,23);

```

```

  write('Dang doc solieu . Hay cho ');

```

```

  assign(fildl,'a:viduble.luc');

```

```

  reset(fildl);

```

```

readln(fildl,omega1);
readln(fildl,n1);
for i:=1 to 4 do readln(fildl,l[i]);
for j:=0 to n1 do
begin
  for i:=1 to 4 do readln(fildl,fi[i,j]);
  textcolor(12);
  gotoxy(40,23);
  write('Dang doc solieu . Hay cho ');
  for i:=1 to 3 do
  begin
    readln(fildl,omega[i,j]);
    textcolor(15);
    gotoxy(40,23);
    write('Dang doc solieu . Hay cho ');
    readln(fildl);
    readln(fildl,epsil[i,j]);
  end;
end;
close(fildl);
clrscr;
end;

```

```

{-----}
procedure solieucu;

```

```

begin
  textcolor(13);
  writeln('          Cac so lieu cua hai tinh');
  textcolor(14);
  writeln('          Cac solieu donghoc');
  textcolor(10);
  writeln('1 - Kichthuoc donghoc cac khau');
  textcolor(15);
  for i:=1 to 4 do
  begin
    write('l[i,i] = ',l[i]:6:3, ' ');
    l[i]:=l[i];
    if i=2 then writeln;
  end;
  writeln;
  textcolor(10);
  writeln('1 - Vantoc goc khaudan');
  textcolor(15);
  writeln('omega1 = ',omega1:2);
end;
{-----}

```

```

procedure solieuf;
begin
  tenfile:='a:luc.bis';
  assign(fildl,tenfile);
  textcolor(14);
  writeln('          Toa do trong tam : ');
  textcolor(11);
  for i:=2 to 3 do
  begin
    write('Khau ',i,' : ls['',i,''] = ');
    dong:=wherey;
    readln(ls[i]);
    cot:=wherex;
    gotoxy(cot+30,dong);
    write('beta['',i,''] = ');
    readln(beta[i]);
    beta[i]:=beta[i]*pi/180;
  end;
  textcolor(14);
  writeln('          Cac thongso quan tinh : ');
  textcolor(11);
  for i:=2 to 3 do
  begin
    write('Khau',i,' : mk['',i,''] = ');
    dong:=wherey;
    readln(mk[i]);
    cot:=wherex;
    gotoxy(cot+30,dong);
    write('js['',i,''] = ');
    readln(js[i]);
  end;
  textcolor(14);
  writeln('          Ngoailuc va momen ngoailuc : ');
  textcolor(10);
  writeln('1 - Ngoailuc dat tren khau 3 : ');
  textcolor(11);
  write('lucP3 = ');
  readln(lucP3);
  dong:=wherey;cot:=wherex;
  gotoxy(cot+17,dong-1);
  write('lp3 = ');
  dong:=wherey;cot:=wherex;
  readln(lp3);
  gotoxy(cot+10,dong);
  write('beta3 = ');

```

```

readln(beta3);
beta3:=beta3*pi/180;
textcolor(10);
writeln('2 - Momen ngoailuc dat tren khau 3 : ');
textcolor(11);
write('momen3 = ');
readln(momen3);
baohieu(40,24,15,'Dang nhap solieu . Hay cho !');
rewrite(fildl);
baohieu(40,24,12,'Dang nhap solieu . Hay cho !');
writeln(fildl,omega1);
writeln(fildl,n1);
for i:=1 to 4 do writeln(fildl,l[i]);
for j:=0 to n1 do
begin
  for i:=1 to 4 do writeln(fildl,fi[i,j]);
  baohieu(40,24,15,'Dang nhap solieu . Hay cho !');
  for i:=1 to 3 do
  begin
    writeln(fildl,omega[i,j]);
    baohieu(40,24,12,'Dang nhap solieu . Hay cho !');
    writeln(fildl);
    writeln(fildl,epsil[i,j]);
  end;
end;
baohieu(40,24,15,'Dang nhap solieu . Hay cho !');
for i:=2 to 3 do
begin
  writeln(fildl,ls[i]);
  writeln(fildl,beta[i]);
end;
baohieu(40,24,12,'Dang nhap solieu . Hay cho !');
for i:=2 to 3 do
begin
  writeln(fildl,mk[i]);
  writeln(fildl,js[i]);
end;
baohieu(40,24,15,'Dang nhap solieu . Hay cho !');
writeln(fildl,lucP3);
writeln(fildl,lp3);
writeln(fildl,beta3);
writeln(fildl,momen3);
close(fildl);
baohieu(40,24,0,'Dang nhap solieu . Hay cho !');
nhactext(40,24,10,'An motfim de tieptuc');

```

```

end;
{-----}
procedure solieu;
begin
  tenfile:='a:luc.bis';
  baohieu(40,24,12,'Dang doc solieu . Hay cho !');
  assign(fildl,tenfile);
  baohieu(40,24,15,'Dang doc solieu . Hay cho !');
  reset(fildl);
  baohieu(40,24,12,'Dang doc solieu . Hay cho !');
  readln(fildl,omega1);
  readln(fildl,n1);
  for i:=1 to 4 do readln(fildl,l[i]);
  baohieu(40,24,15,'Dang doc solieu . Hay cho !');
  for j:=0 to n1 do
  begin
    for i:=1 to 4 do readln(fildl,fi[i,j]);
    for i:=1 to 3 do
    begin
      readln(fildl,omega[i,j]);
      baohieu(40,24,12,'Dang doc solieu . Hay cho !');
      readln(fildl);
      readln(fildl,epsil[i,j]);
      baohieu(40,24,15,'Dang doc solieu . Hay cho !');
    end;
  end;
  baohieu(40,24,12,'Dang doc solieu . Hay cho !');
  for i:=2 to 3 do
  begin
    readln(fildl,ls[i]);
    readln(fildl,beta[i]);
    beta[i]:=beta[i]*pi/180;
  end;
  baohieu(40,24,15,'Dang doc solieu . Hay cho !');
  for i:=2 to 3 do
  begin
    readln(fildl,mk[i]);
    readln(fildl,js[i]);
  end;
  baohieu(40,24,12,'Dang doc solieu . Hay cho !');
  readln(fildl,lucP3);
  readln(fildl,lp3);
  readln(fildl,beta3);
  beta3:=beta3*pi/180;
  readln(fildl,momen3);

```

```

close(fildl);
baohieu(40,24,0,'Dang doc solieu . Hay cho !');
nhactext(40,24,10,'An motfim de tieptuc');
ch:=readkey;
clrscr;
textcolor(14);
solieucu;
writeln('          Toa do trong tam : ');
textcolor(11);
for i:=2 to 3 do
begin
  write('Khau ',i,' : ls[i,i] = ',ls[i]:6:3);
  dong:=wherey;
  cot:=wherex;
  gotoxy(cot+8,dong);
  writeln('beta[i,i] = ',(beta[i]*180/pi):6:2);
end;
textcolor(14);
writeln('          Cac thongso quan tinh : ');
textcolor(11);
for i:=2 to 3 do
begin
  write('Khau ',i,' : mk[i,i] = ',mk[i]:6:2);
  dong:=wherey;
  cot:=wherex;
  gotoxy(cot+8,dong);
  writeln('js[i,i] = ',js[i]:6:2);
end;
textcolor(14);
writeln('          Ngoailuc va momen ngoailuc : ');
textcolor(10);
writeln('1 - Ngoailuc dat tren khau 3 : ');
gotoxy(1,dong+3);
textcolor(11);
write('lucP3 = ',lucP3:6:2);
dong:=wherey;cot:=wherex;
gotoxy(cot+10,dong);
write('lp3 = ',lp3:6:3);
dong:=wherey;cot:=wherex;
gotoxy(cot+10,dong);
writeln('beta3 = ',(beta3*180/pi):6:2);
beta3:=beta3*pi/180;
textcolor(10);
writeln('2 - Momen ngoailuc dat tren khau 3 : ');
textcolor(11);

```

```

writeln('momen3 = ', momen3:6:2);
nhactext(40,24,10,'An motfim de tieptuc');
ch:=readkey;
end;
{-----}
begin
  closegraph;
  textmode(3);
  assign(fildl,'a:luc.bis');
  {$I-}reset(fildl) {$I+};
  Okf:=(IOresult=0);
  if not(Okf) then
    begin
      nhactext(40,24,10,'An fim F de tieptuc');
      repeat
        ch:=readkey;
        until upcase(ch)='F';
      end else
        begin
          nhactext(40,24,10,'Cho dulieu tu fim (F) hay tu dia (D) ');
          repeat
            ch:=readkey;
            until upcase(ch) in ['F','D'];
          end;
          clrscr;
          case upcase(ch) of
            'F':begin
              docvable;
              solieucu;
              solieuf;
            end;
            'D':solieud;
          end;
        end;
      {=====}
      {II.06}
      Procedure DLCDTHUC;
      var  beta : real;
           Okq : boolean;
      {-----}
      procedure fim;
      begin
        textcolor(12);
        writeln('Cac thongso donghoc :');
        Okq:=false;

```

```

repeat
  textcolor(11);
  writeln('Chieudai cac khau : ');
  for i:=1 to 4 do
  begin
    if i<>3 then
    begin
      write('l['i,'] = ');
      read(l[i]);
    end;
  end;
  Okq:= (l[1]+l[4]<=l[2]);
  if not(Okq) then
  begin
    textcolor(12);
    writeln('Khau1 khong quay duoc toan vong');
    writeln('Hay cho lai kichthuoc cac khau !');
  end;
until Okq;
textcolor(11);
write('Goc vitri cua phuongtruot : fi3 = ');
read(fi3);
fi3:=fi3*pi/180;
if l[4]>0 then
begin
  write('Goc giua gia va phuongtruot : beta = ');
  read(beta);
  fi4:=fi3+(beta*pi/180);
end else fi4:=0;
textcolor(12);
writeln('Toa do trongtam :');
textcolor(11);
write('ls2 = ');
readln(ls2);
write('beta2 = ');
readln(beta2);
beta2:=beta2*pi/180;
textcolor(12);
writeln('Cac thongso quantinh va luc :');
textcolor(10);
writeln('Khoiluong cac khau :');
textcolor(11);
for i:=2 to 3 do
begin
  write('mk['i,'] = ');

```

```

    readln(mk[i]);
end;
textcolor(10);
writeln('Momen quantinh cac khau :');
textcolor(11);
for i:=1 to 2 do
begin
    write('js['.i,'] = ');
    readln(js[i]);
end;
textcolor(10);
writeln('Luccan kythuat :');
textcolor(11);
write('lucp = ');
readln(lucp);
textcolor(12);
writeln('Vantoc goc trungbinh cua khaudan :');
textcolor(11);
write('omega1 = ');
readln(omega1);
textcolor(15);
write('So vitri canxet      : no = ');
readln(no);
assign(fildl,tenfile);
rewrite(fildl);
for i:=1 to 4 do if i<>3 then writeln(fildl,l[i]);
writeln(fildl,fi3);
writeln(fildl,fi4);
writeln(fildl,ls2);
writeln(fildl,beta2);
for i:=2 to 3 do writeln(fildl,mk[i]);
for i:=1 to 2 do writeln(fildl,js[i]);
writeln(fildl,lucp);
writeln(fildl,omega1);
writeln(fildl,no);
close(fildl);
end;
{-----}
procedure dia;
begin
    assign(fildl,tenfile);
    reset(fildl);
    for i:=1 to 4 do if i<>3 then readln(fildl,l[i]);
    readln(fildl,fi3);
    readln(fildl,fi4);

```

```

readln(fild1,ls2);
readln(fild1,beta2);
for i:=2 to 3 do readln(fild1,mk[i]);
for i:=1 to 2 do readln(fild1,js[i]);
readln(fild1,lucp);
readln(fild1,omegal);
readln(fild1,no);
close(fild1);
textcolor(12);
writeln('Cac thongso donghoc :');
textcolor(11);
writeln('Chieudai cac khau : ');
for i:=1 to 4 do
if i<>3 then writeln('l['i,'] = ',l[i]:6:2);
textcolor(11);
writeln('Cac goc vitri cua cac khau 3 va 4 : ');
writeln('fi3 = ',(fi3*180/pi):6:2);
writeln('fi4 = ',(fi4*180/pi):6:2);
textcolor(12);
writeln('Toa do trongtam :');
textcolor(11);
writeln('ls2 = ',ls2:6:2);
writeln('beta2 = ',(beta2*180/pi):6:2);
textcolor(12);
writeln('Cac thongso quantinh va luc :');
textcolor(10);
writeln('Khoiluong cac khau :');
textcolor(11);
for i:=2 to 3 do writeln('mk['i,'] = ',mk[i]:6:2);
textcolor(10);
writeln('Momen quantinh cac khau :');
textcolor(11);
for i:=1 to 2 do writeln('js['i,'] = ',js[i]:6:2);
textcolor(10);
writeln('Luccan kythuat :');
textcolor(11);
writeln('lucp = ',lucp:6:2);
textcolor(12);
writeln('Vantocgoc trungbinh cua khaudan :');
textcolor(11);
writeln('omegal = ',omegal:6:2);
textcolor(15);
writeln('So vitri canxet : no = ',no);
end;
{-----}

```

```

begin
  textcolor(11);
  tenfile:='a:dlgththe';
  textcolor(14);
  cau:=' Cho dulieu tu banfim hay doc tu dia(F/D)?';
  writeln('      ',cau);
  repeat
    ch:=readkey;
  until (upcase(ch)='F') or (upcase(ch)='D');
  clrscr;
  writeln('          Cac solieu cua baitinh ');
  case upcase(ch) of
    'F':fim;
    'D':dia;
  end;
  writeln('Hay cho tyle hinhve cocau ( >= 1000) : ');
  write('tyle = ');
  readln(tyle);
end;
{=====}
{II.07}
Procedure DLBRG;
{-----}
procedure ghislieu;
begin
  textcolor(14);
  cau:='Cac solieu cho truoc cua cap banhrang';
  writeln(bkt(18),cau);
  textcolor(11);
  cau:='Khoangcachtruc'+bkt(12)+' : A    =';
  writeln(cau, atam:6:2);
  writeln('Modun',bkt(21),' : m    =', modun:6:2);
  write('Goc apluc tren vongchia',bkt(3),' : alfa    =');
  writeln((alfa*180/pi):6:2);
  writeln('Tisotruyen',bkt(16),' : i12    =',i12:6:2);
end;
{-----}
procedure fim;
begin
  textcolor(14);
  cau:='Cac solieu cho truoc cua cap banhrang';
  writeln('      ',cau);
  writeln;
  textcolor(11);
  write('Khoangcachtruc',bkt(12),' : A    =');

```

```

readln(atam);
write('Modun',bkt(21),': m = ');
readln(modun);
write('Goc apluc tren vong chia : alfa = ');
readln(alfa);
alfa:=alfa*pi/180;
write('Tiso truyen',bkt(15),': i12 = ');
readln(i12);
tenfile:='a:dlbrang';
assign(fildl,tenfile);
rewrite(fildl);
writeln(fildl,atam);
writeln(fildl,modun);
writeln(fildl,alfa);
writeln(fildl,i12);
close(fildl);
end;
{-----}
procedure dia;
begin
  tenfile:='a:dlbrang';
  assign(fildl,tenfile);
  reset(fildl);
  readln(fildl,atam);
  readln(fildl,modun);
  readln(fildl,alfa);
  readln(fildl,i12);
  close(fildl);
  ghislieu;
end;
{-----}
begin
  cau:=' Cho solieu tu banfim (F) hay tu dia (D) ?';
  nhactext(20,24,12,cau);
  repeat
    ch:=readkey;
  until upcase(ch) in ['F','D'];
  clrscr;
  textcolor(11);
  if upcase(ch)='F' then fim;
  if upcase(ch)='D' then dia;
  nhactext(38,24,12,'An motfim de tieptuc');
  ch:=readkey;
  clrscr;
end;
END.

```

III. MỘT SỐ CHƯƠNG TRÌNH GIẢI CÁC BÀI TÍNH NGUYÊN LÝ MÁY

Phần này gồm các chương trình dùng để giải các bài tính Nguyên lý máy, được xây dựng dựa trên các thuật toán đã được trình bày trong tập 1 của giáo trình này [2]. Các chương trình này có sử dụng *UNIT NLMAY1* (các Function và Procedure chung) và *UNIT NLYMAY2* để gọi và nhập dữ liệu của bài tính, các dữ liệu này được gọi từ ổ A. Các chương trình được ký hiệu từ III.01 đến III.11, cụ thể như sau:

III.01 : *PROGRAM VTRI4KBL* : Dùng để giải bài tính vị trí và mô phỏng chuyển động của cơ cấu bốn khâu bản lề.

III.02 : *PROGRAM DHOC4KBL* : Giới thiệu một ví dụ về việc tính vận tốc và gia tốc của cơ cấu bốn khâu bản lề, sau khi đã giải xong bài tính vị trí. Các số liệu về vị trí của khâu bị dẫn được lấy từ kết quả của bài tính vị trí (file dữ liệu *VIDUBLE.PVA* của chương trình *VTRI4KBL*).

III.03 : *PROGRAM DHOCULIT* : Dùng để giải bài tính vị trí, mô phỏng chuyển động, tính vận tốc và gia tốc của cơ cấu cu lít.

III.04 : *PROGRAM VTRICULID* : Dùng để giải bài tính vị trí, mô phỏng chuyển động của cơ cấu culit đảo.

III.05 : *PROGRAM DHOCTQCT* : Dùng để giải bài tính vị trí, mô phỏng chuyển động, tính vận tốc và gia tốc của cơ cấu tay quay con trượt.

III.06 : *PROGRAM MPHGCCAU* : Dùng để giải bài tính vị trí, mô phỏng chuyển động của các cơ bốn khâu và sáu khâu.

III.07 : *PROGRAM LUC4KBL* : Dùng để xác định áp lực khớp động và mô men cân bằng của cơ cấu của bốn khâu bản lề. Các thông số động học và các giá trị gia tốc được lấy từ kết quả của bài tính phân tích động học cơ cấu bốn khâu (file dữ liệu *VIDUBLE.IUC* của chương trình *DHOC4KBL*).

III.08 : *PROGRAM DLGTHTHE* : Giới thiệu một ví dụ tính các đại lượng thay thế. Cơ cấu chính của máy được xét là một cơ cấu tay quay con trượt.

III.09 : *PROGRAM CHDGTHUC* : Giới thiệu một ví dụ về việc xác định vận tốc thực của khâu dẫn và mô men quán tính của bánh đà. Cơ cấu chính của máy được xét là một cơ cấu tay quay con trượt. Giá trị của các đại lượng thay thế đã được xác định từ trước bằng chương trình tính các đại lượng thay thế (file dữ liệu *JVAM* của chương trình *DLGTHTHE*).

III.10 : *PROGRAM CAMLAN* : Dùng để thiết kế cơ cấu cam cần đẩy và cần lắc đẩy lắn.

III.11 : *PROGRAM BANHRANG* : Dùng để thiết kế động học cặp bánh răng thân khai phẳng khi cho trước các thông số: khoảng cách tâm, mô đun, góc áp lực và tỉ số truyền.

```

{III.01}
PROGRAM VTRI4KBL;
uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;
var   n1,xo,yo,kv : integer;
      xx,yy : real;
      alfa : mat1r;
      xi,yi : mat2i;
      xr,yr,fi : mat2r;
      Okble1,Okble2,Okble3 : boolean;
{*****}
procedure modau;
begin
  clrscr;
  textcolor(15);
  path:='';
  dohoa;
  cleardevice;
  xmax:=getmaxx;ymax:=getmaxy;
  tylescr(tylescr);
  closegraph;
  textmode(3);
  textcolor(15);
end;
{=====}
procedure vitrble;
{-----}
procedure ble;
var   alfa : mat1r;
      lf : real;
{.....}
procedure tinhalfa(l1,l2,l3 : real; var alfaz : real);
var   aa,bb : real;
begin
  aa:=(l1*l1+l2*l2-l3*l3)/(2*l1*l2);
  bb:=sqrt(1-aa*aa);
  alfaz:=gocx(aa,bb);
end;
{.....}
procedure ble1;
var   hieuchinh : integer;
      deltafi3,deltafi1 : real;
begin
  alfa[0]:=fi[1,j]+pi-fi[4,j];
  lf:=sqrt(sqr(lf[1])+sqr(lf[4])-2*lf[1]*lf[4]*cos(alfa[0]));
  tinhalfa(lf,l[1],alfa[1]);
  tinhalfa(lf,l[2],l[3],alfa[2]);
  tinhalfa(lf,l[3],lf,alfa[3]);
  if odd(trunc(alfa[0]/pi) mod 2) then
    fi[2,j]:=alfa[1]-alfa[2]+fi[4,j]-pi

```

```

else fi[2,j]:=pi-alfa[1]-alfa[2]+fi[4,j] ;
fi[3,j]:=fi[2,j]+pi-alfa[3];
if j>0 then
begin
    deltafi3:=abs((fi[3,j]-fi[3,j-1]));
    hieuchinh:=round(deltafi3/(2*pi));
    fi[3,j]:=fi[3,j]+2*pi*hieuchinh;
end;
end;
{.....}
procedure ble2;
begin
    alfa[0]:=fi[1,j] -fi[4,j]+pi;
    lf:=sqrt(2*sqr(l[1])*(1-cos(alfa[0])));
    tinhalfa(l[2],l[3],lf,alfa[1]);
    if odd(trunc(alfa[0]/(2*pi)) mod 2) then
    begin
        fi[2,j]:=(fi[1,j]+alfa[1]+fi[4,j]-pi)/2;
        fi[3,j]:=fi[2,j]+pi-alfa[1];
    end else
    begin
        fi[2,j]:=(fi[1,j]-alfa[1]+fi[4,j]-pi)/2;
        fi[3,j]:=fi[2,j]+pi+alfa[1];
    end;
end;
{.....}
procedure ble3;
begin
    fi[2,j]:=pi-fi[4,j];fi[3,j]:=pi+fi[1,j];
end;
{.....}
begin
    fi[4,j]:=fi[4,0];
    if Okble1 then ble1;
    if Okble2 then ble2;
    if Okble3 then ble3;
end;
{-----}
begin
    Okble2:=false;Okble3:=false;Okble1:=false;
    Okble2:=((l[1]=l[4]) and (l[2]=l[3])) ;
    Okble3:=((l[2]=l[4]) and (l[1]=l[3])) ;
    Okble1:=not(Okble2) and not(Okble3);
    if Okble2 then n1:=2*no else
    if (Okble1 or Okble3) then n1:=no;
    for j:=0 to n1 do
    begin
        fi[1,j]:=j*defi;fi[4,j]:=fi4;
    ble;

```

```

end;
end;
{=====}
procedure td4k;
begin
  xo:=240;yo:=round(0.5*ymax);
  for j:=0 to n1 do
    begin
      xx:=xo;yy:=yo;
      xi[0,j]:=xo;yi[0,j]:=yo;
      xi[4,j]:=xo;yi[4,j]:=yo;
      for i:=1 to 3 do
        begin
          xx:=xx+(tyle*l[i]*cos(fi[i,j]));
          yy:=yy+(tyle*tylese*l[i]*sin(fi[i,j]));
          xr[i,j]:=xx;yr[i,j]:=yy;
          xi[i,j]:=round(xr[i,j]);yi[i,j]:=round(yr[i,j]);
        end;
      end;
    end;
  end;
{=====}
procedure veble(j,maukd,maugia,maukhop : integer);
begin
  for i:=0 to 3 do
    begin
      if i=3 then setcolor(maugia) else setcolor(maukd);
      line(xi[i,j],yi[i,j],xi[i+1,j],yi[i+1,j]);
      setcolor(maukhop);
      circle(xi[i,j],yi[i,j],4);
    end;
  end;
{=====}
procedure detenvtr(cau:ten);
begin
  setttextstyle(1,0,1);
  setcolor(10);
  setttextjustify(centertext,centertext);
  outtextxy(round(xmax/2),ymax-60,cau);
  setttextstyle(2,0,4);
  setcolor(14);
  outtextxy(round(xmax/2),ymax-35,'Baitinh vitri va mophong');
end;
{=====}
procedure mphgble(maukd,maugia,maukhop : integer);
begin
  for j:=0 to n1 do
    begin
      veble(j,maukd,maugia,maukhop);
      delay(100);
    end;
  end;
end;

```

```

    veble(j,1,1,1);
end;
veble(0,maukd,maugia,maukhop);
end;
{=====}
procedure nhvtrble;
begin
    assign(fildl,tenfile);
    rewrite(fildl);
    for i:=1 to 4 do writeln(fildl,l[i]);
    writeln(fildl,fi4);
    writeln(fildl,n1);
    for j:=0 to n1 do for i:=1 to 3 do writeln(fildl,fi[i,j]);
    close(fildl);
end;
{=====}
procedure chay;
begin
    repeat
        dlble;
        dohoa;
        vitrble;
        td4k;
        detenvtr('Co cau bon khau ban le');
        kv:=0;
        repeat
            kv:=kv+1;
            mphgble(14,12,15);
        until kv=sv;
        nhacgrap(300,ymax-20,15,'Chay chuong trinh nay nua hay thoi (N/T)');
        repeat
            ch:=readkey;
            closegraph;
            textmode(3);
        until upcase(ch) in ['N','T'];
        until upcase(ch)='T';
        if not(vidu) then
            begin
                textcolor(11);
                write('Co can nhap ketqua tinh vitri ');
                writeln('vao dia khong ? (C/K)');
                repeat
                    ch:=readkey;
                    clrscr;
                until upcase(ch) in ['C','K'];
                if upcase(ch)='C' then nhvtrble;
                nhactext(1,24,15,'An fim bat ky de dung chuongtrinh');
                ch:=readkey;
            end;

```

```

end;
{*****}
begin
  modau;
  chay;
end.

```

{III.02}

PROGRAM DHOC4KBL;

uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;

type mat2r = array[0..4,0..100] of real;

mat2i = array[0..6,0..100] of integer;

var nl,xo,yo,xvo,yvo,xxv,yyv,cury,curyo, xao,yao,xxa,yya : integer;

omega1,xx,yy,tylev,tylea : real;

xi,yi,xv,yv,xa,ya : mat2i;

fi,omega,epsil,vtoc,anx,any,atx,aty : mat2r;

tapcod:set of byte;

{*****}

procedure anho(mauz : integer);

var size : integer;

begin

setcolor(12);

rectangle(401,1,501,25);

setfillstyle(1,mauz);

floodfill(402,2,12);

size:=imagesize(401,1,501,25);

getmem(pter1,size);

getimage(401,1,501,25,pter1^);

putimage(401,1,pter1^,xorput);

end;

{=====}

procedure docvble;

begin

tenfile:='a:viduble.pva';

assign(fildl,tenfile);

reset(fildl);

for i:=1 to 4 do

begin

readln(fildl,l[i]);

l[i]:=l[i]*0.001;

end;

readln(fildl,fi4);

readln(fildl,n1);

for j:=0 to n1 do for i:=1 to 3 do readln(fildl,fi[i,j]);

close(fildl);

clrscr;

textcolor(14);

writeln(' Cac solieu cua bai tinh ');

```

writeln;
textcolor(11);
for i:=1 to 4 do writeln('l[i,i] = ',l[i]:7:3);
writeln('fi4 = ',(fi4*180/pi):6:2);
writeln('So vitri duoc tinh : n1 = ',n1:6);
repeat
  nhactext(1,24,13,'An fim (T) de tieptuc');
  ch:=readkey;
until upcase(ch)='T';
end;
{=====}
procedure td4k;
begin
  for j:=0 to n1 do
    begin
      xx:=xo;yy:=yo;
      xi[0,j]:=xo;yi[0,j]:=yo;
      xi[4,j]:=xo;yi[4,j]:=yo;
      for i:=1 to 3 do
        begin
          xx:=xx+(tyle*l[i]*cos(fi[i,j]));
          yy:=yy+(tyle*tylese*l[i]*sin(fi[i,j]));
          xi[i,j]:=round(xx);yi[i,j]:=round(yy);
        end;
      end;
    end;
  end;
  {=====}
  procedure omgble1(j : integer);
  var deltao,delta2,delta3:real;
      xq,yq:mat1r;
  begin
    for i:=1 to 3 do
      begin
        xq[i]:=l[i]*cos(fi[i,j]);
        yq[i]:=l[i]*sin(fi[i,j]);
      end;
      deltao:=dthuc2(-yq[2],-yq[3],xq[2],xq[3]);
      delta2:=dthuc2(yq[1],-yq[3],-xq[1],xq[3]);
      delta3:=dthuc2(-yq[2],yq[1],xq[2],-xq[1]);
      omega[2,j]:=omega[1,j]*delta2/deltao;
      omega[3,j]:=omega[1,j]*delta3/deltao;
    end;
    {=====}
  procedure vantoc;
  begin
    for j:=0 to n1 do
      begin
        omega[1,j]:=omega1;
        omgble1(j);
      end;
    end;
  end;

```

```

    for i:=1 to 3 do vtoc[i,j]:=l[i]*omega[i,j];
end;
end;
{=====}
procedure epsble1(j : integer);
var   bb2,bb3,deltao,delta2,delta3:real;
      xq,yq:mat1r;
begin
    bb2:=0;bb3:=0;
    for i:=1 to 3 do
    begin
        bb2:=bb2-sqr(omega[i,j])*l[i]*cos(fi[i,j]);
        bb3:=bb3+sqr(omega[i,j])*l[i]*sin(fi[i,j]);
    end;
    for i:=2 to 3 do
    begin
        xq[i]:=l[i]*cos(fi[i,j]);
        yq[i]:=l[i]*sin(fi[i,j]);
    end;
    deltao:=dthuc2(yq[2],yq[3],xq[2],xq[3]);
    delta2:=dthuc2(bb2,yq[3],bb3,xq[3]);
    delta3:=dthuc2(yq[2],bb2,xq[2],bb3);
    epsil[2,j]:=delta2/deltao;
    epsil[3,j]:=delta3/deltao;
end;
{=====}
procedure giatoc;
begin
    for j:=0 to n1 do
    begin
        epsil[1,j]:=0;
        epsble1(j);
        for i:=1 to 3 do
        begin
            anx[i,j]:=-sqr(omega[i,j])*l[i]*cos(fi[i,j]);
            any[i,j]:=-sqr(omega[i,j])*l[i]*sin(fi[i,j]);
            atx[i,j]:=-epsil[i,j]*l[i]*sin(fi[i,j]);
            aty[i,j]:=epsil[i,j]*l[i]*cos(fi[i,j]);
        end;
    end;
end;
{=====}
procedure vvble;
begin
    for j:=0 to n1 do
    begin
        xv[0,j]:=xvo;yv[0,j]:=yvo;
        xxv:=xvo;yyv:=yvo;
        for i:=1 to 3 do

```

```

begin
  xxv:=xxv-round(tylev*vtoc[i,j]*sin(fi[i,j]));
  yyv:=yyv+round(tylesc*tylev*vtoc[i,j]*cos(fi[i,j]));
  xv[i,j]:=xxv; yv[i,j]:=yyv;
end;
end;
end;
{=====}
procedure vable;
begin
  xxa:=xao; yya:=yao;
  j:=0;
  repeat
    xa[0,j]:=xao; ya[0,j]:=yao;
    i:=0; k:=0;
    repeat
      i:=i+1; k:=k+1;
      xxa:=xxa+round(tylea*anx[i,j]);
      yya:=yya+round(tylesc*tylea*any[i,j]);
      xa[k,j]:=xxa; ya[k,j]:=yya;
      k:=k+1;
      xxa:=xxa+round(tylea*atx[i,j]);
      yya:=yya+round(tylesc*tylea*aty[i,j]);
      xa[k,j]:=xxa; ya[k,j]:=yya;
    until i=3;
    j:=j+1;
  until j>n1;
end;
{=====}
procedure deten(mauz,cot,dong:integer;cau:ten);
begin
  setcolor(mauz);
  settextstyle(1,0,1);
  outtextxy(cot,dong,cau);
  settextstyle(0,0,1);
end;
{=====}
procedure hoadova(mauz,maukhop : integer );
{-----}
procedure vevitri(mauz,maukhop : integer);
begin
  for i:=0 to 3 do
    begin
      if mauz<>1 then setcolor(mauz+i) else setcolor(1);
      line(xi[i,j],yi[i,j],xi[i+1,j],yi[i+1,j]);
      setcolor(maukhop);
      circle(xi[i,j],yi[i,j],4);
    end;
  end;
end;

```

```

{-----}
procedure vevantoc(mauz : integer);
begin
  for i:=0 to 2 do
  begin
    if mauz<>1 then setcolor(mauz+i) else setcolor(1);
    line (xv[i,j],yv[i,j],xv[i+1,j],yv[i+1,j]);
  end;
  if mauz<>1 then setcolor(mauz+4) else setcolor(1);
  circle(xv[0,j],yv[0,j],3);
end;
{-----}
procedure vegiatoc(mauz : integer);
begin
  for k:=0 to 5 do
  begin
    if mauz<>1 then setcolor(mauz+k mod 2) else setcolor(1);
    line(xa[k,j],ya[k,j],xa[k+1,j],ya[k+1,j]);
  end;
  circle(xa[0,j],ya[0,j],3);
end;
{-----}
begin
  cot:=round(xmax/3);
  deten(14,xo,20,'Hoado vitri');
  deten(10,xvo-80,20,'Hoado vantoc');
  deten(13,xao-40,ymax-50,'Hoado giatoc');
  repeat
    j:=0;Okd:=true;
    setcolor(12);
    rectangle(5,ymax-30,120,ymax-5);
    repeat
      setcolor(12);
      outtextxy(xmax-125,ymax-25,'An T de thoi ve');
      str(j:2,textj);
      setcolor(14);
      outtextxy(15,ymax-20,'Vitri j : ');
      setcolor(12);
      outtextxy(15,ymax-20,' '+textj);
      vevitri(mauz,maukhop);
      vevantoc(mauz);
      vegiatoc(mauz);
      delaytn(10000);
      setcolor(15);
      outtextxy(xmax-125,ymax-25,'An T de thoi ve');
      if not(Okd) then
      begin
        setcolor(0);
        outtextxy(cot,ymax-10,'An fim bat ky de tam dung');
      end;
    until Okd;
  until Okd;
end;

```

```

setcolor(10);
outtextxy(cot,ymax-10,' ( An R de cho chay )');
ch:=readkey;
setcolor(0);
outtextxy(cot,ymax-10,' ( An R de cho chay )');
end;
if upcase(ch)='R' then Okd:=true;
vevitri(1,1);
vevantoc(1);
vegiatoc(1);
delay(50);
j:=j+1;
setcolor(0);
outtextxy(15,ymax-20,' '+textj);
until (j=n1) or ( upcase(ch)='T');
until upcase(ch)='T';
j:=0;
vevitri(mauz,maukhop);
vevantoc(mauz);
vegiatoc(mauz);
end;
{=====}
procedure bangqua;
var nb,xob,yob,buocx,buocy : integer;
{-----}
procedure bang;
begin
nb:=n1+6;xob:=35;
buocx:=round((xmax-xob)/7);
buocy:=round(ymax/nb);
yob:=3*buocy;
settextstyle(1,0,1);
setcolor(10);
outtextxy(200,0,'Cac ketqua cua baitinh');
settextstyle(0,0,1);
setcolor(15);
line(10,yob-buocy,xob+7*buocx,yob-buocy);
line(10,yob+buocy,xob+7*buocx,yob+buocy);
line(35,yob-buocy,35,ymax);
for i:=1 to 7 do
line(35+i*buocx,yob-buocy,35+i*buocx,ymax-15);
end;
{-----}
procedure ghi;
begin
setcolor(11);
outtextxy(22,yob,'j');
for i:=1 to 3 do
begin

```

```

    str(i,textj);
    outtextxy((i-1)*buocx+38,yob,' fi['+textj+' j]');
end;
for i:=4 to 5 do
begin
    str(i-2,textj);
    outtextxy((i-1)*buocx+38,yob,' omg['+textj+' j]');
end;
for i:=6 to 7 do
begin
    str(i-4,textj);
    outtextxy((i-1)*buocx+38,yob,' eps['+textj+' j]');
end;
for j:=0 to n1 do
begin
    setcolor(11);
    str(j:2,textj);
    outtextxy(14,yob+4+(j+1)*buocy,textj);
    setcolor(15);
    for i:=1 to 3 do
    begin
        str((fi[i,j]*180/pi):6:2,textj);
        outtextxy((i-1)*buocx+50,yob+4+(j+1)*buocy,textj);
    end;
    for i:=2 to 3 do
    begin
        str(omega[i,j]:6:2,textj);
        outtextxy((i+1)*buocx+50,yob+4+(j+1)*buocy,textj);
        str(epsil[i,j]:6:2,textj);
        outtextxy((i+3)*buocx+50,yob+4+(j+1)*buocy,textj);
    end;
end;
end;
{-----}
begin
    bang;
    ghi;
    nhacgrap(120,ymax-15,12,'An fim (M) de tro lai menu ');
    repeat
        ch:=readkey;
        until upcase(ch)='M';
    end;
    {=====}
    procedure dothi;
    var i,j,y1 : integer;
        xg : array[1..4] of integer;
        xf,yf,yom,yep : mat2i;
    {-----}
    procedure tendothi;

```

```

var k : integer;
    textk : string[3];
begin
    for k:=0 to 2 do
        begin
            setcolor(10+2*k);
            line(20,y1+180+20*k,80,y1+180+20*k);
            if k=0 then outtextxy(100,y1+175+20*k,'fi');
            if k=1 then outtextxy(100,y1+175+20*k,'omega');
            if k=2 then outtextxy(100,y1+175+20*k,'epsilon');
        end;
        settextstyle(2,0,5);
        setcolor(11);
        for k:=2 to 3 do
            begin
                str(k,textk);
                outtextxy(xg[k]+120,y1+130,'Khau '+textk);
                setcolor(11);
                outtextxy(xg[k]+round(xmax/2)-50,y1,'fi');
            end;
            settextstyle(1,0,1);
            setcolor(13);
            outtextxy(120,ymax-40,'Cac do thi vi tri,van toc goc,gia toc goc');
            settextstyle(0,0,1);
        end;
        {-----}
        procedure fiomep(i : integer);
        var j : integer;
        begin
            defi:=2*pi/n1;
            for j:=0 to n1 do
                begin
                    xf[i,j]:=xg[i]+round(j*defi*100/pi);
                    yf[i,j]:=y1+round(50*tylesc*fi[i,j]/pi);
                    yom[i,j]:=y1+round(15*tylesc*omega[i,j]);
                    yep[i,j]:=y1+round(1.5*tylesc*epsil[i,j]);
                end;
            end;
        {-----}
        procedure vedohti(i : integer);
        var j : integer;
            texti : string[2];
        begin
            setcolor(15);
            line(xg[i],y1,xg[i]+round(xmax/2)-50,y1);
            line(xg[i],y1-round(ymax/2)+70,xg[i],y1+round(ymax/2)-70);
            for j:=0 to n1-1 do
                begin
                    setcolor(10);

```

```

line(xf[i,j],yf[i,j],xf[i,j+1],yf[i,j+1]);
setcolor(12);
line(xf[i,j],yom[i,j],xf[i,j+1],yom[i,j+1]);
setcolor(14);
line(xf[i,j],yep[i,j],xf[i,j+1],yep[i,j+1]);
end;
end;
{-----}
begin
  for i:=2 to 3 do
  begin
    xg[i]:=10+(i-2)*round(xmax/2);yl:=round(ymax/2)-50;
    fiomep(i);
    vedohti(i);
  end;
  tendothi;
  nhacgrap(200,ymax-15,12,'An fim (M) de trolai menu ');
  repeat
    ch:=readkey;
  until upcase(ch)='M';
end;
{=====}
procedure nhapva;
begin
  dohoa;
  setcolor(10);
  outtextxy(150,200,'Dang nhap ketqua vao dia . Hay cho !');
  assign(fildl,'a:vidublex.luc');
  rewrite(fildl);
  writeln(fildl,omega1);
  writeln(fildl,n1);
  for i:=1 to 4 do writeln(fildl,f[i]);
  for j:=0 to n1 do
  begin
    fi[4,j]:=fi4;
    for i:=1 to 4 do writeln(fildl,fi[i,j]);
    for i:=1 to 3 do
    begin
      setcolor(15);
      outtextxy(150,200,'Dang nhap ketqua vao dia . Hay cho !');
      writeln(fildl,omega[i,j]);
      setcolor(12);
      outtextxy(150,200,'Dang nhap ketqua vao dia . Hay cho !');
      writeln(fildl,vtoc[i,j]);
      writeln(fildl,epsil[i,j]);
    end;
  end;
  close(fildl);
  setcolor(0);

```

```

outtextxy(150,200,'Dang nhap ketqua vao dia . Hay cho !');
cau:='Da nhapxong . An fim (T) de tieptuc !';
repeat
  nhacgrap(10,ymax-20,14,cau);
  ch:=readkey;
until upcase(ch)='T';
end;
{=====}
procedure bgmenu;
begin
  setcolor(12);
  rectangle(19,10,121,115);
  setfillstyle(1,7);
  floodfill(21,21,12);
  setcolor(0);
  rectangle(19,10,121,115);
  setcolor(1);
  outtextxy(24,20,'0.Doc ketqua');
  outtextxy(24,40,'1.Do thi');
  outtextxy(24,60,'2.Hoa do');
  outtextxy(24,80,'3.Ghi ketqua');
  outtextxy(24,100,'4. EXIT');
end;
{=====}
procedure menu;
begin
  tapcod:=[13,27,72,80];
  curyo:=0;
  putimage(20,10+20*curyo,pter1^,xorput);
  repeat
    cury:=curyo;
    repeat
      maphim;
    until codekb in tapcod;
    case codekb of
      72:if cury>0 then
        begin
          cury:=cury-1;
          putimage(20,10+20*curyo,pter1^,xorput);
          putimage(20,10+20*cury,pter1^,xorput);
          curyo:=cury;
        end;
      80:if cury<4 then
        begin
          cury:=cury+1;
          putimage(20,10+20*curyo,pter1^,xorput);
          putimage(20,10+20*cury,pter1^,xorput);
          curyo:=cury;
        end;
    end;
  end;
end;

```

```

    end;
until codekb in [27,13];
putimage(20,10+20*cury,pter1^,xorput);
if codekb=13 then
begin
    cleardevice;
    case cury of
        0:bangkqua;
        1:dothi;
        2:hoadova(11,15);
        3:nhapva;
    end;
end;
if cury=4 then codekb:=27;
end;
{=====}
procedure tinhhtoan;
begin
    xmax:=getmaxx;ymax:=getmaxy;
    tylescr(tylesc);
    omegal:=10;
    xo:=round(2*xmax/2.9);yo:=round(3*ymax/7);tyle:=500*tylesc;
    td4k;
    vantoc;
    giatoc;
end;
{=====}
procedure chbive;
begin
    xvo:=round(xmax/4);yvo:=round(ymax/4);
    tylev:=tyle*2/omegal;
    xao:=round(xmax/2.1);yao:=round(ymax*0.65);
    tylea:=tyle*1.8/sqr(omegal);
    vvble;
    vable;
end;
{=====}
procedure chonmenu;
begin
    repeat
        bgmenu;
        menu;
        cleardevice;
    until codekb=27;
end;
{=====}
procedure modau;
begin
    clrscr;

```

```

textcolor(15);
path:= ' ';
dohoa;
cleardevice;
docfile('a:pvable.cht');
closegraph;
end;
{*****}
begin
  modau;
  docvble;
  dohoa;
  anho(8);
  tinhtoan;
  chbive;
  chonmenu;
end.

```

```

{III.03}
PROGRAM DHOCULIT;
uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;
var kv,xo,yo,phuongan : integer;
    xx,yy : real;
    alfa,omega3,vtoct3,epsio : mat1r;
    xi,yi : mat2i;
    lt,xr,yr,fi,omega : mat2r;
{*****}
procedure vitrcul;
{-----}
procedure culit;
var aa,bb : real;
    alfa : mat1r;
begin
  alfa[0]:=fi[1,j]-fi[4,j];
  aa:=-lt[1,j]*cos(alfa[0])-lt[4,j];
  bb:=-lt[1,j]*sin(alfa[0]);
  alfa[1]:=gocx(aa,bb);
  fi[3,j]:=fi[4,j]+alfa[1];
  fi[2,j]:=fi[3,j];
  lt[3,j]:=aa/cos(alfa[1]);
end;
{-----}
begin
  defi:=2*pi/no;
  for j:=0 to no do
  begin
    for i:=1 to 4 do if (i<>3) then lt[i,j]:=l[i];
    fi[4,j]:=fi4;

```

```

fi[1,j]:=j*defi;
culit;
end;
end;
{=====}
procedure td4k;
begin
  for j:=0 to no do
    begin
      for i:=1 to 4 do if (i<>3) then lt[i,j]:=l[i];
      xx:=xo;yy:=yo;
      xi[0,j]:=xo;yi[0,j]:=yo;
      xi[4,j]:=xo;yi[4,j]:=yo;
      for i:=1 to 3 do
        begin
          xx:=xx+(tyle*lt[i,j]*cos(fi[i,j]));
          yy:=yy+(tyle*tyle*lt[i,j]*sin(fi[i,j]));
          xr[i,j]:=xx;yr[i,j]:=yy;
          xi[i,j]:=round(xr[i,j]);yi[i,j]:=round(yr[i,j]);
        end;
      end;
    end;
  end;
  {=====}
  procedure vecul(j,maukd,maugia,maukhop,mauct : integer);
  var dai,rong,xc,yc,x3,y3 : integer;
  {-----}
  procedure vectruot(xz,yz,mauct : integer);
  var dai,rong:integer;
      xct,yct : array[0..4] of integer;
      xrt,yrt : matlr;
  begin
    dai:=round(l[1]*tyle/5);rong:=round(l[1]*tyle/7);
    setcolor(mauct);
    xct[0]:=xz-dai;xct[1]:=xz+dai;xct[2]:=xct[1];
    xct[3]:=xct[0];xct[4]:=xct[0];yct[0]:=yz-rong;
    yct[2]:=yz+rong;yct[3]:=yct[2];yct[1]:=yct[0];
    yct[4]:=yct[0];
    for i:=0 to 4 do
      begin
        quayvarr(xz,yz,xct[i],yct[i],fi[3,j],xrt[i],yrt[i]);
        xct[i]:=round(xrt[i]);yct[i]:=round(yrt[i]);
      end;
    for i:=0 to 3 do line(xct[i],yct[i],xct[i+1],yct[i+1]);
    setfillstyle(1,0);
    floodfill(xz,yz,mauct);
  end;
  {-----}
  procedure vecanlac;
  begin

```

```

setcolor(maukd);
x3:=xi[3,j]-round(tyle*1.1*(l[4]+l[1])*cos(fi[3,j]));
y3:=yi[3,j]-round(tyle*tyle*1.1*(l[4]+l[1])*sin(fi[3,j]));
line(xi[3,j],yi[3,j],x3,y3);
end;
{-----}
begin
  vecanlac;
  vectruot(xi[1,j],yi[1,j],mauct);
  setcolor(maukd);
  line(xi[0,j],yi[0,j],xi[1,j],yi[1,j]);
  setcolor(maugia);
  line(xi[3,j],yi[3,j],xi[4,j],yi[4,j]);
  setcolor(maukhop);
  for i:=0 to 3 do circle(xi[i,j],yi[i,j],4);
end;
{=====}
procedure detenvtr(cau : ten);
begin
  settextstyle(1,0,1);
  setcolor(10);
  settextjustify(centertext,centertext);
  outtextxy(round(xmax/2),ymax-60,cau);
  settextstyle(2,0,4);
  setcolor(14);
  outtextxy(round(xmax/2),ymax-40,'Baitinh vitri va mophong');
end;
{=====}
procedure mphcul(maukd,maugia,maukhop,mauct : integer);
begin
  detenvtr('Cocau culit ');
  for j:=0 to no do
    begin
      vecul(j,maukd,maugia,maukhop,mauct);
      delay(100);
      if vidu then vecul(j,1,1,1,1)
      else vecul(j,0,0,0,0);
    end;
  vecul(0,maukd,maugia,maukhop,mauct);
end;
{=====}
procedure vecocau;
begin
  cleardevice;
  kv:=0;
  repeat
    kv:=kv+1;
    mphcul(14,12,15,11);
  until kv=sv;
end;

```

```

nhacgrap(300,ymax-15,12,'An fim bat ky de ket thuc ');
ch:=readkey;
end;
{=====}
procedure vtoculit;
var delta1,delta2,lt3:real;
    xq,yq:mat1r;
begin
    omega1:=10;
    omega[1,j]:=omega1;
    for j:=0 to no do
    begin
        for i:=1 to 3 do
        begin
            xq[i]:=lt[i,j]*cos(fi[i,j]);
            yq[i]:=lt[i,j]*sin(fi[i,j]);
        end;
        delta1:=dthuc2(yq[1],-yq[3],-xq[1],xq[3]);
        delta2:=dthuc2(cos(fi[3,j]),yq[1],sin(fi[3,j]),-xq[1]);
        lt3:=lt[3,j];
        vtoc3[j]:=omega1*delta1/lt3;
        omega3[j]:=omega1*delta2/lt3;
    end;
end;
{=====}
procedure gtoculit;
var delta2a,lt3:real;
    b1,b2,b11,b22:real;
begin
    for j:=0 to no do
    begin
        omega[1,j]:=omega1;
        b1:=0;b2:=0;
        for i:=1 to 3 do
        begin
            b1:=b1+sqr(omega[i,j])*lt[i,j]*cos(fi[i,j]);
            b2:=b2+sqr(omega[i,j])*lt[i,j]*sin(fi[i,j]);
        end;
        b11:=b1+2*omega3[j]*vtoc3[j]*sin(fi[3,j]);
        b22:=b2-2*omega3[j]*vtoc3[j]*cos(fi[3,j]);
        delta2a:=dthuc2(cos(fi[3,j]),b11,sin(fi[3,j]),b22);
        lt3:=lt[3,j];
        epsi3[j]:=delta2a/lt3;
    end;
end;
{=====}
procedure ketqua;
var nb,xob,yob,buocx,buocy,y1,xg1: integer;
    yv,ya:mat1i;

```

```

    xf,ys : mat2i;
}-----}
procedure bang;
begin
    nb:=no+6;xob:=35;
    buocx:=round((xmax/2-xob)/3);
    buocy:=round(ymax/nb);
    yob:=2*buocy;
    settextstyle(1,0,1);
    setcolor(10);
    outtextxy(50,5,'    Bang ket qua ');
    settextstyle(0,0,1);
    setcolor(15);
    line(10,yob-buocy+15,xob+7*buocx,yob-buocy+15);
    line(10,yob+buocy+10,xob+3*buocx,yob+buocy+10);
    line(35,yob-buocy+15,35,ymax-20);
    for i:=1 to 3 do
        line(35+i*buocx,yob-buocy+15,35+i*buocx,ymax-20);
    end;
}-----}
procedure ghi;
begin
    setcolor(11);
    outtextxy(22,yob+8,'j');
    outtextxy(45,yob+8,' fi[1,j]');
    outtextxy(buocx+35,yob+8,' omega[3,j]');
    outtextxy(2*buocx+35,yob+8,' epsil[3,j]');
    for j:=0 to no do
        begin
            setcolor(11);
            str(j:2,textj);
            outtextxy(14,yob+20+(j+1)*buocy,textj);
            setcolor(15);
            str((fi[1,j]*180/pi):6:2,textj);
            outtextxy(50,yob+20+(j+1)*buocy,textj);
            str(omega3[j]:6:2,textj);
            outtextxy(buocx+50,yob+20+(j+1)*buocy,textj);
            str(epsil3[j]:6:2,textj);
            outtextxy(2*buocx+50,yob+20+(j+1)*buocy,textj);
        end;
    end;
}-----}
procedure tendothi;
var textk : string[3];
begin
    for k:=0 to 2 do
        begin
            setcolor(10+2*k);
            line(480,y1+175+15*k,540,y1+175+15*k);

```

```

if k=0 then outtextxy(460,y1+170+15*k,'fi3');
if k=1 then outtextxy(460,y1+170+15*k,'om3');
if k=2 then outtextxy(460,y1+170+15*k,'ep3');
end;
settextstyle(2,0,5);
setcolor(11);
outtextxy(390,y1+175,'Khau 3 ');
outtextxy(xg1+round(no*defi*100/pi)+20,y1,'fi1');
settextstyle(1,0,1);
setcolor(13);
outtextxy(350,5,' Do thi vi tri, vantoc, giatoc');
settextstyle(0,0,1);
end;
{-----}
procedure toadove;
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    xf[1,j]:=xg1+round(j*defi*100/pi);
    ys[3,j]:=y1+300-round(50*tylesc*fi[3,j]);
    yv[j]:=y1+round(7*tylesc*omega3[j]);
    ya[j]:=y1+round(3*tylesc*epsi3[j]);
  end;
end;
{-----}
procedure vedoithi;
begin
  setcolor(15);
  line(xg1,y1,xg1+round(xmax/2)-100,y1);
  line(xg1,y1-round(ymax/2)+70,xg1,y1+round(ymax/2)-70);
  for j:=0 to no-1 do
  begin
    setcolor(10);
    line(xf[1,j],ys[3,j],xf[1,j+1],ys[3,j+1]);
    setcolor(12);
    line(xf[1,j],yv[j],xf[1,j+1],yv[j+1]);
    setcolor(14);
    line(xf[1,j],ya[j],xf[1,j+1],ya[j+1]);
  end;
end;
{-----}
begin
  cleardevice;
  xg1:=30+round(xmax/2);y1:=round(ymax/2)+20;
  bang;
  ghi;
  tendoithi;
  toadove;
  vedoithi;

```

```

nhacgrap(200,ymax-15,12,'An fim bat ky de ket thuc ');
end;
{=====}
procedure menu;
begin
  repeat
    nhacgrap(200,ymax-15,12,'Xem mo phong (M) hay ketqua (K) ');
    ch:=readkey;
  until (upcase(ch)='M') or (upcase(ch)='K');
  case upcase(ch) of
    'M':vecocau;
    'K':ketqua;
  end;
end;
{*****}
begin
  clrscr;
  dohoa;
  dlcul;
  dohoa;
  tylescr(tylescr);
  xmax:=getmaxx;ymax:=getmaxy;
  xo:=200;yo:=round(ymax/2);
  vitrcul;
  td4k;
  dohoa;
  vtoculit;
  gtoculit;
  menu;
end.

```

{III.04}

PROGRAM VTRICULD;

uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;

type tap = set of char;

var kv,xo,yo,phuongan : integer;

xx,yy : real;

alfa : mat1r;

xi,yi : mat2i;

lt,xr,yr,fi : mat2r;

textpa : ten;

{*****}

procedure vitrculd;

{-----}

procedure culd;

var aa,bb:real;

alfa :mat1r;

begin

```

lt[2,j]:=0;
for i:=2 to 4 do lt[i,j]:=lt[i,0];
fi[4,j]:=fi[4,0];
bb:=-lt[4,j]*sin(fi[4,j]-fi[1,j])/lt[3,j];
aa:=sqrt(1-bb*bb);
alfa[0]:=gocx(aa,bb);
fi[3,j]:=fi[1,j]+pi-alfa[0];
lt[1,j]:=-lt[3,j]*cos(fi[3,j]-fi[1,j])
-lt[4,j]*cos(fi[4,j]-fi[1,j]);
end;
{-----}
begin
  defi:=2*pi/no;
  for j:=0 to no do
    begin
      for i:=1 to 4 do if (i<>1) then lt[i,j]:=l[i];
      fi[4,j]:=fi4;
      fi[1,j]:=j*defi;
      culd;
    end;
  end;
  {=====}
  procedure td4k;
  begin
    for j:=0 to no do
      begin
        for i:=1 to 4 do if (i<>1) then lt[i,j]:=l[i];
        xx:=xo;yy:=yo;
        xi[0,j]:=xo;yi[0,j]:=yo;
        xi[4,j]:=xo;yi[4,j]:=yo;
        for i:=1 to 3 do
          begin
            xx:=xx+(tyle*lt[i,j]*cos(fi[i,j]));
            yy:=yy+(tyle*tylesc*lt[i,j]*sin(fi[i,j]));
            xr[i,j]:=xx;yr[i,j]:=yy;
            xi[i,j]:=round(xr[i,j]);yi[i,j]:=round(yr[i,j]);
          end;
        end;
      end;
    end;
    {=====}
    procedure veculd(j,maukd,maugia,maukhop,mauct : integer);
    var dai,rong,xc,yc,x3,y3 : integer;
    {-----}
    procedure vectruot(xz,yz,mauct : integer);
    var dai,rong : integer;
        xct,yct : array[0..4] of integer;
        xrt,yrt : array[0..4] of real;
    begin
      setcolor(mauct);

```

```

dai:=round(l[3]*tyle/9);rong:=round(l[3]*tyle/12);
xct[0]:=xz-dai;xct[1]:=xz+dai;xct[2]:=xct[1];
xct[3]:=xct[0];xct[4]:=xct[0];yct[0]:=yz-rong;
yct[2]:=yz+rong;yct[3]:=yct[2];yct[1]:=yct[0];
yct[4]:=yct[0];
for i:=0 to 4 do
begin
  quayvarr(xz,yz,xct[i],yct[i],fi[1,j],xrt[i],yrt[i]);
  xct[i]:=round(xrt[i]);yct[i]:=round(yrt[i]);
end;
for i:=0 to 3 do line(xct[i],yct[i],xct[i+1],yct[i+1]);
setfillstyle(1,0);
floodfill(xz,yz,mauct);
end;
{-----}
procedure vetquay;
begin
  setcolor(maukd);
  x3:=xi[0,j]+round(tyle*(l[3]+l[4])*cos(fi[1,j]));
  y3:=yi[0,j]+round(tyle*tyle*sc*(l[3]+l[4])*sin(fi[1,j]));
  line(xi[0,j],yi[0,j],x3,y3);
end;
{-----}
begin
  vetquay;
  vectruot(xi[1,j],yi[1,j],mauct);
  setcolor(maukd);
  line(xi[3,j],yi[3,j],xi[1,j],yi[1,j]);
  setcolor(maugia);
  line(xi[3,j],yi[3,j],xi[4,j],yi[4,j]);
  setcolor(maukhop);
  for i:=0 to 3 do circle(xi[i,j],yi[i,j],4);
end;
{=====}
procedure mphculd(maukd,maugia,maukhop,mauct : integer);
{-----}
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    veculd(j,maukd,maugia,maukhop,mauct);
    delay(100);
    veculd(j,1,1,1,1);
  end;
  veculd(0,maukd,maugia,maukhop,mauct);
end;
{=====}
procedure detenvtr(cau : ten);
begin
  settextstyle(1,0,1);

```

```

setcolor(10);
settextjustify(center,center);
outtextxy(round(xmax/2),ymax-60,cau);
settextstyle(2,0,4);
setcolor(14);
outtextxy(round(xmax/2),ymax-35,'Baitinh vitri va mophong');
end;
{=====}
procedure nvtrcud;
begin
  writeln('Ten file ketqua cua baitinh nay se la kvtrcud.i');
  writeln('( i la so thutu cua phuongan)');
  writeln('Hay cho i   ');
  write('i = ');
  readln(phuongan);
  str(phuongan, textpa);
  tenfile:='a:kvtrcud.'+textpa;
  textcolor(12);
  writeln(tenfile);
  assign(fildl,tenfile);
  rewrite(fildl);
  writeln(fildl,no);
  for i:=1 to 4 do if i<>1 then writeln(fildl,i[i]);
  writeln(fildl,i4);
  for j:=0 to no do
    begin
      for i:=1 to 3 do writeln(fildl,i[i,j]);
      writeln(fildl,i4[i,j]);
    end;
  close(fildl);
end;
{=====}
procedure modau;
begin
  clrscr;
  textcolor(15);
  path:=' ';
  dohoa;
  tylescr(tylescr);
  ymax:=getmaxy;xmax:=getmaxx;
  xo:=round(xmax/2);yo:=round(ymax/2)-50;
  closegraph;
  textmode(3);
  textcolor(15);
end;
{=====}
procedure chay;
begin
  repeat

```

```

dlculd;
dohoa;
vitrculd;
td4k;
detenvtr('Cocau culit dao');
kv:=0;
repeat
  kv:=kv+1;
  mphculd(14,12,15,11);
until kv=sv;
nhacgrap(300,ymax-20,15,'Co chay chuongtrinh nay nua hay thoi (N/T)?');
repeat
  ch:=readkey;
  closegraph;
  textmode(3);
until upcase(ch) in ['N','T'];
until upcase(ch)='T';
if not(vidu) then
begin
  textcolor(11);
  cau:=('Co nhap ketqua tinh vao dia khong ? C/K');
  writeln(cau);
  repeat
    ch:=readkey;
    until(upcase(ch)='C') or (upcase(ch)='K');
    if upcase(ch)='C' then nvtrculd;
  end;
end;
{*****}
begin
  modau;
  chay;
  cau:='An fim batky de ketthuc chuongtrinh';
  nhactext(1,24,12,cau);
end.

```

{III.05}

PROGRAM DHOCTQCT;

uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;

var kv,xo,yo,phuongan : integer;

xx,yy,epsil : real;

alfa,v3,a3,epsi2 : mat1r;

xi,yi : mat2i;

omega,lt,xr,yr,fi : mat2r;

{*****}

procedure vitrtqct;

{-----}

procedure tayqct;

```

var aa,bb : real;
    alfa : mat1r;
begin
    alfa[0]:=fi[1,j]-fi[3,j];
    alfa[2]:=fi[4,j]-fi[3,j];
    bb:=(lt[4,j]*sin(alfa[2])
        +lt[1,j]*sin(alfa[0]))/lt[2,j];
    aa:=sqrt(1-bb*bb);
    alfa[1]:=gocx(aa,bb);
    fi[2,j]:=alfa[1]+fi[3,j]+pi;
    lt[3,j]:=-lt[1,j]*cos(alfa[0])-lt[2,j]*cos(fi[2,j]-fi[3,j]);
end;
{-----}
begin
    defi:=2*pi/no;
    for j:=0 to no do
        begin
            fi[3,j]:=fi3;fi[4,j]:=fi4;
            for i:=1 to 4 do if i<>3 then lt[i,j]:=l[i];
                fi[1,j]:=j*defi;
            tayqct;
        end;
    end;
    {=====}
    procedure td4k;
    begin
        for j:=0 to no do
            begin
                xx:=xo,yy:=yo;
                xi[0,j]:=xo,yi[0,j]:=yo;
                xi[4,j]:=xo,yi[4,j]:=yo;
                for i:=1 to 3 do
                    begin
                        xx:=xx+(tyle*lt[i,j]*cos(fi[i,j]));
                        yy:=yy+(tyle*tyle*lt[i,j]*sin(fi[i,j]));
                        xr[i,j]:=xx,yr[i,j]:=yy;
                        xi[i,j]:=round(xr[i,j]);yi[i,j]:=round(yr[i,j]);
                    end;
                end;
            end;
        {=====}
        procedure vetqct(j,maukd,maugia,maukhop : integer);
        var dai,rong,xc,yc,x3,y3 : integer;
        {-----}
        procedure vectruot(xz,yz,mauct : integer);
        var dai,rong : integer;
            xct,yct : array[0..4] of integer;
            xrt,yrt : array[0..4] of real;
        begin

```

```

setcolor(mauct);
dai:=round(l[2]*tyle/12);rong:=round(l[2]*tyle/18);
xct[0]:=xz-dai;xct[1]:=xz+dai;xct[2]:=xct[1];
xct[3]:=xct[0];xct[4]:=xct[0];yct[0]:=yz-rong;
yct[2]:=yz+rong;yct[3]:=yct[2];yct[1]:=yct[0];
yct[4]:=yct[0];
for i:=0 to 4 do
begin
  quayvarr(xz,yz,xct[i],yct[i],fi3,xrt[i],yrt[i]);
  xct[i]:=round(xrt[i]);yct[i]:=round(yrt[i]);
end;
for i:=0 to 3 do
  line(xct[i],yct[i],xct[i+1],yct[i+1]);
  setfillstyle(1,0);
  floodfill(xz,yz,maukd);
end;
{-----}
procedure vegia;
begin
  setcolor(maugia);
  x3:=xo-round(tyle*l[4]*cos(fi4));
  y3:=yo-round(tyle*l[4]*sin(fi4));
  xc:=x3-round(tyle*(l[1]+l[2])*cos(fi3));
  yc:=y3-round(tyle*(l[1]+l[2])*sin(fi3));
  line(xi[0,j],yi[0,j],x3,y3);
  line(x3,y3,xc,yc);
end;
{-----}
begin
  vegia;
  vectruot(xi[2,j],yi[2,j],maukd);
  setcolor(maukd);
  for i:=0 to 1 do
    if i=2 then
      line(xi[i,j]-dai,yi[i,j],xi[i+1,j],yi[i+1,j])
    else
      line(xi[i,j],yi[i,j],xi[i+1,j],yi[i+1,j]);
  if l[4]<>0 then
  begin
    setcolor(maugia);
    line(xi[3,j],yi[3,j],xi[4,j],yi[4,j]);
  end;
  setcolor(maukhop);
  for i:=0 to 2 do circle(xi[i,j],yi[i,j],4);
end;
{=====}
procedure mphtqct(maukd,maugia,maukhop : integer);
{-----}
procedure vevet;

```

```

begin
  setcolor(1);
  line(xi[0,j],yi[0,j],xi[1,j],yi[1,j]);
  for i:=0 to 1 do circle(xi[i,j],yi[i,j],4);
end;
{-----}
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    vetqct(j,maukd,maugia,maukhop);
    delay(100);
    vetqct(j,1,1,1);
    if vidu then vevet;
  end;
  vetqct(0,maukd,maugia,maukhop);
end;
{=====}
procedure detenvtr(cau : ten);
begin
  setttextstyle(1,0,1);
  setcolor(10);
  setttextjustify(centertext,centertext);
  outtextxy(round(xmax/2),ymax-50,cau);
  setttextstyle(2,0,4);
  setcolor(14);
  cau:='Baitinh vitri va mophong';
  outtextxy(round(xmax/2),ymax-30,cau);
end;
{=====}
procedure vecocau;
begin
  cleardevice;
  detenvtr('Co cau tay quay con truot');
  kv:=0;
  repeat
    kv:=kv+1;
    mphtqct(14,12,15);
  until kv=sv;
  nhacgrap(350,ymax-15,12,'An fim bat ky de ket thuc');
  ch:=readkey;
end;
{=====}
procedure vtocqct;
var deltao,delta1,delta2:real;
    xq,yq:mat1r;
begin
  omega1:=10;
  omega[1,j]:=omega1;
  for j:=0 to no do

```

```

begin
  for i:=1 to 2 do
    begin
      xq[i]:=l[i]*cos(fi[i,j]);
      yq[i]:=l[i]*sin(fi[i,j]);
    end;
    deltao:=dthuc2(cos(fi[3,j]),-yq[2],sin(fi[3,j]),xq[2]);
    delta1:=dthuc2(yq[1],-yq[2],-xq[1],xq[2]);
    delta2:=dthuc2(cos(fi[3,j]),yq[1],sin(fi[3,j]),-xq[1]);
    omega[2,j]:=omega1*delta2/deltao;
    v3[j]:=omega1*delta1/deltao;
  end;
end;
{=====}
procedure gtocqt;
var deltaoa,delta1a,delta2a:real;
    b1,b2:real;xq,yq :mat1r;
begin
  for j:=0 to no do
    begin
      omega[1,j]:=omega1;
      b1:=0;b2:=0;
      for i:=1 to 2 do
        begin
          b1:=b1-sqr(omega[i,j])*l[i]*cos(fi[i,j]);
          b2:=b2+sqr(omega[i,j])*l[i]*sin(fi[i,j]);
        end;
      for i:=1 to 2 do
        begin
          xq[i]:=l[i]*cos(fi[i,j]);
          yq[i]:=l[i]*sin(fi[i,j]);
        end;
      deltaoa:=l[2]*cos(fi[2,j]-fi[3,j]);
      delta1a:=dthuc2(b1,-cos(fi[3,j]),b2,sin(fi[3,j]));
      delta2a:=dthuc2(yq[2],b1,xq[2],b2);
      epsi2[j]:=delta1a/deltaoa;
      a3[j]:=delta2a/deltaoa;
    end;
  end;
end;
{=====}
procedure ketqua;
var nb,xob,yob,buocx,buocy,y1,xg1 : integer;
    yv,ya:mat1i;
    xf,xs : mat2i;
{-----}
procedure bang;
begin
  nb:=no+6;xob:=35;
  buocx:=round((xmax/2-xob)/3);

```

```

buocy:=round(ymax/nb);
yob:=2*buocy;
settextstyle(1,0,1);
setcolor(10);
outtextxy(50,5,'    Bang ket qua ');
settextstyle(0,0,1);
setcolor(15);
line(10,yob-buocy+15,xob+7*buocx,yob-buocy+15);
line(10,yob+buocy+10,xob+3*buocx,yob+buocy+10);
line(35,yob-buocy+15,35,ymax-20);
for i:=1 to 3 do
  line(35+i*buocx,yob-buocy+15,35+i*buocx,ymax-20);
end;
{-----}
procedure ghi;
begin
  setcolor(11);
  outtextxy(22,yob+8,'j');
  outtextxy(45,yob+8,' fi[1,j]');
  outtextxy(buocx+35,yob+8,' v[3,j]');
  outtextxy(2*buocx+35,yob+8,' a[3,j]');
  for j:=0 to no do
    begin
      setcolor(11);
      str(j:2,textj);
      outtextxy(14,yob+20+(j+1)*buocy,textj);
      setcolor(15);
      str((fi[1,j]*180/pi):6:2,textj);
      outtextxy(50,yob+20+(j+1)*buocy,textj);
      str(v3[j]:6:2,textj);
      outtextxy(buocx+50,yob+20+(j+1)*buocy,textj);
      str(a3[j]:6:2,textj);
      outtextxy(2*buocx+50,yob+20+(j+1)*buocy,textj);
    end;
  end;
{-----}
procedure tendothi;
var textk : string[3];
begin
  for k:=0 to 2 do
    begin
      setcolor(10+2*k);
      line(480,y1+175+15*k,540,y1+175+15*k);
      if k=0 then outtextxy(460,y1+170+15*k,'s3');
      if k=1 then outtextxy(460,y1+170+15*k,'v3');
      if k=2 then outtextxy(460,y1+170+15*k,'a3');
    end;
  settextstyle(2,0,5);
  setcolor(11);

```

```

outtextxy(390,y1+175,'Khu 3 ');
outtextxy(xg1+round(no*defi*100/pi)+20,y1,' fi1');
settextstyle(1,0,1);
setcolor(13);
outtextxy(350,5,' Do thi vi tri,van toc,gia toc');
settextstyle(0,0,1);
end;
{-----}
procedure toadove;
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    xf[1,j]:=xg1+round(j*defi*100/pi);
    xs[2,j]:=y1-round(0.2*tylesc*(xi[2,0]-xi[2,j]));
    yv[j]:=y1+round(0.05*tylesc*v3[j]);
    ya[j]:=y1+round(0.01*tylesc*a3[j]);
  end;
end;
{-----}
procedure vedothi;
begin
  setcolor(15);
  line(xg1,y1,xg1+round(xmax/2)-100,y1);
  line(xg1,y1-round(ymax/2)+70,xg1,y1+round(ymax/2)-70);
  for j:=0 to no-1 do
  begin
    setcolor(10);
    line(xf[1,j],xs[2,j],xf[1,j+1],xs[2,j+1]);
    setcolor(12);
    line(xf[1,j],yv[j],xf[1,j+1],yv[j+1]);
    setcolor(14);
    line(xf[1,j],ya[j],xf[1,j+1],ya[j+1]);
  end;
end;
{-----}
begin
  cleardevice;
  xg1:=30+round(xmax/2);y1:=round(ymax/2)+20;
  bang;
  ghi;
  tendothi;
  toadove;
  vedothi;
  nhacgrap(200,ymax-15,12,'An fim bat ky de ket thuc ');
end;
{=====}
procedure menu;
begin
  nhacgrap(200,ymax-15,12,'Xem mo phong (M) hay ketqua (K) ');

```

```

repeat
  ch:=readkey;
until (upcase(ch)='M') or (upcase(ch)='K');
case upcase(ch) of
  'M':vecocau;
  'K':ketqua;
end;
end;
{*****}
begin
  clrscr;
  dohoa;
  dltqct;
  dohoa;
  tylescr(tylesc);
  xmax:=getmaxx;ymax:=getmaxy;
  xo:=200;yo:=round(ymax/2);
  vitrtqct;
  td4k;
  dohoa;
  vtocqct;
  gtocqct;
  menu;
end.

```

```

{III.06}
PROGRAM MPHGCCAU;
uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;
const n=50;
type matlim=array[0..n] of integer;
      mat1rm=array[0..n] of real;
      mat2im=array[0..8,0..n] of integer;
      mat2rm=array[0..8,0..n] of real;
      mat3r=array[0..8,0..n,1..2] of real;
      mat3i=array[1..6,0..n,0..4] of integer;
      ten=string[160];
      contro=pointer;
      bang=record
        rlamda,rmuy:mat1rm;
        thso,rl,rfi,rx,ry,rxm,rym:mat2rm;
      end;
      tap=set of byte;
var
  yb,trs,result,vidu,buocx,          dong,i,j,k,m,jo,ic,id,kc,sc,qq,xo,yo,xoo,yoo,nj,xa,ya,xb,
  buocy,socot,sodong,khaunoi,sokhau,cach, xmax,ymax :integer;
  tapi,tapl,tapfi:array[0..8] of tap;
  tapx:tap;
  textvidu:string[32];

```

```

dulieu:bang;
hinh1,hinh2,hinh3:contro;
filed1:file of bang;
tenfile,texti,textj,textk,caut,cau:ten;
rtj,rnj,xx,yy,le,fi,tyle,tylesc,defi,cao,rong,thsoo:real;
lamda,muy,fio:mat1rm;
l,fi,x,y,xm,ym:mat2rm;
phgan,khau,khaub,phuong,phuongb,kieucocau:matlim;
xr,yr,xmr,ymr:mat2im;
xct,yct:mat3i;
ch:char;
lientuc,OKvidu,dangchay,landau:boolean;
Oktruot:array[1..2] of boolean;
path:string[72];
{*****}
procedure Oxyhve(iz,nz:integer;xvao,yvao:mat1rm;var xra,yra:matlim);
var i:integer;
begin
  for i:=iz to nz do
  begin
    xra[i]:=xo+round(tyle*xvao[i]);
    yra[i]:=round(tylesc*(yo+tyle*yvao[i]));
  end;
end;
{=====}
function iq(i,ic:integer):integer;
begin
  iq:=(ic-1)*4+i;
end;
{=====}
procedure khung(maukhung,maunen,xz1,yz1,xz2,yz2:integer);
begin
  setcolor(maukhung);
  rectangle(xz1,yz1,xz2,yz2);
  setfillstyle(1,maunen);
  floodfill(xz1+1,yz1+1,maukhung);
end;
{=====}
procedure chuphinh(var hinhchup:contro;xz1,yz1,xz2,yz2:integer);
var size:integer;
begin
  size:=imagesize(xz1,yz1,xz2,yz2);
  getmem(hinhchup,size);
  getimage(xz1,yz1,xz2,yz2,hinhchup^);
  putimage(xz1,yz1,hinhchup^,xorput);
end;
{=====}
procedure khgnhay(hinhchup:contro;xoz,yoz:integer);
begin

```

```

repeat
  putimage(xoz,yoz,hinhchup^,xorput);
  delay(50);
  putimage(xoz,yoz,hinhchup^,xorput);
  delay(50);
until keypressed;
end;
{=====}
procedure vietchu(kieuchu,cochu,mauchu,xz,yz:integer;cau:ten);
begin
  settextstyle(kieuchu,0,cochu);
  setcolor(mauchu);
  outtextxy(xz,yz,cau);
end;
{=====}
procedure vietso(soz:real;kieuchu,cochu,mau,xz,yz:integer);
var textso:ten;
begin
  str(soz:3:0,textso);
  vietchu(kieuchu,cochu,mau,xz,yz,textso);
end;
{=====}
procedure xoa(xz1,yz1,xz2,yz2:integer);
begin
  setfillstyle(1,0);
  bar(xz1,yz1,xz2,yz2);
end;
{=====}
procedure docso(mau,xoz,yoz:integer;var soz:real);
var cau:ten;
    chu:char;
    k,result1,result2,valchu:integer;
    Ok,chuacham,doc:boolean;
    chuo:array[1..24] of char;
begin
  doc:=true;chuacham:=true;k:=0;cau:="";
  while doc do
  begin
    maphim;
    setcolor(mau);
    if codekb=13 then doc:=false else
    begin
      chu:=chr(codekb);
      Ok:=(chu='.') and chuacham;
      val(chu,valchu,result1);
      if (result1=0) or (codekb=45) then
      begin
        k:=k+1;
        chuo[k]:=chu;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

    cau:=cau+chu;
    outtextxy(xoz,yoz,chu);
    xoz:=xoz+8;
end;
if Ok then
begin
    k:=k+1;
    chuo[k]:=chu;
    cau:=cau+chu;
    outtextxy(xoz,yoz,chu);
    xoz:=xoz+8;
    chuacham:=false;
end;
end;
if codekb=8 then
begin
    xoz:=xoz-8;
    setcolor(0);
    outtextxy(xoz,yoz,chuo[k]);
    delete(cau,length(cau),1);
    k:=k-1;
    chuacham:=true;
end;
end;
val(cau,soz,result2);
end;
{=====}
procedure vietsl(mau,cotz,dongz:integer;var ptz:real);
begin
    khgnhay(hinh2,xoo+(cotz-1)*buocx+cach,yoo+(dongz-1)*buocy+3);
    docso(11,xoo+(cotz-1)*buocx+cach+25,yoo+(dongz-1)*buocy+13,ptz);
end;
{=====}
procedure cbnen;
begin
    khung(10,0,xa,ya,xb,yb);
    chuphinh(hinh1,xa,ya,xb,yb);
    khung(12,0,xa+cach,ya+3,xb-3,yb-3);
    chuphinh(hinh2,xa+cach,ya+3,xb-3,yb-3);
    khung(13,15,xa+cach,ya,xb,yb);
    chuphinh(hinh3,xa+cach,ya,xb,yb);
end;
{=====}
procedure deten;
begin
    vietchu(1,0,10,xoo+buocx+140,25,' Co cau phang ');
    vietchu(1,1,14,xoo+buocx+150,65,' Mo phong chuyen dong ');
    setcolor(15);
    line(10,320,640,320);

```

```

end;
{=====}
procedure manhinhh(sococau,socot,sodong:integer);
var  kx:matlim;
begin
  for i:=1 to 2 do kx[i]:=1;
  for i:=3 to sodong do kx[i]:=socot;
  for i:=1 to (sococau*3+1) do for k:=1 to kx[i] do
    putimage(xoo+(k-1)*buocx,yoo+(i-1)*buocy,hinh1^,normalput);
    vietchu(0,1,14,xoo,yoo+15,' So khau : ');
  for i:=1 to sc do
    begin
      qq:=i*2+(i+1)mod 2;
      if i=1 then texti:=' Co cau 1 ' else texti:=' Co cau 2 ';
      vietchu(0,1,14,xoo,yoo+(qq-1)*buocy+15,texti+':');
      qq:=3*i;
      if i=2 then
        begin
          vietchu(0,1,14,xoo+buocx,yoo+4*buocy+15,' Khau noi :');
          vietchu(0,1,14,xoo+2*buocx,yoo+4*buocy+15,' l khau noi:');
          vietchu(0,1,14,xoo+3*buocx,yoo+4*buocy+15,' Goc noi : ');
        end;
      for k:=i to 4 do
        begin
          str(iq(k,i),textk);
          vietchu(0,1,14,xoo+(k-1)*buocx,yoo+(qq-1)*buocy+15,' l['+textk+'.0] :');
        end;
      qq:=3*i+1;
      for k:=3 to 4 do
        begin
          str(iq(k,i),textk);
          vietchu(0,1,14,xoo+(k-1)*buocx,yoo+(qq-1)*buocy+15,' fi['+textk+'.0] :');
        end;
      vietchu(0,1,14,xoo,yoo+(qq-1)*buocy+15,' Phuong an :');
    end;
  end;
end;
{=====}
procedure vemhinh;
begin
  sc:=sokhau div 3;
  socot:=4;sodong:=1+sc*3;
  manhinhh(sc,socot,sodong);
  str(sokhau,texti);
  setcolor(11);
  vietchu(0,1,14,xoo+cach-6,yoo+15,' : '+texti);
end;
{=====}
procedure curs(sodong,socot,buocxz,buocy:integer;var cotz,dongz:integer);
var  cotmin,dongmin:integer;

```

```

begin
  cotmin:=1;dongmin:=1;
  if landau then
    begin
      cotz:=socot;dongz:=sodong;
    end;
  putimage(xoo+(cotz-1)*buocxz+cach,yoo+(dongz-1)*buocyx,hinh3^,xorput);
  repeat
    maphim;
    landau:=false;
    case codekb of
      72:if dongz>dongmin then dongz:=dongz-1;
      75:if cotz>cotmin then cotz:=cotz-1;
      77:if cotz<socot then cotz:=cotz+1;
      80:if dongz<sodong then dongz:=dongz+1;
    end;
    if codekb<>27 then
      putimage(xoo+(cotz-1)*buocxz+cach,yoo+(dongz-1)*buocyx,hinh3^,xorput);
  until (codekb=13) or (codekb=27);
end;
{=====}
procedure taplg;
begin
  tapl[1]:=[1,2,3,4];tapl[2]:=[1,4];tapl[3]:=[3,4];
  tapl[4]:=[1,4];tapl[5]:=[4];tapl[6]:=[1,2,4];
  for i:=1 to 5 do tapfi[i]:=[4];
end;
{=====}
procedure tapchua;
begin
  tapi[1]:=[1];tapi[2]:=[1];
  for ic:=1 to sc do
    begin
      qq:=3*ic;
      tapi[qq]:=tapl[kieucocau[ic]];
      qq:=3*ic+1;
      tapi[qq]:=tapfi[kieucocau[ic]];
      if (kieucocau[ic]=2) or (kieucocau[ic]=6) then tapi[qq]:=tapi[qq]+[1];
      if sc=2 then
        begin
          if (kieucocau[ic]<>5) and (kieucocau[ic]<>3) then tapi[5]:=[2..4]
          else tapi[5]:=[2,4];
          tapi[6]:=tapl[kieucocau[ic]]-[1];
          end else if sc=1 then tapi[5]:=[];
        end;
      end;
end;
{=====}
procedure chonkieu;
begin

```

```

    qq:=ic*2+(ic+1)mod 2;
    vietsl(11,1,qq,dulieu.thso[qq,1]);
    kieuococau[ic]:=round(dulieu.thso[qq,1]);
end;
{=====}
procedure chothso;
begin
    for ic:=1 to sc do
    begin
        if (ic=2) then for k:=2 to 4 do
            if (kieuococau[ic]<>5) and (kieuococau[ic]<>3)
            then vietsl(11,k,5,dulieu.thso[5,k])
            else if k<>3 then vietsl(11,k,5,dulieu.thso[5,k]);
            qq:=3*ic;
            for k:=ic to 4 do if k in tapl[kieuococau[ic]] then
                vietsl(11,k,qq,dulieu.thso[qq,k]);
            thsoo:=dulieu.thso[qq,4];
            qq:=3*ic+1;
            if (kieuococau[ic]=6) then
            begin
                if (thsoo=0) then vietsl(11,3,qq,dulieu.thso[qq,3])
                else for k:=3 to 4 do vietsl(11,k,qq,dulieu.thso[qq,k]);
            end else for k:=3 to 4 do if k in tapfi[kieuococau[ic]]
                then vietsl(11,k,qq,dulieu.thso[qq,k]);
            if (kieuococau[ic]=2) or (kieuococau[ic]=6) then
                vietsl(11,1,qq,dulieu.thso[qq,1]) ;
            end;
        end;
    end;
{=====}
procedure chuathso(kc,id:integer);
begin
    xoa(xoo+(kc-1)*buocx+cach+1,yoo+(id-1)*buocy+4,xoo+kc*buocx-4,yoo+id*buocy-
4);
    vietsl(11,kc,id,dulieu.thso[id,kc]);
    landau:=false;
end;
{=====}
procedure quythso;
begin
    with dulieu do
    begin
        sokhau:=round(thso[1,1]);
        for ic:=1 to sc do
        begin
            kieuococau[ic]:=round(thso[2*ic+(ic+1)mod 2,1]);
            if ic=2 then
            begin
                khaunoi:=round(thso[5,2]);
                le:=(thso[5,3]);
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

    fie:=(thso[5,4]*pi/180);
end;
qq:=3*ic;
for k:=ic to 4 do if k in tapl[kieucocau[ic]]
then l[iq(k,ic),0]:=thso[qq,k];
thsoo:=thso[qq,4];
qq:=3*ic+1;
if (kieucocau[ic]=6) then
begin
    if (thsoo=0) then fi[iq(3,ic),0]:=thso[qq,3]*pi/180 else
    for k:=3 to 4 do fi[iq(k,ic),0]:=thso[qq,k]*pi/180;
end else fi[iq(4,ic),0]:=thso[qq,4]*pi/180;
if (kieucocau[ic]=6) or (kieucocau[ic]=2) then
    phgan[ic]:=round(thso[qq,1]);
end;
end;
end;
{=====}
procedure dlfim;
begin
    assign(filedl,tenfile);
    rewrite(filedl);
    xoa(10,321,640,345);
    vietchu(0,1,11,20,330,'Cho du lieu bang ban fim.An fim bat ky de ket thuc. ');
    vietchu(0,1,14,xoo-15,yoo+15,'So khau ');
    with dulieu do
    begin
        vietsl(11,1,1,thso[1,1]);
        sokhau:=round(thso[1,1]);
    end;
    xoa(xoo-15,yoo+15,xoo+100,yoo+40);
    vemhinh;
    for ic:=1 to sc do chonkieu;
    chothso;
    vietchu(0,1,0,20,330,'Cho du lieu bang ban fim.An fim bat ky de ket thuc. ');
    write(filedl,dulieu);
    close(filedl);
end;
{=====}
procedure dldia;
begin
    assign(filedl,tenfile);
    reset(filedl);
    read(filedl,dulieu);
    with dulieu do
    begin
        sokhau:=round(thso[1,1]);
        sc:=sokhau div 3;
        vemhinh;

```

```

xoa(xoo+round(buocx/1.55),yoo+15,xoo+buocx-3,yoo+buocy-3);
vietso(sokhau*1.0,0,1,14,xoo+round(buocx/1.55),yoo+15);
for ic:=1 to sc do
begin
  qq:=ic*2+(ic+1)mod 2;
  kieuococau[ic]:=round(thso[qq,1]);
  str(kieuococau[ic],texti);
  vietchu(0,1,14,xoo+round(buocx/1.55)+15,yoo+(qq-1)*buocy+15,texti);
end;
for ic:=1 to sc do
begin
  if ic=2 then
  begin
    vietso(thso[5,2],0,1,14,xoo+buocx+round(buocx/1.55), yoo+4*buocy+15);
    if (kieuococau[ic]<>5) and (kieuococau[ic]<>3) then
    vietso(thso[5,3],0,1,14,xoo+2*buocx+round(buocx/1.55), yoo+4*buocy+15)
    vietso(thso[5,4],0,1,14,xoo+3*buocx+round(buocx/1.55), yoo+4*buocy+15);
  end;
  qq:=3*ic;
  for k:=ic to 4 do if k in tapl[kieuococau[ic]] then
  vietso(thso[qq,k],0,1,14,xoo+(k-1)*buocx+round(buocx/1.55),          yoo+(qq-
1)*buocy+15);
  thsoo:=thso[qq,4];
  qq:=3*ic+1;
  if (kieuococau[ic]=6) then
  begin
    if (thsoo=0) then vietso(thso[qq,3],0,
                                1,14,xoo+2*buocx+round(buocx/1.55), yoo+(qq-1)*buocy+15)
    else begin
      for k:=3 to 4 do
        vietso(thso[qq,k],0,1,14,xoo+(k-1)*buocx+round(buocx/1.55),          yoo+(qq-
1)*buocy+15);
      end;
    end else
    for k:=3 to 4 do
    if k in tapfi[kieuococau[ic]] then
    vietso(thso[qq,k],0,1,14,xoo+(k-1)*buocx+round(buocx/1.55),          yoo+(qq-
1)*buocy+15);
    if (kieuococau[ic]=2) or (kieuococau[ic]=6) then
    vietso(thso[qq,1],0,1,14,xoo+round(buocx/1.55), yoo+(qq-1)*buocy+15);
  end;
end;
close(filedl);
end;
{=====}
procedure chuade;
begin
  assign(filedl,tenfile);
  reset(filedl);

```

```

    if k in tapl[kieucocau[ic]] then
        vietsl(11,k,qq,thso[qq,k]);
    end;
    thsoo:=thso[qq,4];
    qq:=(3*ic+1);
    if kieucocau[ic]=6 then
        begin
            if thsoo=0 then vietsl(11,3,qq,thso[qq,3])
            else for k:=3 to 4 do vietsl(11,k,qq,thso[qq,k]);
            end else for k:=3 to 4 do
            if k in tapfi[kieucocau[ic]] then vietsl(11,k,qq,thso[qq,k]);
            if (kieucocau[ic]=2) or (kieucocau[ic]=6) then
                vietsl(11,1,qq,thso[qq,1]);
            tapchua;
            end;
            landau:=true;
            if (id=5) and (kc in tapi[5]) then chuathso(kc,id);
            if id in [3,6] then
                begin
                    ic:=round(id/3);
                    if kc in tapi[id] then
                        begin
                            chuathso(kc,id);
                            if (kc=4) and (kieucocau[ic]=6) then
                                begin
                                    if dulieu.thso[id,4]<>0 then chuathso(4,id+1)
                                    else xoa(xoo+(kc-1)*buocx+cach+1,yoo+(id)*buocy+4,
                                                xoo+kc*buocx-4,yoo+(id+1)*buocy-4);
                                end;
                            end;
                        end;
                    end;
                    if id in [4,7] then
                        begin
                            ic:=round((id-1)/3);
                            if kc in tapi[id] then chuathso(kc,id);
                        end;
                    end;
                end;
            end;
            seek(filedl,0);
            write(filedl,dulieu);
            close(filedl);
        end;
    {=====}
    procedure dlkt;
    begin
        taplg;
        xoo:=20;yoo:=40;j:=0;
        xa:=10;ya:=10;xb:=155;yb:=40;

```

```

buocx:=xb-xa;buocy:=yb-ya;cach:=round(buocx/1.65);
cbnen;
deten;
if OKvidu then
begin
  str(vidu,textvidu);
  tenfile:='a:vidu'+textvidu;
  dldia;
  xoa(10,321,640,345);
  nhacgrap(120,ymax-140,12,' An mot fim de tiep tục');
  xoa(10,321,640,345);
  ch:=readkey;
end else
begin
  tenfile:='a:sltucho';
  nhacgrap(120,ymax-20,12,' Cho du lieu bang ban fim hay dia (F/D) ?');
  xoa(10,321,640,345);
  repeat
    ch:=readkey;
  until (upcase(ch)='F') or (upcase(ch)='D');
  case upcase(ch) of
    'F':dlfim;
    'D':dldia;
  end;
  tapchua;
  xoa(10,321,640,345);
  nhacgrap(120,ymax-140,12,' Co muon thay doi du lieu khong (C/K) ?');
  xoa(10,321,640,345);
  repeat
    maphim;
  until (codekb=99) or (codekb=107);
  if codekb=99 then chuade;
end;
quythso;
end;
{=====}
procedure tinhalfa(l1,l2,l3:real;var alfaz:real);
var aa,bb:real;
begin
  aa:=(l1*l1+l2*l2-l3*l3)/(2*l1*l2);
  bb:=sqrt(1-aa*aa);
  alfaz:=gocx(aa,bb);
end;
{=====}
procedure ble(ic:integer;var lz,fiz:mat2rm);
var ss:integer;
  alfa:mat1rm;
  lf:real;
{-----}

```

```

procedure ble1(ic:integer);
var hieuchinh:integer;
    deltafi3,deltafi1:real;
begin
    alfa[0]:=fiz[iq(1,ic),j]+pi-fiz[iq(4,ic),j];
    lf:=sqrt(sqr(lz[iq(1,ic),j])+sqr(lz[iq(4,ic),j])
        -2*lz[iq(1,ic),j]*lz[iq(4,ic),j]*cos(alfa[0]));
    tinhalfa(lz[iq(4,ic),j],lf,lz[iq(1,ic),j],alfa[1]);
    tinhalfa(lf,lz[iq(2,ic),j],lz[iq(3,ic),j],alfa[2]);
    tinhalfa(lz[iq(2,ic),j],lz[iq(3,ic),j],lf,alfa[3]);
    ss:=trunc(alfa[0]/pi) mod 2;
    if ss=0 then fiz[iq(2,ic),j]:=pi-alfa[1]-alfa[2]+fiz[iq(4,ic),j] else
    if ss=1 then fiz[iq(2,ic),j]:=alfa[1]-alfa[2]+fiz[iq(4,ic),j]-pi;
    fiz[iq(3,ic),j]:=fiz[iq(2,ic),j]+pi-alfa[3];
    if j>0 then
        begin
            deltafi3:=abs((fiz[iq(3,ic),j]-fiz[iq(3,ic),j-1]));
            hieuchinh:=round(deltafi3/(2*pi));
            fiz[iq(3,ic),j]:=fiz[iq(3,ic),j]+2*pi*hieuchinh;
        end;
    end;
    {-----}
procedure ble2(ic:integer);
begin
    alfa[0]:=fiz[iq(1,ic),j] -fiz[iq(4,ic),j]+pi;
    lf:=sqrt(2*sqr(lz[iq(1,ic),j])*(1-cos(alfa[0])));
    tinhalfa(lz[iq(2,ic),j],lz[iq(3,ic),j],lf,alfa[1]);
    ss:=trunc(alfa[0]/(2*pi)) mod 2;
    if ss=0 then
        begin
            fiz[iq(2,ic),j]:=(fiz[iq(1,ic),j]-alfa[1]+fiz[iq(4,ic),j]-pi)/2;
            fiz[iq(3,ic),j]:=fiz[iq(2,ic),j]+pi+alfa[1];
        end else if ss=1 then
        begin
            fiz[iq(2,ic),j]:=(fiz[iq(1,ic),j]+alfa[1]+fiz[iq(4,ic),j]-pi)/2;
            fiz[iq(3,ic),j]:=fiz[iq(2,ic),j]+pi-alfa[1];
        end;
    end;
    {-----}
procedure ble3(ic:integer);
begin
    fiz[iq(2,ic),j]:=pi-fiz[iq(4,ic),j];fiz[iq(3,ic),j]:=pi+fiz[iq(1,ic),j];
end;
    {-----}
begin
    for i:=1 to 4 do lz[iq(i,ic),j]:=lz[iq(i,ic),0];
    fiz[iq(4,ic),j]:=fiz[iq(4,ic),0];
    if (lz[iq(1,ic),j]=lz[iq(4,ic),j]) and (lz[iq(2,ic),j]=lz[iq(3,ic),j])
        then ble2(ic) else

```

```

    if (lz[iq(1,ic),j]=lz[iq(3,ic),j]) and (lz[iq(2,ic),j]=lz[iq(4,ic),j])
        then ble3(ic) else ble1(ic);
end;
{=====}
procedure culit(ic:integer;var lz,fiz:mat2rm);
var aa,bb:real;
    alfa:mat1rm;
begin
    for i:=1 to 4 do if (i<>2) and (i<>3) then lz[iq(i,ic),j]:=lz[iq(i,ic),0];
    lz[iq(2,ic),j]:=0;
    fiz[iq(4,ic),j]:=fiz[iq(4,ic),0];
    alfa[0]:=fiz[iq(1,ic),j]-fiz[iq(4,ic),j];
    aa:=-lz[iq(1,ic),j]*cos(alfa[0])-lz[iq(4,ic),j];
    bb:=-lz[iq(1,ic),j]*sin(alfa[0]);
    alfa[1]:=gocx(aa,bb);
    fiz[iq(3,ic),j]:=fiz[iq(4,ic),j]+alfa[1];
    fiz[iq(2,ic),j]:=fiz[iq(3,i
                                                    3X lz[iq(3,ic),j]:=aa/cos(alfa[1]);

    if phgan[ic]=1 then khau[ic]:=iq(1,ic)
    else if phgan[ic]=2 then khau[ic]:=iq(3,ic);
    phuong[ic]:=iq(2,ic);
end;
{=====}
procedure culitdao(ic:integer;var lz,fiz:mat2rm);
var aa,bb:real;
    alfa :mat1rm;
begin
    lz[iq(2,ic),j]:=0;
    for i:=2 to 4 do lz[iq(i,ic),j]:=lz[iq(i,ic),0];
    fiz[iq(4,ic),j]:=fiz[iq(4,ic),0];
    alfa[0]:=fiz[iq(4,ic),j]-fiz[iq(1,ic),j];
    bb:=lz[iq(4,ic),j]*sin(alfa[0])/lz[iq(3,ic),j];
    aa:=sqrt(1-bb*bb);
    alfa[1]:=gocx(aa,bb);
    fiz[iq(3,ic),j]:=fiz[iq(1,ic),j]+alfa[1];
    fiz[iq(2,ic),j]:=fiz[iq(3,ic),j];
    lz[iq(1,ic),j]:=-lz[iq(3,ic),j]*cos(alfa[1]) -lz[iq(4,ic),j]*cos(alfa[0]);
    khau[ic]:=iq(1,ic);phuong[ic]:=iq(1,ic);
end;
{=====}
procedure ccsin(ic:integer;var lz,fiz:mat2rm);
var alfa:mat1rm;
begin
    fiz[iq(4,ic),j]:=fiz[iq(4,ic),0];
    fiz[iq(3,ic),j]:=fiz[iq(4,ic),0]+pi/2;
    fiz[iq(2,ic),j]:=fiz[iq(3,ic),j]+pi/2;
    alfa[0]:=fiz[iq(1,ic),j]-fiz[iq(2,ic),j];
    lz[iq(1,ic),j]:=lz[iq(1,ic),0];lz[iq(4,ic),j]:=lz[iq(4,ic),0];
    lz[iq(3,ic),j]:=lz[iq(1,ic),j]*sin(alfa[0]);

```

```

lz[iq(2,ic),j]:=lz[iq(4,ic),j]-lz[iq(1,ic),j]*cos(alfa[0]);
khau[ic]:=iq(1,ic);phuong[ic]:=iq(2,ic);
khaub[ic]:=iq(2,ic);phuongb[ic]:=iq(3,ic);
end;
{=====}
procedure cctang(ic:integer;var lz,fiz:mat2rm);
var alfa:mat1rm;
begin
  lz[iq(4,ic),j]:=lz[iq(4,ic),0];
  lz[iq(2,ic),j]:=0;
  fiz[iq(4,ic),j]:=fiz[iq(4,ic),0];
  fiz[iq(3,ic),j]:=fiz[iq(4,ic),j]+pi/2;
  alfa[0]:=fiz[iq(1,ic),j]-fiz[iq(4,ic),j];
  lz[iq(1,ic),j]:=-lz[iq(4,ic),j]/cos(alfa[0]);
  lz[iq(3,ic),j]:=lz[iq(4,ic),j]*(sin(alfa[0])/cos(alfa[0]));
  khau[ic]:=iq(1,ic);khaub[ic]:=iq(2,ic);
  phuong[ic]:=iq(1,ic);phuongb[ic]:=iq(3,ic);
end;
{=====}
procedure thtruyen(ic:integer;var lz,fiz:mat2rm);
var aa,bb:real;
    alfa:mat1rm;
begin
  for i:=3 to 4 do fiz[iq(i,ic),j]:=fiz[iq(i,ic),0];
  for i:=1 to 4 do lz[iq(i,ic),j]:=lz[iq(i,ic),0];
  alfa[0]:=fiz[iq(1,ic),j]-fiz[iq(3,ic),j];
  alfa[2]:=fiz[iq(4,ic),j]-fiz[iq(3,ic),j];
  bb:=(lz[iq(4,ic),j]*sin(alfa[2])
    +lz[iq(1,ic),j]*sin(alfa[0]))/lz[iq(2,ic),j];
  aa:=sqrt(1-bb*bb);
  alfa[1]:=gocx(aa,bb);
  if phgan[ic]=1 then fiz[iq(2,ic),j]:=alfa[1]+fiz[iq(3,ic),j]+pi
  else if phgan[ic]=2 then fiz[iq(2,ic),j]:=-(alfa[1]+fiz[iq(3,ic),j]);
  lz[iq(3,ic),j]:=-lz[iq(1,ic),j]*cos(alfa[0])-lz[iq(2,ic),j]
    *cos(fiz[iq(2,ic),j]-fiz[iq(3,ic),j]);
  khau[ic]:=iq(2,ic);phuong[ic]:=iq(3,ic);
end;
{=====}
procedure vitri4k(ic:integer);
var xx,yy:real;
begin
  xx:=0;x[iq(0,ic),j]:=0;yy:=0;y[iq(0,ic),j]:=0;
  for i:=1 to 3 do
    begin
      xx:=xx+l[iq(i,ic),j]*cos(fiz[iq(i,ic),j]);
      yy:=yy+l[iq(i,ic),j]*sin(fiz[iq(i,ic),j]);
      x[iq(i,ic),j]:=xx;y[iq(i,ic),j]:=yy;
    end;
end;
end;

```

```

{=====}
procedure contruot(id,ip:integer);
var xcto,ycto,xct1,yct1:mat1rm;
    xct2,yct2:mat1im;
begin
  for k:=0 to 3 do
  begin
    if k>1 then ycto[k]:=y[id,j]+cao else ycto[k]:=y[id,j]-cao;
    if (k mod 3)=0 then xcto[k]:=x[id,j]-rong else xcto[k]:=x[id,j]+rong;
  end;
  xcto[4]:=xcto[0];ycto[4]:=ycto[0];
  for k:=0 to 4 do quayvarr(round(x[id,j]),round(y[id,j]),
    xcto[k],ycto[k],fi[ip,j],xct1[k],yct1[k]);
  Oxyhve(0,4,xct1,yct1,xct2,yct2);
  for k:=0 to 4 do
  begin
    xct[id,j,k]:=xct2[k];yct[id,j,k]:=yct2[k];
  end;
end;
{=====}
procedure diemthu3(ic:integer);
begin
  for i:=1 to 3 do
  begin
    xm[iq(i,ic),j]:=x[iq(i,ic)-1,j]+l[iq(i,ic),j]*(lamda[iq(i,ic)]*
      cos(fi[iq(i,ic),j])-muy[iq(i,ic)]*sin(fi[iq(i,ic),j]));
    ym[iq(i,ic),j]:=y[iq(i,ic)-1,j]+l[iq(i,ic),j]*(lamda[iq(i,ic)]*
      sin(fi[iq(i,ic),j])+muy[iq(i,ic)]*cos(fi[iq(i,ic),j]));
  end;
end;
{=====}
procedure tdothucj(ic:integer);
var xot,yot:integer;
begin
  str(j,textj);
  if ic=1 then texti:='co cau 1' else texti:='co cau 2';
  setcolor(11);
  setttextstyle(2,0,4);
  outtextxy(200,280,' Dang tinh '+texti+' . Hay doi !');
  setcolor(13);
  outtextxy(260,290,' j = '+textj);
  fi[iq(1,ic),j]:=fio[j];
  if fi[iq(1,ic),j]<0 then fi[iq(1,ic),j]:=2*pi+fi[iq(1,ic),j];
  case kieucocau[ic] of
    1:ble(ic,l,fi);
    2:culit(ic,l,fi);
    3:culitdao(ic,l,fi);
    4:ccsin(ic,l,fi);
    5:cctang(ic,l,fi);
  end;
end;

```

```

6:thtruyen(ic,l,fi);
end;
vitri4k(ic);
xot:=xo;yot:=yo;
if ic=2 then if (khaunoi<>1) then
begin
  yo:=yo+round(-l[4,0]*sin(fi[4,0])*tyle);
  xo:=xo+round(-l[4,0]*cos(fi[4,0])*tyle);
end;
if Oktruot[ic] then
begin
  contruot(khau[ic],phuong[ic]);
  if (kieucocau[ic]=4) or (kieucocau[ic]=5)
  then contruot(khaub[ic],phuongb[ic]);
end;
xo:=xot;yot:=yot;
setcolor(0);
settextstyle(2,0,4);
outtextxy(200,280,'Dang tinh '+texti+' . Hay doi !');
outtextxy(260,290,' j = '+textj);
settextstyle(0,0,1);
end;
{=====}
procedure tdothuc(ic:integer);
begin
  for j:=0 to trs*nj do
  begin
    if ic=1 then
    begin
      fio[j]:=j*defi;
      tdothucj(ic);
    end;
  end;
end;
if ic=2 then
begin
  for j:=0 to trs*nj do
  begin
    if (kieucocau[ic]<>4) and (kieucocau[ic]<>5) then
    begin
      if (khaunoi=1) or (khaunoi=3) then
      begin
        fio[j]:=pi*(khaunoi div 3)+fi[khaunoi,j]+fie;
        l[5,j]:=le;
      end else if khaunoi=2 then
      begin
        x[5,j]:=x[1,j]+le*cos(fi[2,j]+fie);
        y[5,j]:=y[1,j]+le*sin(fi[2,j]+fie);
        l[5,0]:=sqrt((x[5,j]-x[3,j])*(x[5,j]-x[3,j])
          +(y[5,j]-y[3,j])*(y[5,j]-y[3,j]));
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

        fio[j]:=gocx((x[5,j]-x[3,j]),(y[5,j]-y[3,j]));
    end;
end else
begin
    fio[j]:=pi*(khaunoi div 3)+fi[khaunoi,j]+fie;
    if (kieucocau[ic]<>5) then l[5,j]:=le;
    end;
    tdothuej(ic);
end;
if (khaunoi<>1) then
begin
    yo:=yo+round(-l[4,0]*sin(fi[4,0])*tyle);
    xo:=xo+round(-l[4,0]*cos(fi[4,0])*tyle);
end;
end;
gotoxy(1,1);
end;
{=====}
procedure ghiktqua;
begin
    assign(filedl,tenfile);
    reset(filedl);
    with dulieu do
    begin
        for j:=0 to trs*nj do for ic:=1 to sc do
        begin
            for k:=1 to 4 do
            begin
                rfi[iq(k,ic),j]:=fi[iq(k,ic),j];
                rli[iq(k,ic),j]:=li[iq(k,ic),j];
            end;
            for k:=0 to 3 do
            begin
                rx[iq(k,ic),j]:=x[iq(k,ic),j];
                ry[iq(k,ic),j]:=y[iq(k,ic),j];
            end;
        end;
    end;
end;
seek(filedl,0);
write(filedl,dulieu);
close(filedl);
end;
{=====}
procedure docktqua;
begin
    assign(filedl,tenfile);
    reset(filedl);
    seek(filedl,0);
    read(filedl,dulieu);
    quythso;
    with dulieu do
    begin
        for j:=0 to trs*nj do for ic:=1 to sc do

```

```

begin
  for k:=1 to 4 do
    begin
      fi[iq(k,ic),j]:=rfi[iq(k,ic),j];
      li[iq(k,ic),j]:=rl[iq(k,ic),j];
    end;
  for k:=0 to 3 do
    begin
      xi[iq(k,ic),j]:=rx[iq(k,ic),j];
      yi[iq(k,ic),j]:=ry[iq(k,ic),j];
    end;
  end;
end;
close(filed1);
end;
{=====}
procedure tdove(ic:integer);
var  xv,yv,xvm,yvm:mat1rm;xra,yra,xmra,ymra:matlim;
begin
  for i:=0 to 3 do
    begin
      for j:=0 to trs*nj do
        begin
          xv[j]:=x[iq(i,ic),j];yv[j]:=y[iq(i,ic),j];
        end;
        Oxyhve(0,trs*nj,xv,yv,xra,yra);
        for j:=0 to trs*nj do
          begin
            xr[iq(i,ic),j]:=xra[j];yr[iq(i,ic),j]:=yra[j];
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
  {=====}
procedure ve4khau(u,v:mat2im;ic,r,mau1,mau2,mau3:integer);
begin
  setcolor(mau1);
  for i:=(ic-1) to 2 do line(u[iq(i,ic),j],v[iq(i,ic),j],
    u[iq(i,ic)+1,j],v[iq(i,ic)+1,j]);
  for i:=(ic-1) to 3 do
    begin
      if (i=1) or (i=2) then
        begin
          setcolor(mau2);
          circle(u[iq(i,ic),j],v[iq(i,ic),j],r);
        end else
        begin
          setcolor(mau3);
          circle(u[iq(i,ic),j],v[iq(i,ic),j],r);
        end;
      end;
    end;
  setcolor(mau1);
  line(u[iq(0,ic),j],v[iq(0,ic),j],u[iq(3,ic),j],v[iq(3,ic),j]);
end;

```

```

{=====}
procedure vectruot(iz,id1,id2,mau1,mau2:integer);
{-----}
procedure ctruot1(id,mau:integer);
begin
    setcolor(mau);
    for k:=0 to 3 do line(xct[id,j,k],yct[id,j,k],xct[id,j,k+1],yct[id,j,k+1]);
end;
{-----}
begin
    ctruot1(id1,mau1);
    if (kieucocau[ic]=4) or (kieucocau[ic]=5) then ctruot1(id2,mau2);
end;
{=====}
procedure simulcc(sc:integer);
var conve:boolean;
{-----}
procedure noikhau(mau:integer);
begin
    case khaunoi of
        1:begin
            setcolor(mau);
            line(xr[khaunoi,j],yr[khaunoi,j],xr[5,j],yr[5,j]);
            line(xr[4,j],yr[4,j],xr[5,j],yr[5,j]);
        end;
        2:begin
            setcolor(mau);
            line(xr[khaunoi,j],yr[khaunoi,j],xr[5,j],yr[5,j]);
            line(xr[khaunoi-1,j],yr[khaunoi-1,j],xr[5,j],yr[5,j]);
        end;
        3:begin
            setcolor(mau);
            line(xr[khaunoi-1,j],yr[khaunoi-1,j],xr[5,j],yr[5,j]);
            line(xr[4,j],yr[4,j],xr[5,j],yr[5,j]);
        end;
    end;
end;
{-----}
begin
    if OKvidu then
        begin
            setttextstyle(1,0,2);
            setcolor(11);
            case vidu of
                1:caut:='    Co cau bon khau ban le ';
                2:caut:='    Co cau culit ';
                3:caut:='    Co cau culit dao ';
                4:caut:='    Co cau tay quay con truot ';
                5:caut:='    Co cau may sang ';
                6:caut:='    Co cau may bao ';
                7:caut:='    Co cau may bao ';
            end;
            outtextxy(160,400,caut);
        end;
    end;
end;

```

```

    settextstyle(0,0,1);
    setcolor(0);
end;
for j:=0 to trs*nj do
begin
    for ic:=1 to sc do
    begin
        if j>0 then
        begin
            j:=j-1;
            if Oktruot[ic] then vectruot(ic,khau[ic],khaub[ic],0,0);
            if sc=2 then
            begin
                noikhau(0);
                noikhau(1);
            end;
            ve4khau(xr,yr,ic,4,0,0,0);
            ve4khau(xr,yr,ic,2,1,14,14);
            j:=j+1;
        end;
    end;
    for ic:=1 to sc do
    begin
        if Oktruot[ic] then vectruot(ic,khau[ic],khaub[ic],14,12);
        if sc=2 then noikhau(14);
        ve4khau(xr,yr,ic,4,14,12,10);
    end;
    if lietuc then delay(150)
    else ch:=readkey;
    end;
    setfillstyle(1,0);
end;
{=====}
procedure donghoc1;
begin
    dlkt;
    for i:=1 to sc do if kieuocau[i]>1 then Oktruot[i]:=true
    else Oktruot[i]:=false;
    tyle:=2;yo:=240;cao:=3;rong:=6;
    if OKvidu then
    begin
        if vidu in [2,3,6,7] then xo:=300
        else xo:=230;
    end else xo:=230;
    defi:=2*pi/nj;
    tdothuc(1);
    tdove(1);
    if sc=2 then
    begin
        tdothuc(2);
        tdove(2);
    end;
    ghiktqua;

```

```

cleardevice;
simulccc(sc);
end;
{=====}
procedure gioithieu;
begin
cleardevice;
settextstyle(1,0,3);
outtextxy(180,150,' Co cau phang toan khop thap ');
outtextxy(210,180,' Mo phong chuyen dong ');
j:=0;
repeat
j:=j+1;
str(j,textj);
settextstyle(2,0,4);
setcolor(13);
outtextxy(470,315,textj);
delay(50);
setcolor(0);
outtextxy(470,315,textj);
until j=50;
cleardevice;
end;
{*****}
begin
textcolor(15);
clrscr;
path:=' ';
dohoa;
xmax:=getmaxx;ymax:=getmaxy;
tylescr(tylesc);
gioithieu;
doctfile( 'a:mpcc.cht');
tapx:=[49,50,51,52,53,54,55];
dangchay:=true;
cleardevice;
nhacgrap(120,ymax-20,12, '( An fim V khi xet tung vitri hay M khi mophong
chuyendong )');
repeat
ch:=readkey;
until (upcase(ch)='V') or (upcase(ch)='M');
while dangchay do
begin
cleardevice;
if upcase(ch)='V' then lietuc:=false else if upcase(ch)='M' then lietuc:=true;
settextstyle(0,0,1);
setcolor(15);
outtextxy(180,100,' Xet mot vidu san co ');
outtextxy(180,115,'hay tu cho solieu cua bai tinh ? ');
setcolor(14);
settextstyle(2,0,4);
nhacgrap(120,ymax-140,12, '( An fim V khi xet vidu cho san , fim T khi tu cho so
lieu )');

```

```

repeat
  ch:=readkey;
until (upcase(ch)='T') or (upcase(ch)='V');
cleardevice;
if upcase(ch)='V' then
begin
  OKvidu:=true;
  nj:=24;trs:=2;
  settextstyle(0,0,1);
  outtextxy(180,100,' Co tat ca 7 vi du : 1,2,3,4,5,6,7 .');
  outtextxy(180,115,'      Muon xem vidu thu may ?');
  settextstyle(2,0,4);
  setcolor(13);
  nhacgrap(200,ymax-140,12,' ( An so tuong ung de tieptuc )');
  repeat
    maphim;
  until codekb in tapx ;
  val(chr(codekb),vidu,result);
end else if upcase(ch)='T' then
begin
  OKvidu:=false;
  cleardevice;
  outtextxy(180,100,' Hay cho so vi tri cua co cau');
  outtextxy(180,115,' va so vong quay cua khau dan ');
  outtextxy(165,130,' 1 - So vi tri      : nj = ');
  docso(15,400,130,rnj);
  outtextxy(165,145,' 2 - So vong quay      : nv = ');
  docso(15,400,145,rtj);
  nj:=round(rnj);
  trs:=round(rtj);
end;
cleardevice;
donghoc1;
nhacgrap(180,ymax-40,12,' ( Tieptuc hay dung ( T/D )? )');
repeat
  ch:=readkey;
until (upcase(ch)='T') or (upcase(ch)='D');
gotoxy(50,23);
write('      ');
if upcase(ch)='T' then dangchay:=true
else if upcase(ch)='D' then dangchay:=false;
end;
closegraph;
textmode(3);
textcolor(15);
clrscr;
end.

```

```

{III.07}
PROGRAM LUC4KBL;
uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;
var tylep : real;
    R12x,R12y,R32x,R32y,R43x,R43y, momencb : mat1r;
    xi,yi : mat2i;
    asx,asy,xsx,ysx,lucqx,lucqy,mq : mat2r;
    Okd : boolean;
{*****}
procedure td4k;
begin
    for j:=0 to n1 do
        begin
            xx:=0;yy:=0;
            for i:=1 to 3 do
                begin
                    xx:=xx+l[i]*cos(fi[i,j]);
                    yy:=yy+l[i]*sin(fi[i,j]);
                    xt[i,j]:=xx;yt[i,j]:=yy;
                end;
            end;
        for j:=0 to n1 do
            begin
                xx:=xo;yy:=yo;
                xi[0,j]:=xo;yi[0,j]:=yo;
                xi[4,j]:=xo;yi[4,j]:=yo;
                for i:=1 to 3 do
                    begin
                        xi[i,j]:=xo+round(tyle*xt[i,j]);
                        yi[i,j]:=yo+round(tyle*yt[i,j]);
                    end;
                end;
            end;
        end;
    {=====}
    procedure toados;
    {-----}
    procedure toadosi(iz : integer);
    begin
        i:=1; xx:=0;yy:=0;
        repeat
            xx:=xx+l[i]*cos(fi[i,j]);
            yy:=yy+l[i]*sin(fi[i,j]);
            i:=i+1;
        until i=iz;
        xsx[iz,j]:=xx+ls[iz]*cos(fi[iz,j]+beta[iz]);
        yys[iz,j]:=yy+ls[iz]*sin(fi[iz,j]+beta[iz]);
    end;
    {-----}

```

```

begin
  for j:=0 to n1 do for i:=2 to 3 do toadosi(i);
end;
{=====}
procedure giatocs;
{-----}
procedure giatocsi(iz : integer);
var   k : integer;
      xx,yy : real;
begin
  k:=1;
  xx:=0;yy:=0;epsil[1,j]:=0;
  repeat
    xx:=xx-l[k]*(sqr(omega[k,j])*cos(fi[k,j])+ epsil[k,j]*sin(fi[k,j]));
    yy:=yy-l[k]*(sqr(omega[k,j])*sin(fi[k,j])- epsil[k,j]*cos(fi[k,j]));
    k:=k+1;
  until k=iz;
  asx[iz,j]:=xx-ls[iz]*(sqr(omega[iz,j])*cos(fi[iz,j]+beta[iz])
                        + epsil[iz,j]*sin(fi[iz,j]+beta[iz]));
  asy[iz,j]:=yy-ls[iz]*(sqr(omega[iz,j])*sin(fi[iz,j]+beta[iz])
                        - epsil[iz,j]*cos(fi[iz,j]+beta[iz]));
end;
{-----}
begin
  for j:=0 to n1 do for i:=2 to 3 do giatocsi(i);
end;
{=====}
procedure veble(maukhau,maugia,maukhop : integer);
begin
  for i:=0 to 3 do
    begin
      if i<>3 then setcolor(maukhau) else setcolor(maugia);
      line(xi[i,j],yi[i,j],xi[i+1,j],yi[i+1,j]);
      setcolor(maukhop);
      circle(xi[i,j],yi[i,j],4);
    end;
  end;
{=====}
function ngoailuc(j : integer) : real;
begin
  if omega[3,j] > 0 then ngoailuc:=-lucp3*(l[3]-lp3)-momen3
  else ngoailuc:=0;
end;
{=====}
function lucp3t(j : integer) : real;
begin
  if omega[3,j] > 0 then lucp3t:=-lucp3 else lucp3t:=0;
end;

```

```

{=====}
procedure lucqt;
begin
  giatocs;
  for j:=0 to n1 do
  begin
    for i:=2 to 3 do
    begin
      lucqx[i,j]:=-mk[i]*asx[i,j];
      lucqy[i,j]:=-mk[i]*asy[i,j];
      mq[i,j]:=-js[i]*epsil[i,j];
    end;
  end;
end;
{=====}
function sigmom(jz,kz : integer) : real;
var i : integer;
    momg,momq,momp,xx,yy : real;
begin
  i:=2;momg:=0;momq:=0;momp:=0;
  repeat
    xx:=xxs[i,jz]-xt[kz,jz];
    yy:=yys[i,jz]-yt[kz,jz];
    momg:=momg+mk[i]*10*xx;
    momq:=momq+lucqx[i,jz]*yy-lucqy[i,jz]*xx+mq[i,jz];
    i:=i+1
  until i>kz;
  if kz=3 then sigmom:=ngoailuc(jz)+momg+momq
  else sigmom:=momg+momq;
end;
{=====}
procedure apluckd;
var gocd,gama,teta,R12 : real;
    lf,alfa2,gocR12 : mat1r;
    lucT : mat2r;
{-----}
procedure lfalfa;
var alfao:real;
{.....}
procedure tinhalfa(l1,l2,l3 : real; var alfaz : real);
var aa,bb : real;
begin
  aa:=(l1*l1+l2*l2-l3*l3)/(2*l1*l2);
  bb:=sqrt(1-aa*aa);
  alfaz:=gocx(aa,bb);
end;
{.....}
begin

```

```

for j:=0 to n1 do
begin
  alfao:=fi[1,j]+pi-fi[4,j];
  lf[j]:=sqrt(sqrt(l[1])+sqrt(l[4])-2*l[1]*l[4]*cos(alfao));
  tinhalfa(lf[j],l[2],l[3],alfa2[j]);
end;
end;
{-----}
begin
  toados;
  lfalfa;
  lucqt;
  for j:=0 to n1 do
  begin
    lucT[2,j]:=sigmom(j,2)/l[2];
    lucT[3,j]:=sigmom(j,3)/lf[j];
    if sigmom(j,2)*sigmom(j,3)>0 then gocd:=alfa2[j]
    else gocd:=pi+alfa2[j];
    xx:=0;
    for i:=2 to 3 do xx:=xx+sqrt(lucT[i,j]);
    xx:=xx-2*lucT[2,j]*lucT[3,j]*cos(gocd);
    xx:=sqrt(xx);
    R12:=xx/abs(sin(gocd));
    xx:=lucT[2,j]/R12;yy:=sqrt(1-xx*xx);
    gama:=gocx(xx,yy);
    if (sigmom(j,2)*sigmom(j,3)>0) then
    begin
      if (lucT[3,j]*cos(alfa2[j])>lucT[2,j]) then teta:=gama
      else teta:=2*pi-gama;
    end else teta:=2*pi-gama;
    gocR12[j]:=fi[2,j]+teta+pi/2;
    R12x[j]:=R12*cos(gocR12[j]);
    R12y[j]:=R12*sin(gocR12[j]);
    R32x[j]:=-(R12x[j]+lucqx[2,j]);
    R32y[j]:=-(R12y[j]+lucqy[2,j]+10*mk[2]);
    R43x[j]:=R32x[j]-lucqx[3,j]-lucp3t(j)*cos(fi[3,j]+pi/2);
    R43y[j]:=R32y[j]-(lucqy[3,j]+mk[3]*10)-lucp3t(j)*sin(fi[3,j]+pi/2);
    momenchb[j]:=l[1]*R12*sin(gocR12[j]-fi[1,j]);
  end;
end;
{=====}
procedure chbive;
begin
  dohoa;
  tylescr(tylesc);
  ymax:=getmaxy;
  xo:=320;yo:=round(0.4*ymax);tyle:=600;tylep:=0.25;
end;

```

```

{=====}
procedure veapluc;
var   ri1,ri2,ri3,ri4 : mat2i;
      goci : integer;
      gocr : real;
begin
  for j:=0 to n1 do
    begin
      ri1[1,j]:=xo+round(tylep*R12x[j]);
      ri1[2,j]:=yo+round(tylesc*tylep*R12y[j]);
      ri2[1,j]:=xi[1,j]-round(tylep*R12x[j]);
      ri2[2,j]:=yi[1,j]-round(tylesc*tylep*R12y[j]);
      ri3[1,j]:=xi[2,j]+round(tylep*R32x[j]);
      ri3[2,j]:=yi[2,j]+round(tylesc*tylep*R32y[j]);
      ri4[1,j]:=xi[3,j]+round(tylep*R43x[j]);
      ri4[2,j]:=yi[3,j]+round(tylesc*tylep*R43y[j]);
    end;
    for j:=0 to n1 do
      begin
        veble(14,12,15);
        setcolor(13);
        line(xi[3,j],yi[3,j],ri4[1,j],ri4[2,j]);
        line(xo,yo,ri1[1,j],ri1[2,j]);
        setcolor(11);
        line(xi[1,j],yi[1,j],ri2[1,j],ri2[2,j]);
        line(xi[2,j],yi[2,j],ri3[1,j],ri3[2,j]);
        delay(300);
        veble(0,0,0);
        setcolor(7);
        line(xi[3,j],yi[3,j],ri4[1,j],ri4[2,j]);
        line(xo,yo,ri1[1,j],ri1[2,j]);
        setcolor(0);
        line(xi[1,j],yi[1,j],ri2[1,j],ri2[2,j]);
        line(xi[2,j],yi[2,j],ri3[1,j],ri3[2,j]);
      end;
      j:=0;
      veble(14,12,15);
      setcolor(10);
      for j:=0 to n1-1 do
        begin
          line(ri1[1,j],ri1[2,j],ri1[1,j+1],ri1[2,j+1]);
          line(ri4[1,j],ri4[2,j],ri4[1,j+1],ri4[2,j+1]);
        end;
        setcolor(11);
        outtextxy(xi[3,0]-30,yi[3,0]+55,'Apluc R43');
        outtextxy(xi[0,0]-55,yi[0,0]-55,'Apluc R41');
      end;
    {=====}
  end;

```

```

procedure dothimecb;
var   xco,yco,ksup : integer;
      mcbmax,mcbmin,mtb,tylem : real;
      mcbi,xci : array[0..n] of integer;
begin
  cucdai(0,n1,momencb,mcbmax,ksup);
  cuctieu(0,n1,momencb,mcbmin,ksup);
  mtb:=(mcbmax+mcbmin)/2;
  tylem:=150/(mcbmax-mcbmin);
  xco:=30;yco:=ymax-round(tylem*mtb)-120;
  for j:=0 to n1 do
    begin
      xci[j]:=xco+round(fi[1,j]*120/pi);
      mcbi[j]:=yco-round(tylem*(momencb[j]-mtb));
    end;
  str(mtb:6:3,textj);
  setcolor(15);
  outtextxy(285,ymax-125,'F1');
  outtextxy(2,yco-5,'mtb');
  outtextxy(30,yco-135,'Mcb');
  outtextxy(10,ymax-125,'O');
  setcolor(13);
  line(xco,yco,xco+250,yco);
  line(55,ymax-67,90,ymax-67);
  setcolor(11);
  outtextxy(45,ymax-70,(' mtb = '+textj+' Nm '));
  setcolor(11);
  line(xco,yco-120,xco,yco+100);
  line(xco,ymax-120,xco+250,ymax-120);
  setcolor(14);
  for j:=0 to n1-1 do line(xci[j],mcbi[j],xci[j+1],mcbi[j+1]);
  setcolor(12);
  for j:=0 to n1 do circle(xci[j],mcbi[j],2);
  setttextstyle(1,0,3);
  setcolor(10);
  outtextxy(30,10,' Ap luc khop dong');
  outtextxy(30,30,' va Mo men can bang');
  setttextstyle(0,0,1);
end;
{=====}
procedure modau;
begin
  clrscr;
  textcolor(15);
  path:='';
  dohoa;
  cleardevice;
  ymax:=getmaxy;

```

```

docfile('a:luc.cht');
end;
{=====}
procedure chay;
begin
  repeat
    dlluc;
    chbive;
    td4k;
    apluckd;
    veapluc;
    dothimcb;
    cau:='Co chay chuongtrinh nay nua hay thoi (N/T)?';
    nhacgrap(10,ymax-10,12,cau);
    repeat
      ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['N','T'];
    clrscr;
    textmode(3);
    until upcase(ch)='T';
  end;
  {*****}
begin
  modau;
  chay;
end.

```

{III.08}

PROGRAM DLGHTHE;

uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;

var dx : integer;

xx,yy,fib1,fib2 : real;

lucPj,mtt,jtt : mat1r;

pli,mit,jb,ui,vi,wi,mtti,jtti : mat1i;

xi,yi : mat2i;

lt,vs,fivs : mat2r;

Okt : boolean;

{*****}

procedure ganltfi(nz : integer);

begin

for j:=0 to nz do

begin

fi[3,j]:=fi3;fi[4,j]:=fi4;

for i:=1 to 4 do if i<>3 then lt[i,j]:=lfi;

end;

end;

{=====}

```

procedure vitrib(tylechua : real; var ax,bx : real);
var    aa,bb,alfa : real;
      fi1,lx : array[1..2] of real;
begin
  lx[1]:=l[2]-l[1]+tylechua*l[1];
  lx[2]:=l[2]+l[1]-tylechua*l[1];
  for i:=1 to 2 do
    begin
      aa:=(sqr(l[1])+sqr(lx[i])-sqr(l[2]))/(2*l[1]*lx[i]);
      bb:=sqrt(1-sqr(aa));
      alfa:=gocx(aa,bb);
      fi1[i]:=fi3+pi-alfa;
    end;
  ax:=fi1[1];bx:=fi1[2];
end;
{=====}
procedure xepiaifi(nz : integer);
var    xf,yf : mat1r;
      Okj1,Okj2 : boolean;
begin
  for j:=0 to nz+2 do xf[j]:=fi[1,j];
  noibot(nz+2,xf,yf);
  for j:=0 to nz+2 do fi[1,j]:=yf[j];
  j:=0;Okj1:=false;Okj2:=false;
  repeat
    if fi[1,j]=fib1 then
      begin
        jb[1]:=j;Okj1:=true;
      end;
    if fi[1,j]=fib2 then
      begin
        jb[2]:=j;Okj2:=true;
      end;
    j:=j+1;
  until (Okj1 and Okj2);
end;
{=====}
procedure tinhfi1j;
begin
  defi:=2*pi/no;
  for j:=0 to no do fi[1,j]:=j*defi+pi/360;
  ganltfi(no);
  vitrib(0.2,fi[1,no+1],fi[1,no+2]);
  fib1:=fi[1,no+1];fib2:=fi[1,no+2];
  xepiaifi(no);
  no:=no+2;
  ganltfi(no);
end;

```

```

=====
procedure vitrtqct;
var aa,bb : real;
    alfa : mat1r;
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    alfa[0]:=fi[1,j]-fi[3,j];
    alfa[2]:=fi[4,j]-fi[3,j];
    bb:=(lt[4,j]*sin(alfa[2])+lt[1,j]*sin(alfa[0]))/lt[2,j];
    aa:=sqrt(1-bb*bb);
    alfa[1]:=gocx(aa,bb);
    fi[2,j]:=alfa[1]+fi[3,j]+pi;
    lt[3,j]:=-lt[1,j]*cos(alfa[0])-lt[2,j]*cos(fi[2,j]-fi[3,j]);
  end;
end;
=====

```

```

procedure toado4k;
begin
  vitrtqct;
  for j:=0 to no do
  begin
    xx:=xo;yy:=yo;
    xi[0,j]:=xo;yi[0,j]:=yo;
    xi[4,j]:=xo;yi[4,j]:=yo;
    for i:=1 to 3 do
    begin
      xx:=xx+(tyle*lt[i,j]*cos(fi[i,j]));
      yy:=yy+(tyle*tyle*lt[i,j]*sin(fi[i,j]));
      xi[i,j]:=round(xx);yi[i,j]:=round(yy);
    end;
  end;
end;
=====

```

```

procedure tinhvtoc;
var v1 : real;
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    v1:=omega1*l[1];
    omega[2,j]:=-v1*cos(fi3-fi[1,j])/(l[2]*cos(fi3-fi[2,j]));
    vs[3,j]:=v1*sin(fi[1,j]-fi[2,j])/cos(fi3-fi[2,j]);
  end;
end;
=====

```

```

procedure vtocs2(ls2z,beta2z : real);
var i : integer;
    xxv,yyv : real;

```

```

    vsx,vsy : matli;
    ls : array[1..2] of real;
    fis : array[1..2,0..n] of real;
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    omega[1,j]:=omega1;
    fis[1,j]:=fi[1,j];
    fis[2,j]:=fi[2,j]+beta2z;
    ls[1]:=l[1];ls[2]:=ls2z;
  end;
  for j:=0 to no do
  begin
    xxv:=0;yyv:=0;
    for i:=1 to 2 do
    begin
      xxv:=xxv-(ls[i]*omega[i,j]*sin(fis[i,j]));
      yyv:=yyv+(ls[i]*omega[i,j]*cos(fis[i,j]));
    end;
    vsx[j]:=round(xxv);vsy[j]:=round(yyv);
    fivs[2,j]:=gocx(xxv,yyv);
    vs[2,j]:=round(sqrt(sqr(xxv)+sqr(yyv)));
  end;
end;
{=====}
procedure tinhluc;
var  cong : real;
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    lucp[j]:=-lucp*sin(fi[1,j])*hev(fi[1,j],fib1,fib2);
    cong:=(lucp[j]*vs[3,j]-mk[2]*10*vs[2,j]*sin(fivs[2,j]));
    mtt[j]:=cong/omega1;
  end;
end;
{=====}
procedure tinhjtt;
var  xx : real;
begin
  js[3]:=0;mk[1]:=0;
  for j:=0 to no do
  begin
    xx:=0;vs[1,j]:=0;omega[3,j]:=0;
    for i:=1 to 3 do xx:=xx+(js[i]*sqr(omega[i,j])+ mk[i]*sqr(vs[i,j]));
    jtt[j]:=xx/sqr(omega[1,j]);
  end;
end;
{=====}

```

```

procedure vetqct(j,maukd,maugia,maukhop : integer);
var   dai,rong,xc,yc,x3,y3 : integer;
{-----}
procedure vectruot(xz,yz,mauct : integer);
var   dai,rong : integer;
      xct,yct : array[0..4] of integer;
      xrt,yrt : array[0..4] of real;
begin
  setcolor(mauct);
  dai:=round(l[2]*tyle/12);rong:=round(l[2]*tyle/18);
  xct[0]:=xz-dai;xct[1]:=xz+dai;xct[2]:=xct[1];
  xct[3]:=xct[0];xct[4]:=xct[0];yct[0]:=yz-rong;
  yct[2]:=yz+rong;yct[3]:=yct[2];yct[1]:=yct[0];
  yct[4]:=yct[0];
  for i:=0 to 3 do line(xct[i],yct[i],xct[i+1],yct[i+1]);
  setfillstyle(1,0);
  floodfill(xz,yz,maukd);
end;
{-----}
procedure vegia;
begin
  setcolor(maugia);
  x3:=xo-round(tyle*l[4]*cos(fi4));
  y3:=yo-round(tyle*l[4]*sin(fi4));
  xc:=x3-round(tyle*(l[1]+l[2])*cos(fi3));
  yc:=y3-round(tyle*(l[1]+l[2])*sin(fi3));
  line(xi[0,j],yi[0,j],x3,y3);
  line(x3,y3,xc,yc);
end;
{-----}
begin
  vegia;
  vectruot(xi[2,j],yi[2,j],maukd);
  setcolor(maukd);
  for i:=0 to 1 do
    if i=2 then line(xi[i,j]-dai,yi[i,j],xi[i+1,j],yi[i+1,j])
    else line(xi[i,j],yi[i,j],xi[i+1,j],yi[i+1,j]);
  if l[4]<>0 then
    begin
      setcolor(maugia);
      line(xi[3,j],yi[3,j],xi[4,j],yi[4,j]);
    end;
    setcolor(maukhop);
    for i:=0 to 2 do circle(xi[i,j],yi[i,j],4);
  end;
  {=====}
  procedure mphgtqct(maukd,maugia,maukhop : integer);
  begin

```

```

for j:=0 to no do
begin
  vetqct(j,maukd,maugia,maukhop);
  delay(100);
  vetqct(j,1,1,1);
end;
vetqct(0,maukd,maugia,maukhop);
end;
{=====}
procedure vecocau;
begin
  mphgtqct(14,12,15);
  for k:=1 to 2 do for i:=0 to 1 do
  begin
    setcolor(10);
    line(xi[i,jb[k]],yi[i,jb[k]],xi[i+1,jb[k]],yi[i+1,jb[k]]);
    setcolor(13);
    circle(xi[i,jb[k]],yi[i,jb[k]],5);
  end;
end;
{=====}
procedure tructdo(xoz,yoz,dx,dyl,dy2,mauz:integer);
begin
  setcolor(mauz);
  line(xoz,yoz,xoz+dx,yoz);
  line(xoz,yoz-dyl,xoz,yoz+dy2);
end;
{=====}
procedure dothiv(xoz,yoz,dx,mau : integer;tylev,tyleom : real);
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    ui[j]:=xoz+round(fi[1,j]*dx/(2*pi));
    wi[j]:=yoz-round(tyleom*omega[2,j]);
    vi[j]:=yoz-round(tylev*vs[3,j]);
    setcolor(mau);
    circle(ui[j],wi[j],2);
    setcolor(mau+9);
    circle(ui[j],vi[j],2);
  end;
  for j:=0 to no-1 do
  begin
    setcolor(mau+8);
    line(ui[j],wi[j],ui[j+1],wi[j+1]);
    setcolor(mau+5);
    line(ui[j],vi[j],ui[j+1],vi[j+1]);
  end;
  setcolor(11);

```

```

line(ui[nol],yoz,ui[nol],wi[nol]);
outtextxy(xoz+dx+10,yoz-5,'fi1');
setcolor(13);
line(50,ymax-80,100,ymax-80);
setcolor(10);
line(50,ymax-70,100,ymax-70);
setcolor(11);
outtextxy(110,ymax-85,' omega2');
outtextxy(110,ymax-75,' vantoc contruot');
setcolor(10);
settextstyle(1,0,1);
outtextxy(400,ymax-90,'Dothi vantoc');
settextstyle(0,0,1);
end;
{=====}
procedure dothiluc(xoz,yoz,dx,mau : integer;tylep,tylem : real);
var   j1,j2 : array[1..3] of integer;
begin
  for j:=0 to no do
    begin
      pli[j]:=yoz-round(tylep*lucpj[j]);
      mit[j]:=yoz-round(tylem*mtt[j]);
      ui[j]:=xoz+round((fi[1,j]*dx)/(2*pi));
    end;
    j1[1]:=0;j2[1]:=jb[1]-2;
    j1[2]:=jb[2]+1;j2[2]:=no-1;
    j1[3]:=jb[1];j2[3]:=jb[2]-1;
    for k:=1 to 3 do
      begin
        for j:=j1[k] to j2[k] do
          begin
            setcolor(mau);
            line(ui[j],pli[j],ui[j+1],pli[j+1]);
            setcolor(mau+2);
            line(ui[j],mit[j],ui[j+1],mit[j+1]);
          end;
        end;
        for k:=1 to 2 do
          begin
            j:=jb[k]+k-2;
            setcolor(12);
            line(ui[j],pli[j+k-1],ui[j+1],pli[j+k-1]);
            setcolor(14);
            line(ui[j],mit[j+k-1],ui[j+1],mit[j+k-1]);
          end;
        for k:=1 to 2 do
          begin
            setcolor(12);

```

```

    line(ui[jb[k]],yo,ui[jb[k]],pli[jb[k]]);
end;
setcolor(12);
line(50,ymax-60,100,ymax-60);
setcolor(14);
line(50,ymax-50,100,ymax-50);
setcolor(11);
outtextxy(110,ymax-65,' luc ');
outtextxy(110,ymax-55,' momenluc thaythe');
setcolor(14);
settextstyle(1,0,1);
outtextxy(300,ymax-60,'Dothi luc va momenluc thaythe');
settextstyle(0,0,1);
end;
{=====}
procedure dothijtt(xoz1,yoz1,dxz1,mau : integer; tylez1 : real);
begin
    for j:=0 to no do
        begin
            jtti[j]:=yozi-round(tylez1*jtt[j]);
            ui[j]:=xoz1+round(fi[1,j]*dxz1/(2*pi));
        end;
        setcolor(mau);
        for j:=0 to no-1 do line(ui[j],jtti[j],ui[j+1],jtti[j+1]);
    end;
    {=====}
procedure cacttoan;
begin
    tinhfi1j;
    toado4k;
    tinhvtoc;
    vtocs2(ls2,0);
    tinhluc;
    tinhjtt;
end;
{=====}
procedure cactdothi;
begin
    dohoa;
    xo:=20;yo:=round(0.45*ymax);dx:=320;
    tructdo(xo,yo,dx,140,140,11);
    dothiv(xo,yo,dx,5,100,5);
    dothiluc(xo,yo,dx,12,0.2,7);
    nhacgrap(xmax-280,ymax-15,12,'(An fim batky de tieptuc)');
    ch:=readkey;
    cleardevice;
    xo:=20;yo:=round(0.6*ymax);dx:=240;
    tructdo(xo,yo,dx,190,0,11);

```

```

dothiluc(xo,yo,dx,12,0.2,7);
xo:=300;
tructdo(xo,yo,dx,190,0,11);
dothijtt(xo,yo,dx,13,600);
setfillstyle(1,0);
bar(300,yo+10,645,ymax);
setcolor(15);
settextstyle(1,0,1);
outtextxy(25,0,'Luc va Momenluc thaythe');
outtextxy(310,0,'Momen quantinh thaythe');
settextstyle(0,0,1);
end;
{=====}
procedure bangjm(nz : integer);
var j,k,sk,le,buoc,ib,sodong,dongo,sod : integer;
{-----}
function bkt(nz:integer) : ten;
var i : integer;
    bkt : ten;
begin
    bkt:='';
    for i:=1 to nz do bkt:=bkt+' ';
    bkt:=bkt;
end;
{-----}
begin
    closegraph;
    textmode(3);
    textcolor(14);
    cau:='Doc cac giatri momen quantinh va momenluc thay the!';
    writeln(' ',cau);
    repeat
        textcolor(15);
        writeln('Sodong can doc : ');
        write('sodong = ');
        readln(sodong);
        writeln('Cho dong batdau doc : ');
        write('dongo = ');
        readln(dongo);
        clrscr;
        textcolor(10);
        cau:='Cac giatri Jtt va Mtt can doc';
        writeln(' ',cau);
        writeln;
        textcolor(15);
        le:=7;
        write(bkt(le));
        sk:=7;
    until (sodong < 0);
end;

```

```

textcolor(11);
for i:=1 to 2 do
write('fil',bkt(sk),'jtt',bkt(sk),'mtt',bkt(sk));
writeln;
writeln;
le:=le-2;
sk:=sk-3;
j:=dongo;ib:=round((sodong)/2);
sod:=round((nz-dongo));
if ((sodong+dongo)>sod) then ib:=round(sod/2);
textcolor(15);
repeat
write(bkt(le));
for k:=0 to 1 do
begin
write((fi[1,j+ib*k]*180/pi):6:2,bkt(sk));
write(jtt[j+ib*k]:6:2,bkt(sk),mtt[j+ib*k]:6:2);
write(bkt(sk));
end;
writeln;
j:=j+1;
until j>=ib+dongo;
writeln;
textcolor(12);
writeln('Co doc tiep nua hay thoi (N/T) ? ');
repeat
ch:=readkey;
until (upcase(ch)='N') or (upcase(ch)='T');
if (upcase(ch)='N') then clrscr;
until (upcase(ch)='T');
dohoa;
end;
(=====)
procedure ghijvam;
begin
dohoa;
assign(fildl,'a:jvamx');
rewrite(fildl);
writeln(fildl,omega1);
writeln(fildl,no);
cau:='Dang nhapketqua vao dia . Hay cho !';
settextstyle(2,0,5);
for j:=0 to no do
begin
setcolor(15);
outtextxy(180,ymax-180,cau);
writeln(fildl,fi[1,j]);
writeln(fildl,jtt[j]);

```

```

setcolor(12);
outtextxy(180,ymax-180,cau);
writeln(fildl,mtt[j]);
end;
close(fildl);
setcolor(0);
outtextxy(180,ymax-180,cau);
end;
{=====}
procedure display;
begin
  repeat
    cau:=(An fim K de ketthuc chuongtrinh, O de tieptuc);
    nhacgrap(xmax-400,ymax-20,10,cau);
    ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['K','O'];
    if upcase(ch)='K' then Okt:=true;
  end;
  {=====}
  procedure chonmenu(var Okt:boolean);
  begin
    closegraph;
    textmode(3);
    vietfile('a:menu.dlt');
    repeat
      ch:=readkey;
      until upcase(ch) in ['M','D','V','G','K'];
      case upcase(ch) of
        'M':begin
          dohoa;
          vecocau;
          end;
        'D':bangjm(no);
        'V':begin
          cacadthi;
          end;
        'G':ghijvam;
      end;
      display;
    end;
    {=====}
    procedure modau;
    begin
      clrscr;
      textcolor(15);
      path:= ' ';
      dohoa;
      cleardevice;
    end;
  end;
end;

```

```

ymax:=getmaxy;
docfile('a:dlgththe.cht');
closegraph;
end;
{*****}
begin
  modau;
  dlddthuc;
  dohoa;
  tylescr(tylesc);
  xmax:=getmaxx;ymax:=getmaxy;xo:=200;yo:=round(ymax/2);
  Okt:=false;
  cacttoan;
  repeat
    chonmenu(Okt);
  until Okt;
  closegraph;
  textmode(3);
end.

```

{III.09}

PROGRAM CHDGTHUC;

uses crt,graph,nlmay1,nlmay2;

var dx,dy : integer;

omtb,omlmax,omlmin,deltap,deltathuc,jda:real;

oml,jtt,mtt,adong,acan,deltae : mat1r;

ui,vi,jtti,deltaei : mat1i;

xi,yi : mat2i;

fi : mat2r;

Okt : boolean;

{*****}

begin

assign(fildl,'a:jvam');

reset(fildl);

readln(fildl,omega1);

readln(fildl,no);

for j:=0 to no do

begin

gotoxy(77,23);

textcolor(12);

write(j);

readln(fildl,fi[1,j]);

readln(fildl,jtt[j]);

gotoxy(77,23);

textcolor(15);

write(j);

readln(fildl,mtt[j]);

```

end;
close(fild1);
gotoxy(77,23);
textcolor(0);
write(j);
end;
{=====}
procedure tinhcong(nz : integer);
var j : integer;
    mtb,deltafi,tong,kt : real;
begin
j:=0;tong:=0;acan[0]:=0;
repeat
    mtb:=(mtt[j]+mtt[j+1])/2;
    deltafi:=fi[1,j+1]-fi[1,j];
    tong:=tong+mtb*deltafi;
    acan[j+1]:=tong;
    j:=j+1;
until j=nz;
kt:=acan[nz]/(2*pi);
for j:=0 to nz do
begin
    adong[j]:=kt*fi[1,j];
    deltae[j]:=adong[j]-acan[j];
end;
end;
{=====}
procedure tructdo(xoz,yoz,dx,dy1,dy2,mauz : integer);
begin
    setcolor(mauz);
    line(xoz,yoz,xoz+dx,yoz);
    line(xoz,yoz-dy1,xoz,yoz+dy2);
end;
{=====}
procedure dothijtt(xoz1,yoz1,dxz1,mau : integer; tylez1 : real);
begin
    for j:=0 to no do
    begin
        jtti[j]:=xoz1+round(tylez1*jtt[j]);
        ui[j]:=yoz1+round(fi[1,j]*dxz1/(2*pi));
    end;
    setcolor(mau);
    for j:=0 to no-1 do
        line(jtti[j],ui[j],jtti[j+1],ui[j+1]);
    end;
end;
{=====}
procedure dothie(xoz,yoz,dxz : integer; tylez : real);
var adongi,acani : matli;

```

```

begin
  for j:=0 to no do
    begin
      adongi[j]:=yo-round(tylez*adong[j]);
      acani[j]:=yo-round(tylez*acan[j]);
      deltaei[j]:=yo-round(tylez*deltae[j]);
      ui[j]:=xo+round(fi[1,j]*dxz/(2*pi));
    end;
  for j:=0 to no do
    begin
      setcolor(10);
      circle(ui[j],adongi[j],1);
      setcolor(13);
      circle(ui[j],acani[j],1);
    end;
  setcolor(14);
  for j:=0 to no-1 do
    line(ui[j],deltaei[j],ui[j+1],deltaei[j+1]);
  end;
  {=====}
  procedure dothiej(xoz,yoz,dxz : integer; tylez1,tylez2 : real);
  begin
    for j:=0 to no do
      begin
        jtti[j]:=xoz+round(tylez1*jtt[j]);
        deltaei[j]:=yoz-round(tylez2*deltae[j]);
      end;
      setcolor(10);
      for j:=0 to no-1 do
        line(jtti[j],deltaei[j],jtti[j+1],deltaei[j+1]);
      end;
    {=====}
  procedure vitenbao;
  begin
    xo:=10;yo:=round(0.7*yman);dx:=250;
    tructdo(xo,yo,dx,130,10,11);
    dothie(xo,yo,dx,3.5);
    setcolor(15);
    outtextxy(xo-5,yo-140,'DE');
    outtextxy(xo+255,yo-5,'Fi');
    xo:=400;yo:=10;dx:=140;
    tructdo(xo,yo,dx,0,150,11);
    dothijtt(xo,yo,dx,12,400);
    setcolor(15);
    outtextxy(xo+145,yo-5,'J');
    outtextxy(xo,yo+155,'Fi');
    xo:=400;yo:=round(0.7*yman);dx:=150;
    tructdo(xo,yo,dx,100,60,11);
  end;
end;

```

```

dothiej(xo,yo,dx,400,3.5);
setcolor(15);
outtextxy(xo-5,yo-110,'DE');
outtextxy(xo+165,yo-5,'J');
settextstyle(1,0,4);
setcolor(15);
outtextxy(30,0,'Dothi Vittenbao');
settextstyle(0,0,1);
end;
{=====}
procedure omthuc;
var j,k,kv,ksup : integer;
    xx,yy,eo,buoc,dau,dauo,deltao,deltaom : real;
    Okd : boolean;
begin
    closegraph;
    textmode(3);
    textcolor(15);
    deltao:=0.005*omega1;Okd:=false;
    om1[0]:=omega1;k:=1;buoc:=0.5;kv:=1;eo:=0;
    repeat
        gotoxy(77,23);
        textcolor(12);
        write(kv);
        j:=0;jda:=0.1;
        repeat
            eo:=(jda+jtt[0])*sqr(om1[0]);
            xx:=eo+2*deltae[j];
            xx:=xx/(jda+jtt[j]);
            om1[j]:=sqrt(xx);
            j:=j+1;
        until j>no;
        cucdai(0,no,om1,om1max,ksup);
        cuctieu(0,no,om1,om1min,ksup);
        omtb:=(om1max+om1min)/2;
        deltaom:=omtb-omega1;
        if deltaom<0 then dau:=-1 else dau:=1;
        if k=1 then dauo:=dau else
            begin
                if dau*dauo<0 then buoc:=buoc*0.5;
            end;
        if abs(deltaom)<=deltao then Okd:=true else
            om1[0]:=om1[0]-buoc*dau;
            k:=2;dauo:=dau;
            kv:=kv+1;
            gotoxy(77,23);
            textcolor(0);
            write(kv);

```

```

until Okd;
omtb:=(omlmax+omlmin)/2;
deltathuc:=(omlmax-omlmin)/omtb;
nhactext(60,23,12,'An Enter de tieptuc ');
repeat
    maphim;
until codekb=13;
end;
{=====}
procedure ghikq;
begin
    textcolor(14);
    cau:= 'Chedo binh on truoc khi lap banhda';
    writeln('          ',cau);
    writeln;
    textcolor(11);
    write('          max omega      = ');
    writeln(omlmax:6:2);
    write('          min omega      = ');
    writeln(omlmin:6:2);
    textcolor(11);
    write('          omega trungbinh = ');
    writeln(omtb:6:2);
    textcolor(11);
    write('          hesokhongdeu      = ');
    writeln(deltathuc:6:2);
end;
{=====}
procedure bangomg(nz : integer);
var    j,k,sk,le,buoc,ib,sodong,dong,sod : integer;
{-----}
function bkt(nz : integer) : ten;
var    i : integer;
        bxx : ten;
begin
    bxx:= ' ';
    for i:=1 to nz do bxx:=bxx+' ';
    bkt:=bxx;
end;
{-----}
begin
    closegraph;
    textmode(3);
    textcolor(14);
    cau:='Doc cac giatri momen quantinh va momenluc thaythe!';
    writeln(cau);
    repeat
        textcolor(15);

```

```

writeln('Sodong can doc : ');
write('sodong = ');
readln(sodong);
writeln('Cho dong batdau doc : ');
write('dongo = ');
readln(dongo);
clrscr;
textcolor(10);
cau:='Cac giatri Jtt va Mtt can doc';
writeln('          ',cau);
writeln;
textcolor(15);
le:=7;
write(bkt(le));
sk:=7;
textcolor(11);
for i:=1 to 3 do
write('fil',bkt(sk),'oml',bkt(sk));
writeln;
writeln;
le:=le-2;
sk:=sk-3;
j:=dongo;ib:=round((sodong)/3);
sod:=round((nz-dongo));
if ((sodong+dongo)>sod) then ib:=round(sod/3);
textcolor(15);
repeat
write(bkt(le));
for k:=0 to 2 do
begin
write((fi[1,j+ib*k]*180/pi):6:2,bkt(sk));
write(oml[j+ib*k]:6:2);
write(bkt(sk));
end;
writeln;
j:=j+1;
until j>=ib+dongo;
writeln;
ghikq;
cau:='Co doc tiep nua hay thoi (N/T) ? ';
textcolor(12);
writeln('          ',cau);
repeat
ch:=readkey;
until upcase(ch) in ['N','T'];
if (upcase(ch)='N') then clrscr;
until (upcase(ch)='T');
dohoa;

```

```

end;
{=====}
procedure lamdeu;
var   k1,k2,dau : integer;
      ytmax,ytmin : real;
      y1,y2,osupr : mat1r;
{-----}
procedure osup;
var   i : integer;
begin
  for i:=1 to 2 do
    begin
      dau:=3-i*2;
      osupr[i]:=omega1*(1+(dau*deltap/2));
    end;
  end;
{-----}
begin
  clrscr;
  writeln('Hay cho he so khong deu cho phep :');
  write('deltap = ');
  readln(deltap);
  osup;
  for j:=0 to no do
    begin
      y1[j]:=deltae[j]-jtt[j]*sqr(osupr[1])/2;
      y2[j]:=deltae[j]-jtt[j]*sqr(osupr[2])/2;
    end;
  cucdai(0,no,y1,ytmax,k1);
  cuctieu(0,no,y2,ytmin,k2);
  jda:=(ytmax-ytmin)/(deltap*sqr(omega1));
  clrscr;
  textcolor(14);
  writeln('      Ketqua tinh banhda');
  writeln;
  textcolor(11);
  write(' Momen quantinh cua banhda :');
  writeln('jda   = ',jda:6:3);
  write(' Heso khongdeu chophep   :');
  writeln('deltap = ',deltap:6:3);
  nhactext(40,23,13,'An Enter de tieptuc');
  repeat
    maphim;
  until codekb=13;
  dohoa;
end;
{=====}
procedure chonmenu(var Okt :boolean);

```

```

{-----}
procedure display;
begin
  repeat
    cau:='(An fim K de ketthuc chuongtrinh, O de tieptuc)';
    nhacgrap(xmax-400,ymax-20,10,cau);
    ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['K','O'];
    if upcase(ch)='K' then Okt:=true;
  end;
{-----}
begin
  closegraph;
  textmode(3);
  vietfile('a:menu.cdt');
  repeat
    ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['D','V','J','K'];
    case upcase(ch) of
      'D':begin
        dohoa;
        vitenbao;
      end;
      'V':bangomg(no);
      'J':lamdeu;
    end;
    display;
  end;
{=====}
procedure modau;
begin
  clrscr;
  textcolor(15);
  path:= ' ';
  dohoa;
  cleardevice;
  docfile('a:chdgthuc.cht');
  closegraph;
  textmode(3);
end;
{*****}
begin
  modau;
  docdlieu;
  tinhcong(no);
  dohoa;
  xmax:=getmaxx;ymax:=getmaxy;
  Okt:=false;

```

```

omthuc;
repeat
  chonmenu(Okt);
until Okt;
closegraph;
textmode(3);
end.

```

{III.10}

PROGRAM CAMLAN;

```

uses graph,crt,nlmay1,nlmay2;
type ham = function(iz : integer;xz : real) : real;
      matq = array[0..500] of integer;
var   q,lcan,ns,xtam,ytam,rlan : integer;
      tylef,tylec,kf,fio,fi,hanhtrinh,alfamax ,tyles,tylev,tylea : real;
      quy luat : char;
      can : ten;
      bkinh : matli;
      xcamt,ycamt,xcam,ycam:matq;
      fa : matlr;
      xci,yci,xbi,ybi : mat2i;
      ysj,yvj,yaj,xb,yb,fij : mat2r;
      hama,hamv,hams : ham;
      Okdung,Okh,Okv,Okp : boolean;
      filtam : text;

```

{*****}

procedure control(mauz,rz:integer);

var size:integer;

begin

setcolor(mauz);

circle(rz,rz,rz);

setcolor(14);

circle(rz,rz,4);

size:=imagesize(0,0,2*rz,2*rz);

getmem(pter1,size);

getimage(0,0,2*rz,2*rz,pter1^);

putimage(0,0,pter1^,xorput);

end;

{=====}

procedure tructdo(xoz,yoz,dx,dy1,dy2,mauz : integer);

begin

setcolor(mauz);

line(xoz,yoz,xoz+dx,yoz);

line(xoz,yoz-dy1,xoz,yoz+dy2);

end;

{=====}

function dau(iz : integer):integer;

```

begin
  if iz=1 then dau:=1;
  if iz=3 then dau:=-1;
end;
{=====}
function heso(iz : integer):integer;
begin
  if iz=1 then heso:=0;
  if iz=3 then heso:=1;
end;
{=====}
procedure sapdiem(nz : integer;av : mat2i;
                  var qz :integer; var ar :matq);
var   i,j,p,s: integer;
begin
  k:=0;p:=0;
  repeat
    k:=k+1;
    for j:=0 to nz-1 do
      begin
        q:=p+j;
        ar[q]:=av[k,j];
      end;
    p:=q+1;
  until k=4;
  ar[p]:=av[4,no];
  qz:=p;
end;
{=====}
{$F+}
function acesin(iz : integer; fiz : real) : real;
begin
  kf:=2*pi/fa[iz];
  acesin:=dau(iz)*2*pi*hanhtrinh*sin(kf*fiz)/sqr(fa[iz]);
end;
{=====}
function acecos(iz : integer; fiz : real) : real;
begin
  kf:=pi/fa[iz];
  acecos:=dau(iz)*kf*kf*hanhtrinh*cos(kf*fiz)/2;
end;
{=====}
function acehang(iz : integer; fiz : real) : real;
var   dau1,hesol : integer;
begin
  if fiz<=fa[iz]/2 then
    begin
      dau1:=1;hesol:=0;

```

```

end else
begin
  dau1:=-1;hesol:=1;
end;
acehang:=4*hanhtrinh*dau(iz)*dau1/sqr(fa[iz]);
end;
{=====}
function acetinh(iz : integer; fiz : real) : real;
var x : real;
begin
  x:=fa[iz]*sqr(fa[iz]);
  acetinh:=dau(iz)*6*hanhtrinh*(fa[iz]-2*fiz)/x;
end;
{=====}
function vsin(iz : integer; fiz : real) : real;
begin
  kf:=2*pi/fa[iz];
  vsin:=dau(iz)*hanhtrinh*(1-cos(kf*fiz))/fa[iz];
end;
{=====}
function vcos(iz : integer; fiz : real) : real;
begin
  kf:=pi/fa[iz];
  vcos:=dau(iz)*hanhtrinh*kf*sin(kf*fiz)/2;
end;
{=====}
function vhang(iz : integer; fiz : real) : real;
var dau1,hesol : integer;
begin
  if fiz<=fa[iz]/2 then
  begin
    dau1:=1;hesol:=0;
  end else
  begin
    dau1:=-1;hesol:=1;
  end;
  vhang:=4*hanhtrinh*((fiz*dau1/sqr(fa[iz]))+
    (hesol/fa[iz]))*dau(iz);
end;
{=====}
function vtinh(iz : integer; fiz : real) : real;
var x : real;
begin
  x:=sqr(fa[iz])*fa[iz];
  vtinh:=dau(iz)*6*hanhtrinh*(fa[iz]*fiz-fiz*fiz)/x;
end;
{=====}
function ssin(iz : integer; fiz : real) : real;

```

```

begin
  kf:=2*pi/fa[iz];
  ssin:=hanhtrinh*(heso(iz)+
    dau(iz)*(kf*fiz-sin(kf*fiz))/(2*pi));
end;
{=====}
function scos(iz : integer; fiz : real) : real;
begin
  kf:=pi/fa[iz];
  scos:=hanhtrinh*(heso(iz)+dau(iz)*(1-cos(kf*fiz))/2);
end;
{=====}
function shang(iz : integer; fiz : real) : real;
var  dau1,hesol : integer;
begin
  if fiz<=fa[iz]/2 then
    begin
      dau1:=1;hesol:=0;
    end else
    begin
      dau1:=-1;hesol:=1;
    end;
  shang:=hanhtrinh*(((2*fiz*fiz*dau1/sqr(fa[iz])
    +((4*fiz/fa[iz])-1)*hesol)*dau(iz)+heso(iz)));
end;
{=====}
function sttinh(iz : integer; fiz : real) : real;
var  x : real;
begin
  x:=sqr(fa[iz])*fa[iz];
  sttinh:=hanhtrinh*(((dau(iz)*fiz*fiz*(3*fa[iz]-2*fiz)/x +heso(iz)));
end;
{F-}
{=====}
procedure dlcam;
var  phuongan : integer;
     textpa : string[10];
     fildl : text;
{-----}
procedure qlcdcan;
begin
  case quy luat of
    'S':begin
      writeln(' sin');
      hama:=acesin;
      hamv:=vsin;
      hams:=ssin;
    end;

```

```

'C':begin
    writeln(' cos');
    hama:=acecos;
    hamv:=vcos;
    hams:=scos;
end;
'H':begin
    writeln(' hang');
    hama:=acehang;
    hamv:=vhang;
    hams:=shang;
end;
'T':begin
    writeln(' tuyentinh');
    hama:=acettinh;
    hamv:=vttinh;
    hams:=sttinh;
end;
end;
end;
{-----}
procedure fim;
begin
    for i:=1 to 3 do
    begin
        write('fa[i], ' = ');
        readln(fa[i]);
    end;
    fa[4]:=360-(fa[1]+fa[2]+fa[3]);
    for i:=1 to 4 do fa[i]:=fa[i]*pi/180;
    write('hanhtrinh = ');
    readln(hanhtrinh);
    writeln('Quy luat bien thien cua giatoc : ');
    write('( sin (S) hay cos (C) hay ');
    writeln(' hang (H) hay ttinh (T)?)');
    write('quy luat giatoc : ');
    repeat
        ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['S','C','H','T'];
    quy luat:=upcase(ch);
    qlcdcan;
    writeln('Loai can : lac (L) hay day (D) ');
    write('loai can : ');
    repeat
        ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['L','D'];
    can:=upcase(ch);
    if can='L' then writeln('lac');

```

```

if can='D' then writeln('day');
write('alfamax      = ');
readln(alfamax);
alfamax:=alfamax*pi/180;
write('rlan        = ');
readln(rlan);
assign(fildl,tenfile);
rewrite(fildl);
for i:=1 to 4 do writeln(fildl,fa[i]);
writeln(fildl,quyluat);
writeln(fildl,can);
writeln(fildl,alfamax);
writeln(fildl,rlan);
if can='L' then
begin
  hanhtrinh:=hanhtrinh*pi/180;
  write('lcan       = ');
  readln(lcan);
  writeln(fildl,lcan);
end;
writeln(fildl,hanhtrinh);
close(fildl);
nhactext(40,23,12,' An motfim de tieptuc ');
end;

```

```

{-----}
procedure dia;
begin
  assign(fildl,tenfile);
  reset(fildl);
  for i:=1 to 4 do readln(fildl,fa[i]);
  readln(fildl,quyluat);
  readln(fildl,can);
  readln(fildl,alfamax);
  readln(fildl,rlan);
  if can='L' then readln(fildl,lcan);
  readln(fildl,hanhtrinh);
  close(fildl);
  for i:=1 to 4 do
    writeln('fa[i],i'] =',(fa[i]*180/pi):8:2);
  writeln('hanhtrinh =',hanhtrinh:8:2);
  write('quyluat = ');
  qledcan;
  writeln('alfamax =',(alfamax*180/pi):8:2);
  writeln('rlan    =',rlan:5);
  if can='L' then
  begin
    writeln('loaicn = lac');
    writeln('lcan   =',lcan:5);
  end;
end;

```

```

end else writeln('loaicam = day');
nhactext(40,23,12,' An motfim de tieptuc ');
end;
{-----}
begin
closegraph;
textmode(3);
dong:=wherey;
if Okv then
begin
textcolor(11);
writeln(' Co 4 vidu . Muon xem vidu nao (1,2,3,4) ?');
write(' Vidu so : ');
readln(phuongan);
str(phuongan, textpa);
tenfile:='a:viducam'+textpa;
clrscr;
textcolor(13);
writeln('          Thiet ke cam can day lan');
writeln;
textcolor(11);
dia;
end;
if Okp then
begin
textcolor(13);
writeln('          Thiet ke cam can day lan');
tenfile:='a:dlieucam';
repeat
cau:='Cho solieu tu banfim hay tu dia(F/D)';
nhactext(40,23,12,cau);
ch:=readkey;
until upcase(ch) in ['F','D'];
gotoxy(1,2);
textcolor(11);
writeln;
case upcase(ch) of
'F':fim;
'D':dia;
end;
clrscr;
end;
end;
{=====}
procedure triham(hamz : ham; iz : integer ; fiz : real ; var yz : real);
begin
yz:=hamz(iz,fiz);
end;

```

```

=====
procedure avscan;
begin
  for i:=0 to 1 do
  begin
    k:=1+2*i;
    defi:=fa[k]/no;
    for j:=0 to no do
    begin
      fij[k,j]:=j*defi;
      triham(hama,k,fij[k,j],ysj[k,j]);
      triham(hamv,k,fij[k,j],yvj[k,j]);
      triham(hama,k,fij[k,j],yaj[k,j]);
    end;
  end;
end;
=====
procedure tyledthi;
var   ysq,yvq,yaq : matlr;
      maxs,maxv,maxa : real;
      kmax,nw : integer;
{-----}
procedure dothiavs;
var   noo,q : integer;
begin
  k:=1;noo:=0;
  repeat
    for j:=0 to no do
    begin
      q:=noo+j;
      ysq[q]:=ysj[k,j];
      yvq[q]:=yvj[k,j];
      yaq[q]:=yaj[k,j];
    end;
    k:=k+2;noo:=no;
  until k>3;
  nw:=q;
end;
{-----}
begin
  dothiavs;
  cucdai(0,nw,ysq,maxs,kmax);
  cucdai(0,nw,yvq,maxv,kmax);
  cucdai(0,nw,yaq,maxa,kmax);
  tyles:=80/maxs;tylev:=50/maxv;tylea:=50/maxa;
end;
=====
procedure dothiavs;

```

```

var   tylex : real;
      xos,yos,xov,yov,xoa,yoa,dx,ddx,
      kmax : integer;
{-----}
procedure dothi(kz,xoz,yoz : integer; tylex,tyley : real;
               fiz,yz : mat2r);
var   j : integer;
      xx,yy : mat2i;
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    xx[kz,j]:=xoz+round(tylex*fiz[kz,j]*180/pi);
    yy[kz,j]:=yoz-round(tyley*yz[kz,j]);
  end;
  if not(Okh) then
    for j:=0 to no-1 do
      line(xx[kz,j],yy[kz,j],xx[kz,j+1],yy[kz,j+1])
    else begin
      for j:=0 to round(no/2)-1 do
        line(xx[kz,j],yy[kz,j],xx[kz,j+1],yy[kz,j+1]);
      j:=round(no/2);
      yy[kz,j]:=yy[kz,j+1];
      for j:=round(no/2) to no-1 do
        line(xx[kz,j],yy[kz,j],xx[kz,j+1],yy[kz,j+1]);
        line(xx[kz,round(no/2)],yy[kz,round(no/2)-1],
              xx[kz,round(no/2)],yy[kz,no]);
      end;
    end;
  end;
{-----}
begin
  tyledthi;
  Okh:=false;
  if can='L' then tylex:=180/pi else tylex:=1;
  tylef:=1;
  xos:=10;yos:=ymax-50;
  xov:=10;yov:=round(0.5*ymax);
  xoa:=10;yoa:=round(0.2*ymax);
  dx:=round((2*pi-fa[4])*180*tylef/pi);
  ddx:=round((fa[1]+fa[2])*180*tylef/pi);
  tructdo(xos,yos,dx,100,0,11);
  outtextxy(xos+dx+5,yos-5,'Fi');
  tructdo(xov,yov,dx,70,60,11);
  outtextxy(xos+dx+5,yov-5,'Fi');
  tructdo(xoa,yoa,dx,70,60,11);
  outtextxy(xos+dx+5,yoa-5,'Fi');
  i:=0;
  repeat
    xos:=xos+i*ddx;xov:=xos;xoa:=xos;

```

```

k:=2*i+1;
setcolor(14);
dothi(k,xos,yos,tylef,tyles,fij,ysj);
line(330,ymax-178,420,ymax-178);
setcolor(12);
dothi(k,xov,yov,tylef,tylev,fij,yvj);
line(330,ymax-193,420,ymax-193);
setcolor(13);
if quyluat='H' then Okh:=true else Okh:=false;
dothi(k,xoa,yoa,tylef,tylea,fij,yaj);
line(330,ymax-208,420,ymax-208);
setcolor(11);
outtextxy(430,ymax-195,' : vantoc cua can ');
outtextxy(430,ymax-210,' : giatoc cua can ');
outtextxy(430,ymax-180,' : chuyenvi cua can');
Okh:=false;
i:=i+1;
until i=2;
setcolor(12);
rectangle(330,ymax-150,585,ymax-50);
setcolor(10);
settextstyle(1,0,1);
outtextxy(380,ymax-140,'Tyle cac dothi ');
settextstyle(2,0,5);
str(tyles:5:3,textj);
outtextxy(340,ymax-70,'dothi chuyenvi : '+textj);
str(tylev:5:3,textj);
outtextxy(340,ymax-90,'dothi vantoc : '+textj);
str(tylea:5:3,textj);
outtextxy(340,ymax-110,'dothi giatoc : '+textj);
settextstyle(1,0,2);
setcolor(15);
outtextxy(300,ymax-340,'Dothi chuyenvi ,dothi vantoc');
outtextxy(300,ymax-320,' va dothi giatoc cua can ');
settextstyle(0,0,1);
ch:=readkey;
end;
{=====}
procedure diemb;
var k : integer;
{-----}
procedure diembk(k : integer);
var j : integer;
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    if can='L' then
    begin

```

```

    xb[k,j]:=lcan*cos(pi+ysj[k,j]-hanhtrinh/2);
    yb[k,j]:=lcan*sin(pi+ysj[k,j]-hanhtrinh/2);
end;
if can='D' then
begin
    xb[k,j]:=0;
    yb[k,j]:=-ysj[k,j];
end;
end;
end;
{-----}
begin
    k:=1;
    repeat
        diembk(k);
        k:=k+2;
    until k>3;
end;
{=====}
procedure tinhbdau;
begin
    avscan;
    diemb;
end;
{=====}
procedure dgcgB;
begin
    k:=1;
    repeat
        for j:=0 to no do
        begin
            xbi[k,j]:=xo+round(tylec*xb[k,j]);
            ybi[k,j]:=yo+round(tylec*yb[k,j]);
            setcolor(7);
            line(xo,yo,xbi[k,j],ybi[k,j]);
            setcolor(10);
            circle(xbi[k,j],ybi[k,j],1);
        end;
        k:=k+2;
    until k>3;
end;
{=====}
procedure tamcam;
var    q,qq,kmin,wmin : integer;
        jm,vv,ww : mat1i;
        xei,yei,wr,vr : mat2i;
        xe,ye :mat2r;
{-----}

```

```

procedure dieme(k : integer);
begin
  for j:=0 to no do
  begin
    if can='L' then
    begin
      xe[k,j]:=lcan*(1-yvj[k,j])*cos(pi+ysj[k,j] -hanhtrinh/2);
      ye[k,j]:=lcan*(1-yvj[k,j])*sin(pi+ysj[k,j] -hanhtrinh/2);
    end;
    if can='D' then
    begin
      xe[k,j]:=yvj[k,j];
      ye[k,j]:=-ysj[k,j];
    end;
  end;
end;
{-----}

```

```

procedure dgcgE;
begin
  k:=1;
  repeat
    dieme(k);
    for j:=0 to no do
    begin
      xbi[k,j]:=xo+round(tylec*xb[k,j]);
      ybi[k,j]:=yo+round(tylec*yb[k,j]);
      xei[k,j]:=xo+round(tylec*xe[k,j]);
      yei[k,j]:=yo+round(tylec*ye[k,j]);
    end;
    for j:=0 to no do
    begin
      setcolor(7);
      line(xo,yo,xbi[k,j],ybi[k,j]);
      setcolor(10);
      circle(xbi[k,j],ybi[k,j],2);
      setcolor(12);
      circle(xei[k,j],yei[k,j],2);
    end;
    if can='D' then
    begin
      setcolor(7);
      for j:=0 to no-1 do
        line(xei[k,j],yei[k,j],(xei[k,j+1]),yei[k,j+1]);
      end;
      k:=k+2;
    end;
  until k>3;
  setcolor(11);
  for j:=0 to no do

```

```

line(xei[1,j],yei[1,j],xei[3, no-j],yei[3,no-j]);
end;
{-----}
procedure dgdeltaL;
var lamda,x,dx,w : real;
    u : mat1r;
{-----}
procedure vedeltaL;
begin
    k:=1;
    repeat
        x:=20;dx:=6;q:=0;
        repeat
            x:=x+dx;q:=q+1;
            str(q,textj);
            setcolor(15);
            outtextxy(10,10,textj);
            for j:=0 to no do
                begin
                    lamda:=dau(k)*alfamax+ysj[k,j]+(pi-hanhtrinh)/2;
                    u[j]:=yei[k,j]+(x-xei[k,j])*sin(lamda)/cos(lamda);
                end;
            cucdai(0,no,u,w,jm[q]);
            wr[k,q]:=round(w);
            vr[k,q]:=round(x);
            setcolor(7);
            line(vr[k,q],wr[k,q],xei[k,jm[q]],yei[k,jm[q]]);
            setcolor(7);
            circle(vr[k,q],wr[k,q],2);
            delay(20);
            setcolor(0);
            outtextxy(10,10,textj);
            until x>=630;
        qq:=q;
        k:=k+2;
    until k>3;
end;
{-----}
procedure tamclac;
var q : integer;
begin
    for q:=1 to qq do
        begin
            if wr[1,q]>wr[3,q] then
                begin
                    ww[q]:=wr[1,q];
                    vv[q]:=vr[1,q];
                end else

```

```

begin
  ww[q]:=wr[3,q];
  vv[q]:=vr[3,q];
end;
end;
cuctieui(1,qq,ww,wmin,kmin);
xtam:=vv[kmin];ytam:=wmin;
end;
{.....}
begin
  vedeltaL;
  tamclac;
end;
{-----}
procedure dgdeltaD;
var   k : integer;
      lamda,ym : array[1..3] of real;
      km,xmax : array[1..3] of integer;
      xm,ksup : matli;
      yd : matlr;
begin
  k:=1;
  repeat
    lamda[k]:=dau(k)*alfamax+pi/2;
    for j:=0 to no do
      begin
        yd[j]:=(yei[k,j])+((xo-xei[k,j])*sin(lamda[k])/cos(lamda[k])));
      end;
    cucdai(0,no,yd,ym[k],ksup[k]);
    setcolor(13);
    circle(xei[k,ksup[k]],yei[k,ksup[k]],4);
    setfillstyle(1,14);
    floodfill(xei[k,ksup[k]],yei[k,ksup[k]],13);
    xm[ksup[k]]:=xei[k,ksup[k]]- round(dau(k)
      *(ymax-yei[k,ksup[k]])*sin(alfamax)/cos(alfamax));
    setcolor(7);
    line(xm[ksup[k]],ymax,xei[k,ksup[k]],yei[k,ksup[k]]);
    k:=k+2;
  until k>3;
  ytam:=round((ym[1]+ym[3])/2);
  xtam:=xo-round((ytam-ym[1])*sin(alfamax)/cos(alfamax));
end;
{-----}
procedure bankinh;
var   ss : word;
begin
  ss:=sqr(xtam-xbi[1,0]);
  ss:=ss+sqr(ytam-ybi[1,0]);

```

```

bkinh[4]:=round(sqrt(ss));
ss:=sqr(xtam-xbi[1,no]);
ss:=ss+sqr(ytam-ybi[1,no]);
bkinh[2]:=round(sqrt(ss));
end;
{-----}
procedure deten;
begin
  setfillstyle(1,11);
  floodfill(xtam,ymax-10,7);
  setcolor(1);
  settextstyle(1,0,4);
  outtextxy(xtam-75,ymax-60,'Mien tam cam');
  settextstyle(1,0,1);
  setcolor(12);
  circle(xo,yo,5);
  circle(xtam,ytam,5);
  setfillstyle(1,1);
  floodfill(xtam,ytam,12);
  floodfill(xo,yo,12);
  setcolor(13);
  outtextxy(xtam+30,ytam-25,'Tam cam O1');
  if can='L' then
    outtextxy(xo-40,yo-35,'Tam can O2');
    settextstyle(0,0,1);
    setfillstyle(1,0);
    bar(0,ymax-20,650,ymax);
    setcolor(15);
end;
{-----}
begin
  dgcgE;
  if can='L' then dgdeltaL;
  if can='D' then dgdeltaD;
  bankinh;
  deten;
  nhacgrap(10,ymax-20,12,'An motfim de tieptuc');
  cleardevice;
end;
{=====}
procedure bdglyth(mauz : integer);
{-----}
procedure vecgtron(kz : integer);
var i,q:integer;
    xaa,yaa : integer;
    ff,defi,fi : real;
    xxr,yyr : mat2i;
begin

```

```

if kz=2 then q:=no;
if kz=4 then q:=0;
ff:=0;
for i:=1 to kz-1 do ff:=ff+fa[i];
defi:=fa[kz]/no;
for j:=0 to no do
begin
  fi:=-ff-j*defi;
  quayvari(xtam,ytam,xbi[1,q],ybi[1,q],fi,xci[kz,j],yci[kz,j]);
end;
setcolor(mauz);
for j:=0 to no-1 do
line(xci[kz,j],yci[kz,j],xcik[kz,j+1],ycik[kz,j+1]);
end;
{-----}
begin
  for i:=0 to 1 do
  begin
    fio:=i*(fa[1]+fa[2]);
    k:=2*i+1;
    defi:=fa[k]/no;
    for j:=0 to no do
    begin
      fi:=fio+j*defi;
      quayvari(xtam,ytam,xbi[k,j],ybi[k,j],-fi,xci[k,j],yci[k,j]);
    end;
  end;
  setcolor(mauz);
  for i:=0 to 1 do
  begin
    k:=2*i+1;
    for j:=0 to no-1 do
    line(xci[k,j],yci[k,j],xcik[k,j+1],ycik[k,j+1]);
    vecgtron(k+1);
  end;
end;
{=====}
procedure bdgthuc(dauz :integer);
var j : integer;
    dx,dy,ds,deltax,deltay : real;
begin
  j:=0;
  repeat
    j:=j+1;
    dx:=xcam[j]-xcam[j-1];
    dy:=ycam[j]-ycam[j-1];
    ds:=sqrt(sqr(dx)+sqr(dy));
    deltax:=-dauz*rlan*dy/ds;

```

```

deltay:=dauz*rlan*dx/ds;
xcamt[j-1]:=round(xcam[j-1]+deltax);
ycamt[j-1]:=round(ycam[j-1]+deltay);
until j=ns;
end;
{=====}
procedure baohinh;
{-----}
procedure vbaohinh;
begin
  setcolor(13);
  for j:=0 to ns-2 do
    begin
      line(xcam[j],ycamt[j],xcamt[j+1],ycamt[j+1]);
      delay(30);
    end;
    line(xcam[ns-1],ycamt[ns-1],xcamt[0],ycamt[0]);
  end;
  {-----}
  procedure conlan(rlan:integer);
  begin
    for j:=0 to ns-1 do putimage(xcam[j]-rlan,ycam[j]-rlan,pter1^,orput);
  end;
  {-----}
  begin
    sapdiem(no,xci,ns,xcam);
    sapdiem(no,yci,ns,ycam);
    conlan(rlan);
    bdgthuc(1);
    vbaohinh;
    bdgthuc(-1);
    vbaohinh;
    ch:=readkey;
  end;
  {=====}
  procedure vecam;
  begin
    dgcgB;
    setcolor(12);
    circle(xtam,ytam,5);
    circle(xo,yo,5);
    setfillstyle(1,1);
    floodfill(xo,yo,12);
    floodfill(xtam,ytam,12);
    bdglyth(10);
    baohinh;
    if can='L' then
      begin

```

```

setcolor(12);
line(xtam,ytam,xo,yo);
end else if can='D' then
begin
    setlinestyle(2,0,1);
    setcolor(7);
    line(xo,ytam,xtam,ytam);
    setlinestyle(0,0,1);
    setcolor(10);
    line(xo,yo,xo,ytam);
    setttextstyle(2,0,4);
    outtextxy(xtam+10,ytam+15,'Tamsai e');
end;
end;
{=====}
procedure chbive;
begin
    dohoa;
    tylescr(tylesc);
    ymax:=getmaxy;
    if can='L' then
    begin
        xo:=560;yo:=90;
    end;
    if can='D' then
    begin
        xo:=360;yo:=120;
    end;
    tylec:=1.8;
end;
{=====}
procedure thkecam;
begin
    tinhbdau;
    chbive;
    dothiavs;
    nhacgrap(10,ymax-20,12,'An motfim de tieptuc');
    ch:=readkey;
    cleardevice;
    tamcam;
    control(6,round(rlan));
    dgcgB;
    vecam;
    cau:="Tieptuc nua (N) hay ketthuc (K)";
    nhacgrap(10,ymax-20,12,cau);
    repeat
        ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['N','K'];

```

```

if upcase(ch)='N' then
begin
  cleardevice;
  Okdung:=false;
  if Okv then
  begin
    cau:='Tieptuc xem vidu (V) khac hay tu cho solieu (T)';
    nhacgrap(10,ymax-20,10,cau);
    repeat
      cleardevice;
      ch:=readkey;
    until upcase(ch) in ['V','T'];
    if upcase(ch)='T' then
    begin
      Okv:=false;Okp:=true;
    end;
  end;
end else if upcase(ch)='K' then Okdung:=true;
end;
{=====}
procedure gthieu;
begin
  clrscr;
  textcolor(15);
  path:='';
  dohoa;
  cleardevice;
  docfile('a:cam.cht');
  cleardevice;
  cau:=' Xem vidu (V) hay tu cho solieu (T) ?';
  nhacgrap(10,ymax-20,12,cau);
  repeat
    cleardevice;
    ch:=readkey;
  until upcase(ch) in ['V','T'];
  Okv:=( upcase(ch)='V');
  Okp:=( upcase(ch)='T');
  cleardevice;
end;
{*****}
begin
  gthieu;
  no:=18;
  repeat
    dlcam;
    thkecam;
  until Okdung;
  closegraph;

```

```

textmode(3);
textcolor(15);
end.

```

{III.11}

PROGRAM BANHRANG;

uses graph,crt,nlmay1,nlmay2;

var q : integer;

z : matli;

rc,ro,rl,re,ri,ksi,alfae,ldh,lch,ksic,muy,se,sd,ksigh : matlr;

alfal,tetac,tetal,ksit,lamda, nuy,epsilon,ksisup : real;

cau1,cau2,texti: ten;

hamse,hameps : ham;

ksiz: matlr;

Okcbg : boolean ;

{*****}

procedure brgbuocl;

var xx,yy : real;

{-----}

procedure alfalan;

var aa,bb : real;

begin

aa:=(ro[1]+ro[2])/atam;

bb:=sqrt(1-aa*aa);

alfal:=gocx(aa,bb);

end;

{-----}

procedure ldaksinu;

begin

ksit:=(z[1]+z[2])*(tetal-tetac)/(2*xx);

lamda:=(atam-(rc[1]+rc[2]))/modun;

nuy:=ksit-lamda;

end;

{-----}

begin

z[1]:=trunc(2*atam/(modun*(1+i12)));

z[2]:=round(z[1]*i12);

for i:=1 to 2 do

begin

rc[i]:=z[i]*modun/2;

ro[i]:=rc[i]*cos(alfa);

end;

alfalan;

for i:=1 to 2 do rl[i]:=ro[i]/cos(alfal);

xx:=sin(alfa)/cos(alfa);

yy:=sin(alfal)/cos(alfal);

tetac:=involute(alfa);

```

tetal:=involute(alfal);
ldaksinu;
end;
{=====}
procedure ktrsolieu;
var   Okchon : boolean;
{-----}
procedure chon;
begin
  if (z[1]+z[2])>=(34-round(17*ksit)) then Okchon:=true;
  else Okchon:=false;
end;
{-----}
begin
  repeat
    brgbuocl;
    chon;
    if not(Okchon) then
      begin
        writeln(' Solieu chon chua hoply');
        cau:='An fim batky sau do anfim F de chon lai solieu !';
        nhactext(1,2,12,cau);
        ch:=readkey;
        dlbrg;
      end;
    until Okchon;
  end;
  {=====}
  procedure ghanksi;
  var   x1,x2 : real;
  begin
    ksigh[1]:=(17-z[1])/17;
    x1:=(17-z[2])/17;x2:=nuy-1;
    if x1<x2 then ksigh[2]:=ksit-x2
    else ksigh[2]:=ksit-x1;
  end;
  {=====}
  {$F+}
  procedure vongdinh(ksix : real);
  var   i,is : integer;
        aa,bb : real;
  begin
    ksi[1]:=ksix;ksi[2]:=ksit-ksix;
    for i:=1 to 2 do
      begin
        re[i]:=rc[i]+modun*(1+ksi[i]-nuy);
        aa:=ro[i]/re[i];bb:=sqrt(1-aa*aa);
        alfae[i]:=gocx(aa,bb);
      end;
    end;
  end;

```

```

ldh[i]:=sqrt(re[i]*re[i]-ro[i]*ro[i]);
is:=(i mod 2)+1;
lch[is]:=atam*sin(alfal)-ldh[i];
end;
end;
{=====}
procedure tinhs(ksix : real);
var   tetae : mat1r;
begin
  ksi[1]:=ksix;ksi[2]:=ksit-ksi[1];
  vongdinh(ksi[1]);
  tetac:=involute(alfa);
  for i:=1 to 2 do
    begin
      sd[i]:=modun*(pi/2+(2*ksi[i]*sin(alfa)/cos(alfa)));
      tetae[i]:=involute(alfae[i]);
      se[i]:=2*re[i]*(tetac-tetae[i]+(sd[i]/(2*rc[i])));
    end;
  end;
end;
{=====}
function dse1(ksix : real) : real;
begin
  tinhs(ksix);
  dse1:=se[1]-0.4*modun;
end;
{=====}
function dse2(ksix : real) : real;
begin
  tinhs(ksix);
  dse2:=se[2]-0.4*modun;
end;
{=====}
function epsil(ksix : real) : real;
var   xx : real;
begin
  vongdinh(ksix);
  xx:=ldh[1]+ldh[2]-atam*sin(alfal);
  epsil:=xx/(pi*modun*cos(alfa));
end;
{=====}
function depsil(ksix : real) : real;
begin
  depsil:=epsil(ksix)-1.1;
end;
{=====}
procedure tinhmuy(ksix : real);
var   is,iq : integer;
begin

```

```

vongdinh(ksix);
for iq:=1 to 2 do
begin
  is:=(iq mod 2)+1;
  muy[iq]:=1-lch[is]*rc[iq]/(lch[iq]*rc[is]);
end;
end;
{=====}
function demuy(ksix : real) : real;
var  is,iq : integer;
begin
  tinhmuy(ksix);
  demuy:=muy[1]*i12-muy[2];
end;
{$F-}
{=====}
procedure nghiem(hamz : ham; xoz,xmz,buoc,saiso : real;
  var songhiem : integer; var nghiemz : mat1r);
var  x,dx,y,yo,y1,dxo,dx1,tich : real;
  Ok,chuaco : boolean;
  i,j : integer;
  zz:real;
begin
  x:=xoz-buoc;j:=0;textcolor(11);
  while x<=xmz do
  begin
    Ok:=true;chuaco:=true;dx:=buoc;i:=0;
    while Ok and (x<=xmz) do
    begin
      gotoxy(1,1);
      textcolor(15);
      write(i);
      x:=x+dx;i:=i+1;
      y:=hamz(x);
      if (abs(y)<=saiso) then
      begin
        j:=j+1;nghiemz[j]:=x;Ok:=false;
      end else
      begin
        if i>1 then
        begin
          tich:=y*yo;
          if tich<0 then
          begin
            dxo:=dx;dx:=dxo*y/(yo-y);dx1:=dx+dxo;
            y1:=yo;chuaco:=false;
          end else if not(chuaco) then
          begin

```

```

        yo:=y1;dxo:=dx1;dx:=dxo*y/(yo-y);dx1:=dx+dxo;
    end;
    end;
    gotoxy(1,1);
    textcolor(0);
    write(i);
    yo:=y;
    end;
    end;
    songhiem:=j;
    gotoxy(1,1);
    textcolor(0);
    write(i);
    clrscr;
    textcolor(15);
end;
{=====}
procedure cbgmuy;
begin
    nghiem(demuy,ksigh[1],ksigh[2],0.1,0.001,q,ksiz);
    if q>0 then
        begin
            ksi[1]:=ksiz[1];
            Okcbg:=true;
        end else
        begin
            Okcbg:=false;
            writeln(' Khong co nghiem');
            ksi[1]:=ksisup;
        end;
    end;
end;
{=====}
procedure brgbuoc2;
var    ksup : integer;
begin
    ghanksi;
    nghiem(dse2,ksigh[1],ksigh[2],0.05,0.001,q,ksiz);
    if q>0 then ksic[1]:=ksiz[1]
    else ksic[1]:=ksigh[2];
    nghiem(dse1,ksigh[1],ksigh[2],0.05,0.001,q,ksiz);
    if q>0 then ksic[2]:=ksiz[1]
    else ksic[2]:=ksigh[2];
    nghiem(depsil,ksigh[1],ksigh[2],0.05,0.001,q,ksiz);
    if q>0 then ksic[3]:=ksiz[1]
    else ksic[3]:=ksigh[2];
    cuctieu(1,3,ksic,ksisup,ksup);
    cbgmuy;

```

```

end;
{=====}
procedure tinhthso;
begin
    ksi[2]:=ksit-ksi[1];
    vongdinh(ksi[1]);
    for i:=1 to 2 do
    begin
        ri[i]:=rc[i]-(1.25-ksi[i])*modun;
        re[i]:=atam-ri[i]-0.25*modun;
        sd[i]:=modun*((2*ksi[i]*sin(alfa)/cos(alfa))+pi/2);
    end;
    tinhhs(ksi[1]);
    epsilon:=epsil(ksi[1]);
    tinhmuy(ksi[1]);
end;
{=====}
procedure ketqua;
begin
    clrscr;
    textcolor(14);
    cau:='Cac solieu cho truoc cua cap banhrang';
    writeln(bkt(18),cau);
    textcolor(11);
    cau:='Khoangcachtruc'+bkt(12)+' : A    =';
    writeln(cau, atam:6:2);
    writeln('Modun',bkt(21),' : m    =', modun:6:2);
    write('Goc apluc tren vongchia',bkt(3),' : alfa    =');
    writeln((alfa*180/pi):6:2);
    writeln('Tisotruyen',bkt(16),' : i12    =',i12:6:2);
    textcolor(13);
    cau:='Cac thongso ankhop';
    writeln(bkt(25),cau);
    textcolor(15);
    write('1 - Bankinh cac vonglan    :');
    for i:=1 to 2 do
    write(' rl[' ,i,'] =',rl[i]:6:2,' ');
    writeln;
    write('2 - Gocankhop ',bkt(12));
    writeln(' : alfalan =',(alfal*180/pi):6:2);
    write('3 - Heso dichdao tong',bkt(5));
    writeln(' : ksit    =',ksit:6:3);
    write('4 - Heso phanly',bkt(11));
    writeln(' : lamda    =',lamda:6:3);
    write('5 - Heso giam chieucac rang :');
    writeln(' nuy    =',nuy:6:3);
    write('6 - Heso trungkhop    :');
    textcolor(12);

```

```

writeln(' epsilon = ',epsilon:6:3);
textcolor(13);
cau:='Cac thongso chetao';
writeln(bkt(26),cau);
textcolor(10);
write('1 - So rang cac banhrang   ');
for i:=1 to 2 do
write(' z['i,'] =',bkt(1),z[i]:6,bkt(2));
writeln;
write('2 - Bankinh cac vongchia   ');
for i:=1 to 2 do
write(' rc['i,'] =',bkt(1),rc[i]:6:2,bkt(2));
writeln;
write('3 - Bankinh cac vongcoso   ');
for i:=1 to 2 do
write(' ro['i,'] =',bkt(1),ro[i]:6:2,bkt(2));
writeln;
write('4 - Heso dich dao',bkt(10),': ');
for i:=1 to 2 do
write(' ksi['i,'] =',bkt(1),ksi[i]:6:3,bkt(2));
writeln;
write('5 - Bankinh cac vongdinh   ');
for i:=1 to 2 do
write(' re['i,'] =',bkt(1),re[i]:6:2,bkt(2));
writeln;
write('6 - Bankinh cac vongchan   ');
for i:=1 to 2 do
write(' ri['i,'] =',bkt(1),ri[i]:6:2,bkt(2));
writeln;
write('7 - Chieulongrang vongchia ');
for i:=1 to 2 do
write(' sd['i,'] =',bkt(1),sd[i]:6:2,bkt(2));
writeln;
write('8 - Chieulongrang vongdinh ');
textcolor(12);
for i:=1 to 2 do
write(' se['i,'] =',bkt(1),se[i]:6:2,bkt(2));
writeln;
textcolor(10);
write('9 - Hesotruot chanrang     ');
textcolor(12);
for i:=1 to 2 do
write(' muy['i,'] =',bkt(1),muy[i]:6:3,bkt(1));
writeln;
str((muy[1]*i12):7:3,texti);
caul:='Khong canbangduoc hesotruot :muy[1]*i12 = ';
caul:=caul+texti;

```

```

str(muy[2]:7:3,texti);
cau1:=cau1+' muy[2] = '+texti;
str((muy[1]*i12):7:3,texti);
cau2:='Da canbangduoc hesotruot :muy[1]*i12 = ';
cau2:=cau2+texti;
str(muy[2]:7:3,texti);
cau2:=cau2+' muy[2] = '+texti;
textcolor(14);
if not(Okcbg) then writeln(cau1) else writeln(cau2);
nhactext(30,24,12,'( An mot fim de tiep tuc )');
ch:=readkey;
end;
{=====}
procedure gthieu;
begin
  clrscr;
  path:=' ';
  dohoa;
  cleardevice;
  docfile('a:brang.cht');
  closegraph;
  textmode(3);
  clrscr;
end;
{*****}
begin
  gthieu;
  repeat
    dlbrg;
    ktrsolieu;
    brgbuoc1;
    brgbuoc2;
    tinhthso;
    ketqua;
    cau:=' Tieptucnua (N) nua hay ketthuc (K) ?';
    nhactext(20,24,13,cau);
    repeat
      ch:=readkey;
      until upcase(ch) in ['N','K'];
    until upcase(ch)='K';
    textcolor(15);
    clrscr;
  end.

```

IV. MỘT SỐ CHƯƠNG TRÌNH DÙNG TRONG PHƯƠNG PHÁP NHUỘM MÀU

Phần này giới thiệu một phương pháp đồ thị trên máy vi tính gọi là phương pháp nhuộm màu để giải một số bài tính kỹ thuật, cơ sở lý thuyết của phương pháp này đã được trình bày trong sách "Ứng dụng tin học trong thiết kế Nguyên lý máy" [1]. Trong phương pháp nhuộm màu ta khai thác màu của các hình trên máy tính để thực hiện các thuật toán khác nhau, như : xác định tọa độ của các điểm nằm trên một đường cong, xác định sự tiếp xúc của các đường, xác định vòng tròn nhỏ nhất ngoại tiếp với một hình bất kỳ, xác định vòng tròn to nhất nội tiếp với một đường cong kín bất kỳ. Những thuật toán này có thể được ứng dụng trong nhiều bài tính kỹ thuật, ví dụ như tìm điều kiện quay liên tục của khâu nối giá của cơ cấu sáu khâu. Về mặt lý thuyết, điều kiện quay liên tục này đã được trình bày trong sách " Nguyên lý máy - tập 1 " [2]. Các chương trình này có sử dụng *UNIT NLYMAY1* và được ký hiệu từ IV.01 đến IV.04 :

IV.01 : *PROGRAM NHMAU1* : Chương trình xác định tọa độ các điểm nằm trên một đường cong kín trên màn hình, đường cong này là kết quả của một phép vẽ từ trước mà ta chưa biết phương trình và tọa độ các điểm của nó.

IV.02 : *PROGRAM NHMAU2* : Chương trình xác định tọa độ các điểm nằm trên đường biên của một hình.

IV.03 : *PROGRAM NHMAU3* : Chương trình tìm một đường tròn lớn nhất nằm trong một miền đã cho. Ở đây miền này chính là miền với tới của đầu thanh truyền được tạo bởi cơ cấu bốn khâu bản lề phụ.

IV.04 : *PROGRAM NHMAU4* : Chương trình tìm một đường tròn nhỏ nhất bao hàm một miền cho trước.

{IV.01}

PROGRAM NHMAU1;

uses crt,graph,nlmay1;

const n = 2000;

type ten = string[50];

mat1i = array[0..n] of integer;

mat1r = array[0..n] of real;

mat2i = array[0..10,1..12] of integer;

var im,iq,is,js,mm,no,xo,yo,xmin,ymin,ymaxx,maux,xd,yd,bkinh,suppl : integer;

mi,sonut,xnut,ynut,xc,yc,xk,yk : mat1i;

jn : mat2i;

pter2 : pointer;

Ok1,Ok2 : boolean;

*{*****}*

procedure vietxoa(xz,yz,mau : integer; cau : ten);

begin

```

setcolor(mau);
outtextxy(xz,yz,cau);
end;
{=====}
procedure anhtron(maubien,maunen,rz : integer);
var size : integer;
begin
setcolor(maubien);
circle(rz,rz,rz);
setfillstyle(1,maunen);
floodfill(rz,rz,maubien);
size:=imagesize(0,0,2*rz,2*rz);
getmem(pter2,size);
getimage(0,0,2*rz,2*rz,pter2^);
putimage(0,0,pter2^,xorput);
end;
{=====}
procedure ve1mien;
{-----}
procedure duongC(mauzl : integer);
var xa,ya : matli;
begin
xa[1]:=100;ya[1]:=110;xa[2]:=230;ya[2]:=110;xa[3]:=281;
ya[3]:=144;xa[4]:=238;ya[4]:=163;xa[5]:=200;ya[5]:=136;
xa[6]:=289;ya[6]:=116;xa[7]:=300;ya[7]:=124;xa[8]:=290;
ya[8]:=200;xa[9]:=200;ya[9]:=260;xa[10]:=195;ya[10]:=220;
xa[11]:=210;ya[11]:=205;xa[12]:=225;ya[12]:=220;
xa[13]:=210;ya[13]:=231;xa[14]:=187;ya[14]:=207;
setcolor(mauzl);
xa[0]:=xa[14];ya[0]:=ya[14];
for i:=0 to 13 do line(xa[i],ya[i],xa[i+1],ya[i+1]);
end;
{-----}
begin
settextstyle(0,0,1);
setcolor(15);
outtextxy(10,ymaxx-40,' Ve mot duongcong ');
xmin:=130;xmax:=355;ymin:=90;ymax:=260;
duongC(13);
anhdiem(14);
bkinh:=20;
anhtron(10,11,bkinh);
nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tục )');
setcolor(0);

```

```

readkey;
outtextxy(10,ymaxx-40,'Ve mot duongcong.');
```

```

end;
{=====}
procedure ban(xz1,xz2,yz,mauz1,mauz2 : integer);
begin
  yd:=yz;
  repeat
    xd:=xz1;
    repeat
      setcolor(14);
      outtextxy(10,yd,'*');
      xd:=xd+1;
      putimage(xd-1,yd-1,pter1^,xorput);
      maux:=getpixel(xd,yd);
      delay(2);
      putimage(xd-1,yd-1,pter1^,xorput);
      setcolor(0);
      outtextxy(10,yd,'*');
    until (maux=(mauz1 xor mauz2)) or (xd>=xz2);
    if xd>=xz2 then yd:=yd+10;
  until maux=(mauz1 xor mauz2);
end;
{=====}
procedure matmau(xz,yz,mauchuan : integer);
var  xt,yt,xu,yu,i,j : integer;
begin
  Ok1:=false;im:=0;
  xt:=xz-2;yt:=yz-2;
  for i:=1 to 3 do
    for j:=1 to 3 do
      begin
        xu:=xt+j;yu:=yt+i;
        maux:=getpixel(xu,yu);
        if maux=mauchuan then
          begin
            im:=im+1;
            xk[im]:=xu,yk[im]:=yu;
            Ok1:=true;
          end;
      end;
    end;
  end;
{=====}
procedure laytdo(var xv,yv : matli;mauchuan : integer);

```

```

var    ddx,ddy : integer;
begin
  Ok2:=true;is:=0;
  repeat
    js:=js+1;
    matmau(xd,yd,mauchuan);
    ddx:=abs(xd-xo);ddy:=abs(yd-yo);
    if im>=4 then
      begin
        is:=is+1;
        xnut[is]:=xd;ynut[is]:=yd;
        jn[iq,is]:=js;
      end;
    if im<=1 then
      begin
        if (ddx<=1) and (ddy<=1) then Ok2:=false else
          begin
            repeat
              js:=js-1;
              xd:=xv[js];yd:=yv[js];
              matmau(xd,yd,mauchuan);
            until Ok1;
          end;
        end;
        putimage(xd-1,yd-1,pter1^,orput);
        xd:=xk[1];yd:=yk[1];
        if not(Ok1) then
          begin
            i:=1;
            repeat
              i:=i+1;
              xd:=xk[i];yd:=yk[i];
              matmau(xd,yd,mauchuan);
            until Ok1;
          end;
        xv[js]:=xd;yv[js]:=yd;
        if ymin>yv[js] then ymin:=yv[js];
      until not(Ok2);
      sonut[iq]:=is;
      mi[iq]:=js-1;
    end;
  {=====}
  procedure vong(mauchuan : integer);
  var    jp : integer;

```

```

        xb,yb : matli;
begin
    js:=jn[0,iq];jp:=js;
    xd:=xnut[iq];yd:=ynut[iq];
    xo:=xd;yo:=yd;
    laytdo(xb,yb,mauchuan);
    suppl:=mi[iq]-jp;
    mm:=mm+suppl;
    for i:=mi[iq]+1 to mm do
    begin
        xb[i]:=xc[i-suppl];yb[i]:=yc[i-suppl];
    end;
    for i:=jp+1 to mm do
    begin
        xc[i]:=xb[i];yc[i]:=yb[i];
    end;
end;
{=====}
procedure banvaoC;
begin
    vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Ban vao duongcong');
    ban(20,350,100,13,14);
    iq:=0;
    js:=0;xc[js]:=xd;yc[js]:=yd;xo:=xd;yo:=yd;
    ymin:=300;
    nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tục )');
    readkey;
    vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Ban vao duongcong');
end;
{=====}
procedure laytdoC;
begin
    vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Lay toado cac diem tren duongcong');
    laytdo(xc,yc,13);
    mm:=mi[0];suppl:=0;
    iq:=1;
    repeat
        vong(13);
        for i:=iq+1 to sonut[0] do jn[0,i]:=jn[0,i]+suppl;
        iq:=iq+1;
    until iq>sonut[0];
    iq:=iq+1;
    nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tục )');
    readkey;

```

```

vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Lay toado cac diem tren duongcong');
end;
{=====}
procedure velaiC;
begin
vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Ve duongcong theo toado moi xac dinh');
setcolor(14);
for i:=0 to mm-1 do
begin
line(xc[i]+250,yc[i],xc[i+1]+250,yc[i+1]);
delay(1);
end;
nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tục ));
readkey;
vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Ve duongcong theo toado moi xac dinh');
end;
{=====}
procedure baohinhB;
begin
vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Ve baohinh');
for i:=0 to mm-1 do
putlnage(xc[i]-bkinh,yc[i]-bkinh,pter2^,orput);
nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tục ));
readkey;
vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Ve baohinh');
end;
{=====}
procedure banvaoBe;
begin
vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Ban duong baohinh ngoai');
ban(20,350,ymin,10,14);
iq:=iq+1;
js:=0;xc[js]:=xd;yc[js]:=yd;xo:=xd;yo:=yd;
nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tục ));
readkey;
vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Ban duong baohinh ngoai');
end;
{=====}
procedure laytdoBe;
begin
vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Lay toado cac diem tren baohinh ngoai');
laytdo(xc,yc,10);
nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tục ));
readkey;

```

```

    vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Lay toado cac diem tren baohinh ngoai');
end;
{=====}
procedure velaiBe;
begin
    vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Ve lai duong baohinh ngoai');
    setcolor(11);
    for i:=0 to mi[iq]-1 do
        begin
            line(xc[i]+250,yc[i],xc[i+1]+250,yc[i+1]);
            delay(1);
        end;
    nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tuc )');
    readkey;
    vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Ve lai duong baohinh ngoai');
end;
{=====}
procedure banvaoBi;
begin
    vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Ban duong baohinh trong');
    ban(20,350,ymin,10,14);
    setcolor(13);
    iq:=iq+1;
    js:=0;xc[js]:=xd;yc[js]:=yd;xo:=xd;yo:=yd;
    nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tuc )');
    readkey;
    vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Ban duong baohinh trong');
end;
{=====}
procedure laytdoBi;
begin
    vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Lay toado cac diem tren baohinh trong');
    laytdo(xc,yc,10);
    nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tuc )');
    readkey;
    vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Lay toado cac diem tren baohinh trong');
end;
{=====}
procedure velaiBi;
begin
    vietxoa(10,ymaxx-40,15,'Ve lai duong baohinh trong');
    setcolor(12);
    for i:=0 to mi[iq]-1 do
        begin

```

```

    line(xc[i]+250,yc[i],xc[i+1]+250,yc[i+1]);
    delay(1);
end;
nhacgrap(10,ymaxx-20,12,'( An fim bat ky de tiep tục )');
readkey;
vietxoa(10,ymaxx-40,0,'Ve lai duong baohinh trong');
end.
{=====}
procedure modau;
begin
    clrscr;
    path:="";
    textcolor(15);
    dohoa;
    cleardevice;
end;
{*****}
begin
    modau;
    ymaxx:=getmaxy;
    velmien;
    banvaoC;
    laytdoC;
    velaiC;
    baohinhB;
    banvaoBe;
    laytdoBe;
    velaiBe;
    banvaoBi;
    laytdoBi;
    velaiBi;
    setcolor(12);
    outtextxy(300,ymaxx-30,'Ket thuc chuongtrinh');
    ch:=readkey;
    closegraph;
end.

```

{IV.02}

PROGRAM NHMAU2;

uses crt,graph,nlmay1;

type matli = array[0..1500] of integer;

```

var    xd,yd,xv,yv,no,xo,yo,ito,ms,ik,maux,mauxo,m : integer;
        uu,vv,xk,yk : matli;
        kk : array[0..2,0..2] of integer;
        tapc : set of byte;
{*****}
procedure vietxoa(xz,yz,mauvx : integer; cau : ten);
begin
    setcolor(mauvx);
    outtextxy(xz,yz,cau);
end;
{=====}
procedure mienT;
var    defi,fio,fi : real;
        xt,yt : integer;
begin
    xt:=-80;yt:=400;
    defi:=pi/120;fio:=-pi/6;
    setcolor(13);
    for i:=0 to 40 do
    begin
        fi:=fio+i*defi;
        xk[i]:=xt+round(250*cos(fi));
        yk[i]:=yt-round(250*cos(fi));
        circle(xk[i],yk[i],100);
    end;
    setcolor(13);
    rectangle(10,40,300,290);
    setfillstyle(1,15);
    floodfill(11,41,13);
    setfillstyle(1,11);
    floodfill(xk[1],yk[1],15);
    setfillstyle(1,0);
    floodfill(11,11,11);
    setcolor(14);
    circle(xk[30],yk[30]+30,80);
    setfillstyle(1,0);
    floodfill(xk[30],yk[30]+30,14);
    setcolor(0);
    circle(xk[30],yk[30]+30,80);
end;
{=====}
procedure ban(xz1,yz,mauz1,mauz2 : integer; var xd,yd : integer);
var    Okx,Okmau : boolean;
        i,jk,m,maux : integer;

```

```

begin
  xd:=xz1,yd:=yz;
  repeat
    xd:=xd+1;
    putimage(xd-1,yd-1,pter1^,xorput);
    maux:=getpixel(xd,yd);
    delay(5);
    putimage(xd-1,yd-1,pter1^,xorput);
    Okmau:= (maux= (mauz1 xor mauz2));
  until Okmau;
  putimage(xd-1,yd-1,pter1^,xorput);
end;
{=====}
procedure matcol(xv,yv : integer; var uu,vv : matli);
var   j,i,a,k,xg,yg : integer;
{-----}
procedure xepo;
var   i,a,k : integer;
begin
  i:=1;
  for a:=1 to 3 do kk[i,a]:=a;
  i:=2;
  for m:=0 to 1 do
    begin
      a:=2*m+1;
      kk[i,a]:=2*(5-a);
    end;
  i:=3;
  for a:=1 to 3 do kk[i,a]:=8-a;
  kk[2,2]:=0;
end;
{-----}
begin
  xepo;
  xg:=xv-2,yg:=yv-2;
  i:=1;
  for j:=1 to 3 do
    begin
      uu[kk[i,j]]:=xg+j;vv[kk[i,j]]:=yg+i
    end;
  i:=2;
  for m:=0 to 1 do
    begin
      j:=2*m+1;

```

```

    uu[kk[i,j]]:=xg+j;vv[kk[i,j]]:=yg+i;
end;
i:=3;
for j:=1 to 3 do
begin
    uu[kk[i,j]]:=xg+j;vv[kk[i,j]]:=yg+i;
end;
uu[kk[2,2]]:=xv;vv[kk[2,2]]:=yv;
uu[9]:=uu[1];vv[9]:=vv[1];
end;
{=====}
procedure dgvien(xv,yv : integer; var xd,yd : integer);
var    i,s,j,k,xoo,yoo : integer;
       Ok,Ok11,Ox : boolean;
{-----}
procedure ktra;
begin
    j:=1;
    matcol(xv,yv,uu,vv);
    repeat
        Ok11:=(getpixel(uu[j],vv[j])=11);
        j:=j+1;
    until ((Ok11) or (j=10));
end;
{-----}
procedure lui;
begin
    repeat
        ik:=ik-1;
        setcolor(12);
        xv:=xk[ik];yv:=yk[ik];
        ktra;
    until Ok11;
end;
{-----}
begin
    matcol(xv,yv,uu,vv);
    i:=1;s:=1;Ok:=false;Ox:=false;Ok11:=true;
    ktra;
    if not(Ok11) then lui;
    while not(Ok) do
    begin
        maux:=getpixel(uu[i],vv[i]);
        case maux of

```

```

11:begin
  if s=1 then
    begin
      s:=2;xoo:=uu[i];yoo:=vv[i];mauxo:=maux;
      i:=i+1;
    end else
    begin
      if mauxo=0 then
        begin
          Ok:=true;
          xd:=uu[i];yd:=vv[i];
          putimage(xd-1,yd-1,pter1^,xorput);
          ito:=i;
        end else
        begin
          xoo:=uu[i];yoo:=vv[i];mauxo:=maux;
          i:=i+1;
        end;
      end;
    end;
  end;
0:begin
  if s=1 then
    begin
      s:=2;xoo:=uu[i];yoo:=vv[i];mauxo:=maux;
      i:=i+1;
    end else
    begin
      if mauxo=11 then
        begin
          Ok:=true;
          xd:=xoo;yd:=yoo;
          putimage(xd-1,yd-1,pter1^,xorput);
          ito:=i;
        end else
        begin
          xoo:=uu[i];yoo:=vv[i];mauxo:=maux;
          i:=i+1;
        end;
      end;
    end;
  end;
12:begin
  if s=1 then i:=i+1 else
  begin
    s:=1;

```

```

        i:=i+1;
    end;
end;
end;
end;
end;
end;
{=====}
procedure banmienD;
begin
    vietxoa(10,ymax-30,15,' Ban vao mienD');
    ban(10,150,7,11, xd,yd);
    nhacgrap(10,ymax-15,12,'(An mot phim bat ky de tiep tục)');
    ch:=readkey;
    vietxoa(10,ymax-30,0,' Ban vao mienD');
end;
{=====}
procedure tdo bienB;
var    Okd,Okk,Okr : boolean;
begin
    xv:=xd;yv:=yd-1;ik:=0;xo:=xd;yo:=yd;
    vietxoa(10,ymax-30,15,' Lay toado bienB cua mienD');
    repeat
        ik:=ik+1;
        xk[ik]:=xv;yk[ik]:=yv;
        dgvien(xv,yv,xd,yd);
        xv:=xd;yv:=yd;
        Okk:=ik>5;Okd:=((abs(xv-xo)<=1) and (abs(yv-yo)<=1));
        Okr:=(Okk) and (Okd);
    until Okr;
    ms:=ik;
    nhacgrap(10,ymax-15,12,'(An mot phim bat ky de tiep tục)');
    ch:=readkey;
    vietxoa(10,ymax-30,0,' Lay toado bienB cua mienD');
end;
{=====}
procedure velaiB;
begin
    vietxoa(10,ymax-30,15,' Ve lai bienB');
    setcolor(10);
    for i:=1 to ms-1 do line(xk[i]+300,yk[i],xk[i+1]+300,yk[i+1]);
    nhacgrap(10,ymax-15,12,'(An mot phim bat ky de tiep tục)');
    ch:=readkey;
    vietxoa(10,ymax-30,15,' Ve lai bienB');
end;

```

```

=====
procedure modau;
begin
  clrscr;
  textcolor(15);
  path:="";
  dohoa;
  cleardevice;
end;
{*****}
begin
  modau;
  ymax:=getmaxy;
  mienT;
  anhdiem(7);
  banmienD;
  tdobienB;
  velaiB;
  setcolor(12);
  outtextxy(350,ymax-30,'Ket thuc chuong trinh');
  readkey;
  cleardevice;
end.

```

{IV.03}

PROGRAM NHMAU3;

```

uses crt,graph,nlmay1;
type mat1r=array[0..4] of real;
     ten=string[13];
var iaux,maubien,maunen,bankinh,kk,rx3,ry3,xoo,yoo,no,size,maua,
     maub,ig,jj,xm,ym,buoc,ro,nl,xq,yq,js,is,ia,mj,bk,xt,yt:integer;
     alfa,lamda,defi,fi,fiu,gq4,lo,fi3:real;
     xr,yr,xa,ya,xb,yb,xx,yy,p,xu,yu:mat1i;
     rxq,ryq,rxm,rym:mat2i;
     lq:mat1r;
     fiq:mat2r;
     texti,textx,texty,teng,tenl,textk,textko,textjo:ten;
     xs,ys=array[0..1500] of integer;
     contro4,contro1,contro3:pointer;
     tapa,tapx:tap;
     Okt,Okthoi,Ok,Okk,Okc,Okn,Okpi,noxong:boolean;

```

```

{*****}
procedure dlbanle(tengoc,tenkhau:ten;var l:mat1r;var g4:real);
var  tenfile:ten;fildl:text;
      ch:char;
      ok:boolean;
      bkt:ten;
begin
  tenfile:='a: nm3';
  writeln(' cho dulieu tu banfim hay doc tu dia(F/D)?');
  ch:=readkey;
  if upcase(ch)='D' then
  begin
    assign(fildl,tenfile);
    {$I-}
    reset(fildl);
    {$I+}
    Ok:=(IOresult=0);
    if Ok then
    begin
      for i:=1 to 4 do
      begin
        read(fildl,bkt,l[i]);
        write(' ',tenkhau,['i,']='',l[i]:3:0);
      end;
      writeln;
      write(' gocnghieng cua gia g4 =');
      read(fildl,bkt,g4);
      write(g4*180/pi:4:0,' do');
    end else
    begin
      close(fildl);
      writeln(' file dulieu banle chua co trong dia');
      writeln(' hay cho du lieu moi');
      writeln;
      ch:='F';
    end;
  end;
  if upcase(ch)='F' then
  begin
    for i:=1 to 4 do
    begin
      write(' ', tenkhau,['i,']='');
      read(l[i]);
    end;
  end;

```

```

writeln;
write( ' gocnghieng cua gia g4 =');
read(g4);
writeln(' do');
g4:=g4*pi/180;
assign(fildl,tenfile);
rewrite(fildl);
for i:=1 to 4 do
begin
  write(fildl,' * ',tenkhau,['i,']='l[i]);
end;
writeln;
write(fildl,' * ',tengoc,'4='g4);
close(fildl);
end;
end;
{=====}
procedure banle(l:mat1r;var fi:mat2r);
var aa,bb,cc,dd,ff,gocx,gocv:real;
begin
  aa:=l[1]*cos(fi[1,j]-fi[4,j])+l[4];
  bb:=l[1]*sin(fi[1,j]-fi[4,j]);
  gocx(aa,bb);
  goce:=gocx(aa,bb);
  ff:=sqrt(aa*aa+bb*bb);
  cc:=(ff*ff+l[2]*l[2]-l[3]*l[3])/(2*l[2]*ff);
  dd:=sqrt(1-cc*cc);
  gocx(cc,dd);
  gocv:=gocx(cc,dd);
  fi[2,j]:=gocx-gocv+fi[4,j]+pi;
  aa:=aa+l[2]*cos(fi[2,j]+fi[4,j]);
  bb:=bb+l[2]*sin(fi[2,j]+fi[4,j]);
  gocx(aa,bb);
  gocv:=gocx(aa,bb);
  fi[3,j]:=gocv+fi[4,j]+pi;
end;
{=====}
procedure vitri4k(q:integer;xv,yv:integer;l:mat1r; fi:mat2r;var rx,ry:mat2i);
var xx,yy:real;
    x,y:mat1r;
begin
  xx:=xv;rx[0,q]:=xv;yy:=yv;ry[0,q]:=yv;
  rx[4,q]:=xv;yy:=yv;ry[4,q]:=yv;
  for i:=1 to 3 do

```

```

begin
  xx:=xx+l[i]*cos(fi[i,j]);yy:=yy+l[i]*sin(fi[i,j]);
  rx[i,q]:=round(xx);ry[i,q]:=round(yy);
end;
end;
{=====}
procedure diem3(nz :integer;lamda,alfa:real);
var  x3,y3:real;
begin
  defi:=2*pi/nz;
  for j:=0 to nz do
  begin
    fiq[4,j]:=gq4;fiq[1,j]:=j*defi;
    banle(lq,fiq);
    vitri4k(j,300,270,lq,fiq,rxq,ryq);
    rx3:=rxq[1,j];ry3:=ryq[1,j];fi3:=fiq[2,j];
    x3:=rx3+lq[2]*lamda*cos(alfa+fi3);
    y3:=ry3+lq[2]*lamda*sin(alfa+fi3);
    rxm[3,j]:=round(x3);rym[3,j]:=round(y3);
  end;
end;
{=====}
procedure tron1(rz,mauz:integer);
begin
  setcolor(mauz);
  setlinestyle(0,0,3);
  circle(rz,rz,rz);
  setfillstyle(1,7);
  floodfill(rz,rz,mauz);
  size:=imagesize(0,0,2*rz,2*rz);
  getmem(control,size);
  getimage(0,0,2*rz,2*rz,control^);
  putimage(0,0,control^,xorput);
  setlinestyle(0,0,0);
end;
{=====}
procedure diemo(mauz:integer);
begin
  setcolor(mauz);
  circle(1,1,1);
  size:=imagesize(0,0,2,2);
  getmem(contro4,size);
  getimage(0,0,2,2,contro4^);
  putimage(0,0,contro4^,xorput);

```

```

end;
{=====}
procedure tron3(maux : integer);
var   size : integer;
begin
  setcolor(maux);
  circle(3,3,3);
  size:=imagesize(0,0,6,6);
  getmem(contro3,size);
  getimage(0,0,6,6,contro3^);
  putimage(0,0,contro3^,xorput);
end;
{=====}
procedure xytron(xtz,ytz,bkz:integer;fiz:real;var xuz,yuz:integer);
begin
  xuz:=xtz+round(bkz*cos(fiz));yuz:=ytz+round(bkz*sin(fiz));
end;
{=====}
procedure ktramau(nz : integer);
var   jt,k,q : integer;
      tapz : tap;
begin
  tapz:=[0..nz];
  defi:=2*pi/nz;i:=0;jt:=0;
  repeat
    chonso(nz,q,tapz);
    fi:=q*defi;
    xytron(xt,yt,bk,fi,xu[i],yu[i]);
    putimage(xu[i]-1,yu[i]-1,pter1^,xorput);
    putimage(xu[i]-1,yu[i]-1,contro4^,xorput);
    delay(5);
    maux:= getpixel(xu[i],yu[i]);
    putimage(xu[i]-1,yu[i]-1,pter1^,xorput);
    putimage(xu[i]-1,yu[i]-1,contro4^,xorput);
    if maux=12 then Okn:=true;
    if maux=11 then Okt:=true;
    if maux=9  then Okc:=true;
  until (tapz=[] or (Okn);
end;
{=====}
procedure ktrafi;
var   deltafi : real;
      j,k,poo,pol : integer;
begin

```

```

j:=0;k:=0;
while j<=no do
begin
  fi:=j*defi;
  xytron(xt,yt,bk,fi,xu[j],yu[j]);
  putimage(xu[j]-1,yu[j]-1,pter1^,xorput);
  maux:= getpixel(xu[j],yu[j]);
  if maux=9 then
  begin
    putimage(xu[j]-3,yu[j]-3,contro3^,xorput);
    k:=k+1;p[k]:=j;
    if k>1 then
    begin
      deltafi:=(p[k]-p[k-1])*defi;
      if deltafi>=pi then
      begin
        Okpi:=true;
        pol:=p[k];poo:=p[k-1];
      end;
    end;
    end;
    j:=j+1;
  end;
  mj:=k;
  if Okc then
  begin
    if (p[mj]-p[1])*defi>=pi then
    begin
      if Okpi then fiu:=(pol+poo)*defi/2 else
      noxong:=true;
      end else fiu:=(p[mj]+p[1])*defi/2;
    end;
    for i:=1 to mj do putimage(xu[p[i]]-3,yu[p[i]]-3,contro3^,xorput);
  end;
  {=====}
procedure chvi(fiuz : real; var dxz,dyz : integer);
var  ds : integer;
begin
  if (round(abs(sin(fiuz)))=1) and (round(abs(cos(fiuz)))=1)
  then ds:=1 else ds:=2;
  dxz:=round(ds*cos(fiuz));
  dyz:=round(ds*sin(fiuz));
end;
{=====}

```

```

procedure ktra;
var ii:integer;
begin
  ii:=0;
  repeat
    if (xt=xs[ii]) and (yt=ys[ii]) then Okthoi:=true else
      begin
        Okthoi:=false;
        ii:=ii+1;
      end;
  until (ii=ig) or (Okthoi=true);
end;
{=====}
procedure ghikqua;
begin
  setcolor(12);
  rectangle(5,340,130,395);
  setcolor(15);
  outtextxy(10,350,' KET QUA');
  setcolor(10);
  str(xt:3,textx);outtextxy(10,360,' xtam  = '+textx);
  str(yt:3,textx);outtextxy(10,370,' ytam  = '+textx);
  setcolor(14);
  str(bk:3,textx);outtextxy(10,380,' bankinh = '+textx);
end;
{=====}
procedure cono;
var xmo,ymo,kc,dx,dy,dxo,dyo:integer;
    fiuo:real;
begin
  noxong:=false;kc:=0;ji:=0;
  setcolor(12);
  circle(xt,yt,3);
  outtextxy(430,380,'Dang tim - hay cho ');
  setcolor(10);
  outtextxy(10,250,'DUONG DI CHUYEN');
  outtextxy(10,265,' CUA TAM ');
  outtextxy(10,280,'( Da phong 6 lan)');
  setcolor(11);
  repeat
    setcolor(14);
    Okn:=false;Okc:=false;Okpi:=false;Okt:=false;
    ktramau(36);
    if Okn then bk:=bk-1 else

```

```

begin
  if Okc then
    begin
      kc:=kc+1;
      ktrafi;
      chvi(fiu,dx,dy);
      if kc=1 then
        begin
          dxo:=dx;dyo:=dy;
          fiuo:=fiu;
        end else
        begin
          if (dxo=dx) and (dyo=dy) then
            begin
              if abs(fiu-fiuo)>pi then fiu:=(fiuo+fiu)/2+pi;
              if abs(fiu-fiuo)<=pi then fiu:=(fiuo+fiu)/2;
              chvi(fiu,dx,dy);
            end;
            dxo:=dx;dyo:=dy;fiuo:=fiu;
          end;
          xmo:=xm;ymo:=ym;
          xm:=xm+6*dx;ym:=ym+6*dy;
          xt:=xt+dx;yt:=yt+dy;
          setcolor(12);
          circle(xm,ym,2);
          setcolor(14);
          line(xmo,ymo,xm,ym);
          jj:=jj+1;
          ig:=jj;
          if jj>1 then ktra;
          if Okthoi then
            begin
              setcolor(12);
              circle(xm,ym,5);
              ghikqua;
            end;
          for j:=0 to no do putimage(xu[j]-1,yu[j]-1,pter1^,xorput);
          end else bk:=bk+1;
        end ;
      until noxong;
      i:=0;
      repeat
        i:=i+1;
        fi:=p[i]*defi;

```

```

xytron(xt,yt,bk,fi,xu[i],yu[i]);
setcolor(5);
line(xt,yt,xu[i],yu[i]);
until i=mj;
putimage(xt-3,yt-3,contro3^,xorput);
end;
{*****}
begin
  clrscr;
  tenl:='lq';teng:='fiq';
  dlbanle(teng,tenl,lq,gq4);
  no:=36;
  dohoa;
  cleardevice;
  diemo(12);
  lamda:=0.4;alfa:=30;
  alfa:=alfa*pi/180;
  diem3(no,lamda,alfa);
  bankinh:=65;
  tron1(bankinh,5);
  for j:=0 to no-1 do
    begin
      textj:=textj;
      setcolor(14);
      xa[j]:=rxm[3,j]-bankinh;
      ya[j]:=rym[3,j]-bankinh;
      putimage(xa[j],ya[j],control^,orput);
      str(j,textj);
      setcolor(14);
      outtextxy(530,400,textj);
      putimage(xa[j],ya[j],control^,orput);
      setcolor(0);
      outtextxy(530,400,textj);
    end;
  anhdiem(12);
  tron3(14);
  xt:=300;yt:=270;
  xm:=100;ym:=300;
  setcolor(12);
  circle(xt,yt,3);
  bk:=50;
  cono;
  ghikqua;
  setcolor(1);

```

```

circle(xt,yt,bk);
setcolor(14);
outtextxy(10,450,'An mot phim de ket thuc');
readkey;
end.

```

{IV.04}

PROGRAM NHMAU4;

uses crt,graph,nlmay1;

const n = 180;

type matli = array[0..n] of integer;

matlr = array[0..n] of real;

var no,mj,bk,xt,yt,maux : integer;

defi,fi,fiu : real;

p,xu,yu : matli;

textx,texty : ten;

pter2,pter3 : pointer;

Okc,Okt,Okpi,coxong : boolean;

{*****}

procedure anhdien2(maux : integer);

var size : integer;

begin

setcolor(maux);

circle(3,3,3);

size:=imagesize(0,0,6,6);

getmem(pter2,size);

getimage(0,0,6,6,pter2^);

putimage(0,0,pter2^,xorput);

end;

{=====}

procedure anhdgl(maux : integer);

var size : integer;

begin

setcolor(maux);

setlinestyle(0,0,3);

line(3,0,3,700);

size:=imagesize(1,0,5,700);

getmem(pter3,size);

getimage(1,0,5,700,pter3^);

putimage(1,0,pter3^,xorput);

end;

{=====}

```

procedure xytron(xtz,ytz,bkz : integer; fiz : real; var xuz,yuz : integer);
begin
  xuz:=xtz+round(bkz*cos(fiz));yuz:=ytz+round(bkz*sin(fiz));
end;
{=====}
procedure vemient;
var aa,bb,xo,yo : integer;
{-----}
procedure ellipse(nz,xz,yz,az,bz : integer);
var i : integer;
    xf,yf : matli;
    xfr,yfr : matlr;
begin
  defi:=2*pi/nz;
  for i:=0 to nz do
  begin
    xfr[i]:=xz+az*cos(i*defi);
    yfr[i]:=yz+bz*sin(i*defi);
  end;
  for i:=0 to nz do
  begin
    quayvarr(xz,yz,xfr[i],yfr[i],pi/6,xfr[i],yfr[i]);
    xf[i]:=round(xfr[i]);yf[i]:=round(yfr[i]);
  end;
  setcolor(5);
  setlinestyle(0,0,3);
  for i:=0 to nz-1 do line(xf[i],yf[i],xf[i+1],yf[i+1]);
end;
{-----}
begin
  no:=180;xo:=200;yo:=200;aa:=100;bb:=75;
  defi:=2*pi/no;
  ellipse(no,xo,yo,aa,bb);
  setfillstyle(1,7);
  floodfill(xo,yo,5);
  setfillstyle(1,0);
  bar(100,10,120,360);
  putimage(119,1,pter3^,orput);
  putimage(119,1,pter3^,xorput);
end;
{=====}
procedure ktrama(nz : integer);
var jt,k,q : integer;
    tapz : tap;

```

```

begin
  tapz:=[0..nz];
  defi:=2*pi/nz;i:=0;jt:=0;
  repeat
    chonso(nz,q,tapz);
    fi:=q*defi;
    xytron(xt,yt,bk,fi,xu[i],yu[i]);
    putimage(xu[i]-1,yu[i]-1,pter1^,xorput);
    maux:= getpixel(xu[i],yu[i]);
    putimage(xu[i]-1,yu[i]-1,pter1^,xorput);
    if maux=11 then Okt:=true;
    if maux=9 then Okc:=true;
  until (tapz=[]) or (Okt);
end;
{=====}
procedure ktrafi;
var   deltafi : real;
      j,k,poo,pol : integer;
begin
  j:=0;k:=0;
  while j<=no do
    begin
      fi:=j*defi;
      xytron(xt,yt,bk,fi,xu[j],yu[j]);
      putimage(xu[j]-1,yu[j]-1,pter1^,xorput);
      maux:= getpixel(xu[j],yu[j]);
      if maux=9 then
        begin
          putimage(xu[j]-3,yu[j]-3,pter2^,xorput);
          k:=k+1;p[k]:=j;
          if k>1 then
            begin
              deltafi:=(p[k]-p[k-1])*defi;
              if deltafi>=pi then
                begin
                  Okpi:=true;
                  pol:=p[k];poo:=p[k-1];
                end;
            end;
          end;
          j:=j+1;
        end;
      mj:=k;
      if Okc then

```

```

begin
  if (p[mj]-p[1])*defi>=pi then
    begin
      if Okpi then fiu:=pi+(pol+poo)*defi/2 else
        coxong:=true;
      end else fiu:=(p[mj]+p[1])*defi/2;
    end;
  for i:=1 to mj do putimage(xu[p[i]]-3,yu[p[i]]-3,pter2^,xorput);
end;
{=====}
procedure chvi(fiuz : real; var dxz,dyz : integer);
var ds : integer;
begin
  if (round(abs(sin(fiuz)))=1) and (round(abs(cos(fiuz)))=1)
  then ds:=1 else ds:=2;
  dxz:=round(ds*cos(fiuz));
  dyz:=round(ds*sin(fiuz));
end;
{=====}
procedure cono;
var kc,dx,dy,dxo,dyo,xq,yq,xqo,yqo : integer;
    fiuo : real;
begin
  setlinestyle(0,0,1);
  setcolor(15);
  outtextxy(400,330,'Hanh trinh tam Oi ');
  outtextxy(400,340,'Da phong dai sau lan ');
  coxong:=false;kc:=0;xq:=400;yq:=290;
  setcolor(12);
  circle(xq,yq,5);
  setcolor(11);
  str(xt,tx);str(yt,ty);
  outtextxy(xq,yq+10,'Xuatphat : xO = '+tx);
  outtextxy(xq,yq+20,' yO = '+ty);
  repeat
    setcolor(14);
    Okt:=false;Okc:=false;Okpi:=false;
    ktramau(no);
    if Okt then bk:=bk+1 else
      begin
        if Okc then
          begin
            kc:=kc+1;
            ktrafi;

```

```

chvi(fiu,dx,dy);
if kc=1 then
begin
  dxo:=dx;dyo:=dy;
  fiuo:=fiu;
end else
begin
  if (dxo=-dx) and (dyo=-dy) then
  begin
    if abs(fiu-fiuo)>pi then fiu:=(fiuo+fiu)/2+pi;
    if abs(fiu-fiuo)<=+pi then fiu:=(fiuo+fiu)/2;
    chvi(fiu,dx,dy);
  end;
  dxo:=dx;dyo:=dy;fiuo:=fiu;
end;
xt:=xt+dx;yt:=yt+dy;
xqo:=xq;yqo:=yq;
xq:=xq+6*dx;yq:=yq+6*dy;
setcolor(10);
circle(xq,yq,2);
setcolor(14);
line(xq,yq,xq,yq);
for j:=0 to no do putimage(xu[j]-1,yu[j]-1,pter1^,xorput);
end else bk:=bk-1;
end;
until coxong;
setcolor(12);
circle(xq,yq,5);
setcolor(11);
str(xt,tx);str(yt,ty);
outtextxy(xq-10,yq-23,'Dich : xO = '+tx);
outtextxy(xq-10,yq-13,'    yO = '+ty);
i:=0;
repeat
  i:=i+1;
  fi:=p[i]*defi;
  xytron(xt,yt,bk,fi,xu[i],yu[i]);
  setcolor(5);
  line(xt,yt,xu[i],yu[i]);
until i=mj;
putimage(xt-3,yt-3,pter2^,xorput);
end;
{=====}
procedure ghikqua;

```

```

begin
  setcolor(12);
  rectangle(5,300,130,355);
  ktrafi;
  setcolor(15);
  outtextxy(10,305,' KET QUA');
  setcolor(10);
  str(xt:3,textx);outtextxy(10,320,' xtam  = '+textx);
  str(yt:3,textx);outtextxy(10,330,' ytam  = '+textx);
  setcolor(14);
  str(bk:3,textx);outtextxy(10,340,' bankinh = '+textx);
end;
{=====}
procedure modau;
begin
  clrscr;
  textcolor(15);
  path:="";
  dohoa;
  ymax:=getmaxy;
  cleardevice;
end;
{=====}
procedure ketthuc;
begin
  nhacgrap(10,ymax-10,12,'An mot fim de ketthuc');
  ch:=readkey;
  closegraph;
  textmode(3);
end;
{*****}
begin
  modau;
  anhdien(12);
  anhdien2(14);
  anhdgl(10);
  vemient;
  xt:=192;yt:=215;
  bk:=56;
  cono;
  ghikqua;
  ketthuc;
end.

```

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đinh Gia Tường, Tạ Khánh Lâm. Ứng dụng tin học trong thiết kế Nguyên lý máy. NXB Giáo dục. Hà Nội, 1994.
2. Đinh Gia Tường, Tạ Khánh Lâm. Nguyên lý máy - tập 1. NXB Khoa học và Kỹ thuật. Hà nội, 1995.
3. Đinh Gia Tường. Động lực học máy tập 1. NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp. Hà Nội, 1982.
4. Mécanique et chaleur - Génie mécanique. Technique de l'ingénieur - 1990/1993.
5. Philippe Coiffet. La Robotique - Principes et Applications. Hermès, 1986.
6. P. André, J.M. Kauffmann, F. Lhote, J.P. Taillard. Les Robots. Hermès, 1986.
7. Max. Giordano, Jacques Lotin. Cours de Robotique. Armand Colin, 1990.
8. K.V. Frolov, E.I. Vorobev. Mekhanika promyshlennic robotov - T1, T2, T3. Vusaia skola, 1988.
9. E. Nakano. Vvegenie v Roboto - Tekhniku. Mir, 1990.
10. Mohsen Shahinpoor. A Robotics. Prentice Hall, 1988.
12. Wolfram Stadler. Analytical Robotics and Mechatronics. Mc Graw - Hill, 1995.

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	5
Chương 15. Giảm chấn cho hệ dao động xoắn có nhiều bậc tự do	
15.1. Đại cương	5
15.2. Dao động tự do của hệ ddx	8
15.3. Dao động cưỡng bức và tải trọng động	21
15.4. Giảm chấn cho hệ ddx	30
15.5. Phụ lục chương 15	52
Chương 16. Cân bằng trục mềm	
16.1. Đại cương	60
16.2. Vận tốc tới hạn và dao động của trục	63
16.3. Điều kiện cân bằng của trục mềm thông qua các hàm trục giao	66
16.4. Quy trình cân bằng trục mềm	75
Chương 17. Cách rung	
17.1. Cách rung cho nền khi không có va đập	78
17.2. Cách rung cho nền khi có va đập	93
17.3. Phụ lục chương 17	97
Chương 18. Rôbot	
18.1. Cấu trúc rôbot	108
18.2. Hình động học cơ cấu rôbot	114
18.3. Động lực học rôbot	140
Phụ lục. Các chương trình giải một số bài tính nguyên lý máy	
I. Unit NLMáy1: Các Funtion và Procedure dùng chung cho nhiều chương trình	164
II. Unit NLMáy2: Các Procedure dữ liệu cho các chương trình tính	176
III. Một số chương trình tính các bài nguyên lý máy	198
III.01. Program VTRI4KBL	199
III.02. Program DHOC4KBL	203
III.03. Program DHOCULIT	214
III.04. Program VTRICULID	220
III.05. Program DHOCTQCT	224
III.06. Program MPHGCCAU	231
III.07. Program LUC4KBL	254
III.08. Program DLGTHTHE	260
III.09. Program CHDGTHUC	271
III.10. Program CAMLAN	279
III.11. Program BANHRANG	298
IV. Một số chương trình dùng trong phương pháp nhuộm màu	306
IV.01. Program NHMAU 1	306
IV.02. Program NHMAU 2	313
IV.03. Program NHMAU 3	319
IV.04. Program NHMAU 4	328
Tài liệu tham khảo	334

Chịu trách nhiệm xuất bản :
Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Tổng biên tập VŨ DƯƠNG THỤY

Biên tập lần đầu :
NGUYỄN VĂN MẬU

Biên tập tái bản :
TRẦN VĂN THẮNG

Trình bày bìa :
ĐOÀN HỒNG

Sửa bản in :
NGUYỄN VĂN MẬU

Chế bản :
TRUNG TÂM TIN HỌC ELICOM - BÁCH KHOA

NGUYÊN LÝ MÁY - TẬP 2

Mã số : 7B436T3

In 2000 cuốn (QĐ 03ĐH), khổ 19 x 27cm. In tại Công ty In Phú Thọ.

Số in: 188. Giấy phép xuất bản số: 502/32-03.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 8 năm 2003.

TÌM ĐỌC SÁCH THAM KHẢO KỸ THUẬT CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

- | | |
|--|----------------------------|
| 1. Tự động điều khiển các quá trình công nghệ | Trần Doãn Tiến |
| 2. Nguyên lý máy - Tập một | Đinh Gia Tường (chủ biên) |
| 3. Nguyên lý máy - Tập hai | Đinh Gia Tường (chủ biên) |
| 4. Chi tiết máy - Tập một | Nguyễn Trọng Hiệp |
| 5. Chi tiết máy - Tập hai | Nguyễn Trọng Hiệp |
| 6. Thiết kế chi tiết máy - | Nguyễn Trọng Hiệp |
| 7. Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí - Tập một | Trịnh Chất |
| | Lê Văn Uyển |
| 8. Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí - Tập hai | Trịnh Chất |
| | Lê Văn Uyển |
| 9. Máy canh tác nông nghiệp | Nguyễn Văn Muôn (chủ biên) |
| 10. Máy thu hoạch nông nghiệp | Phạm Xuân Vương |
| 11. Độ tin cậy trong sửa chữa ô tô - máy kéo | Nguyễn Nông |
| | Hoàng Ngọc Vinh |
| 12. Lý thuyết tính toán máy thu hoạch nông nghiệp | Phạm Xuân Vương |
| 13. Tính toán và thiết kế hệ thống sấy | Trần Văn Phú |
| 14. Nguyên lý động cơ đốt trong | Nguyễn Tất Tiến |
| 15. Lý thuyết động cơ diesel | Lê Viết Lượng |

Bạn đọc có thể tìm mua tại các Công ti Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng của Nhà xuất bản Giáo Dục:

Tại Hà Nội: 81 Trần Hưng Đạo, 57 Giảng Võ, 232 Tây Sơn, 23 Tràng Tiền, 25 Hàn Thuyên

Tại Đà Nẵng: 15 Nguyễn Chí Thanh

Tại Thành phố Hồ Chí Minh: 231 Nguyễn Văn Cừ, 240 Trần Bình Trọng



Giá: 31.000^đ