

ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP HÀ NỘI

BỘ CƠ ĐIỆN TỬ

**TRUYỀN ĐỘNG VÀ
ĐIỀU KHIỂN THỦY KHÍ**

(Tài liệu dùng cho đào tạo Cao học)

Năm 2023

PHẦN I. TỰ ĐỘNG THỦY LỰC
CHƯƠNG I
NGUYÊN TẮC CHUNG XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THỦY LỰC
BÀI 1

GIỚI THIỆU CHUNG

I.1. Khái niệm chung về hệ thống điều khiển thủy lực.	
I.1.1. Chức năng của hệ thống điều khiển thủy lực.	6
I.1.2. Các yêu cầu đối với hệ thống điều khiển thủy lực.	
I.1.3. Các yêu cầu đối với chất lỏng làm việc trong hệ thống.	7
I.2. Nguyên lý xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực.	
I.2.1. Trình tự chung khi xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực.	8
I.2.2. Nguyên tắc chung xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực.	
I.2.2.1. Các khái niệm về hệ thống thủy lực tự động điều chỉnh.	
I.2.2.2. Phân loại hệ thống tự động điều chỉnh.	
I.2.2.2.1. Theo đặc tính của tín hiệu truyền giữa các phần tử.	9
I.2.2.2.2. Theo trạng thái của hệ thống đối với tác dụng của nhiều.	10
I.2.2.2.3. Theo đặc tính của quy luật điều chỉnh.	
I.2.2.2.3.1. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh role “ R ”.	11
I.2.2.2.3.2. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ thuận.	
I.2.2.2.3.3. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - vi phân.	
I.2.2.2.3.4. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tích phân “ I ”	12
I.2.2.2.3.5. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân “ PI ”.	13
I.2.2.2.3.6. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - - tích phân - vi phân “ PID ”.	
I.2.2.2.3.7. Hệ thống tự chỉnh (hệ thống cực trị).	14
I.2.2.2.3.8. Hệ thống tự động điều chỉnh có cấu trúc thay đổi.	
I.2.2.2.3.9. Hệ thống tự động điều chỉnh bất biến.	15
I.2.3. Các mạch thủy lực và sơ đồ của chúng.	
I.2.3.1. Sơ đồ khôi.	17
I.2.3.2. Sơ đồ cắt thể hiện rõ chi tiết.	
I.2.3.3. Sơ đồ hình tượng.	
I.2.3.4. Sơ đồ biểu thị.	

PHẦN I. TỰ ĐỘNG THỦY LỰC

CHƯƠNG I

NGUYÊN TẮC CHUNG XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THỦY LỰC

BÀI 1. GIỚI THIỆU CHUNG

I.1. Khái niệm chung về hệ thống điều khiển thủy lực.

I.1.1. Chức năng của hệ thống điều khiển thủy lực

Các hệ thống điều khiển thủy lực được ứng dụng khá phổ biến trong các hệ thống tự động điều khiển và điều chỉnh. Trong hệ thống điều khiển thủy lực thì cơ năng được truyền thông qua môi trường chất lỏng.

Hệ thống thủy lực tự động điều chỉnh được áp dụng khi:

- Có yêu cầu độ chính xác cao và tác động nhanh để xử lý các tín hiệu đầu ra lớn,
- Tại những vị trí mà do các nguyên nhân nào đó không thể sử dụng thiết bị điều chỉnh điện tử và khí nén và tại những vị trí có nguồn thủy năng.

Điều khiển hợp lý là quá trình sản xuất phức tạp, thông thường tiệm cận với các quá trình sinh lý học. Nó chỉ có thể đạt được khi sử dụng các biện pháp của điều khiển học kỹ thuật hiện đại, trong đó bao gồm tất cả các vấn đề về vận chuyển và bảo quản thông tin, cũng như bài toán điều khiển.

I.1.2. Các yêu cầu đối với hệ thống điều khiển thủy lực

Ngoài các yêu cầu chung đối với tất cả các hệ thống điều khiển khác khác, thì yêu cầu đối với riêng hệ thống điều khiển thủy lực là:

- Phải làm việc từ 1 nguồn cấp năng lượng là áp suất chất lỏng. Chất lỏng này không ăn mòn (xâm thực) đối với các cụm chi tiết của thiết bị điều chỉnh và có khả năng bôi trơn tương đối.
- Phải tương đối đơn giản khi liên kết với các thiết bị khác bằng khí nén và điện tử.

Phải có độ chính xác và tác động nhanh tương đối để duy trì các tham số cho trước của đối tượng thông qua truyền dẫn thủy lực để điều khiển các cơ cấu chấp hành.

- Các ống dẫn trong thiết bị điều chỉnh và các phân tử của nó phải có thiết diện đủ để cho lượng chất lỏng cần thiết đi qua và không có các góc và chõ uốn, gây nên các lực cản bỗ xung cho dòng chất lỏng.
- Thiết bị trong hệ thống phải được trang bị các bộ lọc tương ứng để bảo vệ các phân tử của thiết bị không bị nhiễm bẩn.

Thiết bị phải kín không được rò rỉ chất lỏng ra ngoài. Phải đơn giản khi tự chỉnh và được điều khiển trong hoạt động.

I.1.3. Các yêu cầu đối với chất lỏng làm việc trong hệ thống

Do đặc điểm trao đổi năng lượng của các thiết bị với chất lỏng nên chất lỏng làm việc trong hệ thống điều khiển thủy lực có một số yêu cầu sau:

- Tính không nén được của chất lỏng.
- Tính bôi trơn để đảm bảo hệ số ma sát nhỏ nhất. Tính bôi trơn của chất lỏng có liên quan đến độ nhớt phân tử.
- Tính chống ôxy hóa và ổn định về mặt hoá học biểu thị khả năng chống ôxy hóa của chất lỏng phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng và điều kiện vận hành của thiết bị như nhiệt độ, phân bố vận tốc, độ hoà tan khí...
- Nhiệt độ ngưng tụ thấp.
- Khả năng chống hoà tan khí và nước.
- Tính ổn định về môđun đàn hồi và trọng lượng riêng.
- Tính không độc hại.
- Dầu đưa vào hệ thống cần qua bộ lọc.
- Kiểm tra và bô xung dầu thường xuyên. Thay dầu theo định kỳ.
- Tuyệt đối không dùng lẫn các loại dầu.
- Không để dầu làm việc ở nhiệt độ quá giới hạn cho phép.

I.2. Nguyên lý xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực

Tự động hóa các quá trình sản xuất hiện đại yêu cầu sự tồn tại của cả 3 dạng thiết bị điều khiển tự động là điện tử, khí nén và thủy lực. Nhiệm vụ tự động điều khiển như nhau đối với bất kỳ loại thiết bị điều khiển nào. Cho nên các nguyên lý xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực và các phương pháp toán học khi khảo sát giống như khi chế tạo các thiết bị điều khiển điện tử và khí nén.

Sự cần thiết khảo sát các cơ cấu điều khiển thủy lực, không kèm các thiết bị điều khiển điện tử và khí nén, có sự đa dạng các chức năng thực hiện, có chất lượng tự động điều khiển, đã dẫn đến việc chế tạo các hệ thống biên hợp, cho phép thực hiện một cách hiệu quả nhiệm vụ tự động hóa.

Sẽ tiến hành khảo sát nguyên lý xây dựng các hệ thống truyền động thủy lực.

Nguyên lý tổ hợp khi chế tạo các thiết bị giả thiết rằng các hệ thống khác nhau có thể được thiết lập từ các cụm chức năng theo một số các tiêu chuẩn, được liên kết với nhau bởi các đường thông tin tương ứng. Nguyên lý này cho phép có thể tổ hợp một số hữu hạn các phần tử thành các sơ đồ khác kiểu nhau mà chức năng và cấu trúc của

chúng phụ thuộc vào các điều kiện của quá trình được điều chỉnh và chất lượng động lực học của quá trình đó.

I.2.1. Trình tự chung khi xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực

Trong khi thiết kế sơ đồ điều khiển thủy lực cần phải tuân thủ theo các bước sau:

1. Diễn giải bằng phương pháp phân tích sơ đồ truyền động thủy lực.
2. Tiệm cận đến việc xây dựng thuật toán hoạt động của thiết bị có cấu trúc đơn giản nhất (có số lượng phân tử nhỏ nhất).
3. Giải thuật toán hoạt động của thiết bị độ chính xác cho trước.
4. Khảo sát các phương pháp tổng hợp và phân tích hợp thức đối với các cấu trúc của hệ thống điều khiển thủy lực.

Sau khi đã thực hiện các bước dựa trên cơ sở của lý thuyết xác suất sẽ phân tích các phương pháp nâng cao độ tin cậy của hệ thống điều khiển thủy lực.

I.2.2. Nguyên tắc chung xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực

Cơ sở của hệ thống liên hợp thủy lực là tổ hợp các cụm thủy lực, thực hiện các biến đổi chức năng khác nhau trong hệ thống tự động. Khi có sự thay đổi quy luật của các biến đổi này thì cần thiết phải thay đổi số lượng, dạng, sự chuyển mạch của các cụm công tác. Các cụm công tác là các cơ cấu phức tạp, bao gồm nhiều màng đàn hồi nên sẽ làm giảm độ nhạy cảm và chính xác của các sơ đồ thiết bị điều chỉnh, được xây dựng từ các cụm này.

Trong các cụm của hệ thống liên hợp thì rất khó khăn hình thành các tín hiệu phụ thuộc vào các đạo hàm. Khi sử dụng các cơ cấu này thì hệ thống liên kết tương hỗ tự động điều chỉnh sẽ tương đối phức tạp.

Trong các máy công cụ ứng dụng khá rộng rãi các hệ thống truyền động thủy lực tự động điều chỉnh.

I.2.2.1. Các khái niệm về hệ thống thủy lực tự động điều chỉnh

Hệ thống truyền động thủy lực tự động điều chỉnh, bao gồm thiết bị điều chỉnh cùng đối tượng được điều chỉnh, trong một khoảng thời gian tương đối dài phải duy trì giá trị không thay đổi được yêu cầu của một đại lượng vật lý nào đó trong quá trình hoạt động hoặc thay đổi giá trị theo chương trình cho trước. Hệ thống truyền động thủy lực tự động điều chỉnh, duy trì giá trị không đổi của đại lượng được điều chỉnh được gọi là hệ thống ổn định. Trong hệ thống khép kín, khi xuất hiện tín hiệu sai số của tọa độ tức thời so với giá trị được đặt trước thì sai số này sẽ được đưa về giá trị quy “0” bởi thiết bị

điều chỉnh, được gắn nối tiếp cùng đối tượng được điều chỉnh, theo một số quy luật được gọi là quy luật điều chỉnh. Quy luật này sẽ xác định mối liên hệ giữa các tín hiệu vào và tín hiệu ra của thiết bị điều chỉnh mà không tính đến đặc tính quan tính của thiết bị. Khi đó quy luật điều chỉnh là phương trình điều chỉnh lý tưởng.

Chuyển động của thiết bị điều chỉnh bất kỳ cùng đối tượng điều chỉnh với độ chính xác tương đối có thể được thể hiện bởi phương trình toán chỉ sau khi các quá trình vật lý xảy ra trong các phần tử của thiết bị điều chỉnh.

Thiết bị điều chỉnh tự động sẽ nhận tín hiệu từ đối tượng thông thường gián tiếp qua cảm biến. Cảm biến này sẽ thực hiện đo liên tục các giá trị tức thời của đại lượng được điều chỉnh và biến đổi các tín hiệu đó thành tín hiệu ra. Tín hiệu ra của cảm biến sẽ được đưa đến lối vào của thiết bị điều chỉnh tự động. Thiết bị này sẽ gộp với giá trị đã cho, xử lý sự chênh lệch của các tín hiệu theo quy luật xác định. Tín hiệu ra với công suất tương đối sẽ làm cho cơ cấu chấp hành hoạt động. Trong trường hợp tín hiệu ra của thiết bị điều chỉnh yếu thì nó sẽ được khuếch đại bổ xung.

Khi cần thiết thay đổi các tham số được điều chỉnh theo các quy luật xác định thì tại lối vào của hệ thống từ cơ cấu cấp tín hiệu sẽ được đưa vào các thông số biến thiên để cho phép thực hiện việc điều khiển theo chương trình. Trong trường hợp này, hệ thống sẽ làm việc trong chế độ tùy động (theo dõi), xử lý giá trị tín hiệu đầu vào biến đổi cho trước để tạo nên sự thay đổi tương ứng của tham số lối ra. Chương trình trong hệ thống tùy động có thể được cho trước dưới dạng mô hình khuôn, mẫu chép hình hoặc cũng có thể dưới dạng thông tin điều khiển được viết trên các phiếu đục lỗ hoặc bằng tay.

Thiết bị điều chỉnh có cấu tạo gồm một loạt các phần tử chức năng (các khâu), có các tính chất tĩnh học và động lực học xác định. Khảo sát các khâu này được thực hiện theo các đặc tính của chúng, bằng các phương pháp tính toán hoặc thực nghiệm xác định. Việc tính toán và khảo sát toàn bộ hệ thống được thực hiện nhờ các hàm truyền.

I.2.2.2. Phân loại hệ thống tự động điều chỉnh thuỷ lực

Cấu trúc của hệ thống điều chỉnh tự động thuỷ lực cũng giống như các hệ thống tự động điều chỉnh khác được lựa chọn tùy thuộc vào đặc tính và các chất lượng động lực học của đối tượng được tự động hóa. Trong đó tiêu chuẩn chủ yếu của đối tượng là độ phức tạp, phụ thuộc vào số lượng các tác động của nhiều.

I.2.2.2.1. Theo đặc tính của tín hiệu truyền giữa các phần tử

Cơ cấu điều chỉnh tự động được chia thành 5 nhóm theo đặc tính của tín hiệu được truyền giữa các phần tử trong cơ cấu:

-
1. Tín hiệu tại lối vào và lối ra của tất cả các phần tử trong hệ thống là hàm liên tục đối với thời gian.
 2. Hệ thống có chứa bộ điều biến với sự điều biến điều hòa tín hiệu.
 3. Hệ thống có chứa phần tử xung hoặc có chứa bộ điều biến tín hiệu xung và thực hiện sự lượng tử hóa tín hiệu theo thời gian.
 4. Hệ thống có chứa phần tử role và thực hiện sự lượng tử hóa tín hiệu theo định mức.
 5. Hệ thống xung - role hoặc mã - xung sẽ thực hiện sự lượng tử hóa tín hiệu hoặc theo thời gian, hoặc theo định mức. Hệ thống có chứa phần tử tính toán bằng số cũng thuộc hệ thống này.

I.2.2.2.2. Theo trạng thái của hệ thống đối với tác dụng của nhiễu

Hệ thống tự động điều chỉnh phụ thuộc vào giá trị độ lệch hoặc sai số tại trạng thái xác lập của hệ thống sau khi thay đổi tác dụng của nhiễu sẽ được chia thành:

1. Hệ thống tĩnh đối với tác dụng của nhiễu.
2. Hệ thống vô hướng đối với tác dụng của nhiễu.

Hệ thống tự động điều chỉnh được gọi là hệ thống tĩnh đối với tác dụng của nhiễu nên tại trạng thái xác lập sau khi thay đổi tác dụng của nhiễu thì độ lệch của đại lượng được điều chỉnh sẽ tiến đến giá trị không đổi, mà giá trị đó phụ thuộc vào tác dụng của nhiễu.

Hệ thống được gọi là hệ thống vô hướng đối với tác dụng của nhiễu thì trong khoảng thời gian tác dụng này tiệm cận đến giá trị không đổi còn độ lệch của đại lượng được điều chỉnh sẽ tiến đến không mà không phụ thuộc vào giá trị của tác dụng của nhiễu.

I.2.2.2.3. Theo đặc tính của quy luật điều chỉnh

Hệ thống điều chỉnh thực hiện sự hình thành quy luật điều chỉnh đối với đối tượng, phụ thuộc vào đặc tính của quy luật điều chỉnh được chia thành các dạng:

1. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh kiểu role (Quy luật điều chỉnh 2 vị trí) - “R”.
2. Hệ thống sử dụng qui luật điều chỉnh tỉ lệ thuận (Quy luật điều chỉnh tĩnh) - “P”.
3. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - vi phân “PD”.
4. Hệ số sử dụng quy luật điều chỉnh tích phân “I”.
5. Hệ số sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân “PI”.
6. Hệ số sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân - vi phân “PID”.
7. Hệ thống tự chỉnh (Hệ thống cực trị).
8. Hệ thống với cấu trúc biến đổi,

9. Hệ thống bất biến.

I.2.2.3.1. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh role “ R “

Quy luật điều chỉnh role là quy luật đơn giản nhất. Hệ thống sẽ hoàn thiện xung trong trường hợp nếu giá trị độ sai khác $\Delta\varphi$ trở nên lớn hơn miền không cảm biến ε của hệ thống điều chỉnh.

Quy luật điều chỉnh role có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= \mu_{\min} \text{ khi } \Delta\varphi > \varepsilon, \frac{d\Delta\varphi}{dt} < 0, \\ \mu_1 &= \mu_{\max} \text{ khi } \Delta\varphi > \varepsilon, \frac{d\Delta\varphi}{dt} > 0\end{aligned}\quad (I.2.1)$$

trong đó:

μ_1 - giá trị đầu ra của hệ thống điều chỉnh (tác dụng đã được điều chỉnh),

μ_{\min} , μ_{\max} - giá trị nhỏ nhất và lớn nhất tín hiệu đầu ra của hệ thống điều chỉnh,

$\frac{d\Delta\varphi}{dt}$ - vận tốc độ lệch giữa giá trị tức thời của đại lượng được điều chỉnh với giá trị

cho trước (phương của độ lệch).

I.2.2.3.2. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ thuận

(Quy luật điều chỉnh tĩnh “ P “)

Trong hệ thống này thì tác động điều khiển x_p tỉ lệ thuận với giá trị của đại lượng điều khiển

$$x_p = -k_1 y \quad (I.2.2)$$

trong đó:

k_1 - hệ số khuếch đại của hệ thống điều chỉnh tỉ lệ.

Dấu (-)biểu thị tác động điều khiển phải có phuong ngược với độ lệch của đại lượng được điều khiển.b

Hàm truyền của hệ thống điều chỉnh này được xác định:

$$W_p = \frac{x_p(p)}{y} = -k \quad (I.2.3)$$

Đặc tính biên độ - pha của hệ thống điều chỉnh có dạng:

$$W_{j\omega} = k e^{j\pi} \quad (I.2.4)$$

I.2.2.3.3. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - vi phân

(Hệ thống điều chỉnh với sự tác động sớm “ PD “)

Hệ thống điều chỉnh này sẽ hoàn thiện tác động điều khiển tỉ lệ thuận với độ lệch và vận tốc thay đổi độ lệch của tín hiệu vào.

Phương trình của hệ thống điều chỉnh với sự điều hướng độc lập được xác định:

$$y = -\left(k_p \Delta p + T_* \frac{d\Delta p}{dt} \right) \quad (I.2.5)$$

Trong trường hợp điều hướng phụ thuộc cả 2 phần thì phương trình có dạng:

$$y = -k_p \left(\Delta p + T_* \frac{d\Delta p}{dt} \right) \quad (I.2.6)$$

trong đó:

T_* - thời gian tác động sớm của hệ thống điều chỉnh.

Dấu (-)biểu thị rằng trong hệ thống tự động điều chỉnh thì sự thay đổi của tín hiệu vào sẽ dẫn đến sự thay đổi giá trị lồi ra theo chiều ngược lại.b

Trong hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - vi phân “ PD “ thì tổ hợp các tác dụng tỉ lệ thuận theo giá trị độ sai khác Δp cùng với tác dụng bù xung theo đạo hàm bậc nhất của độ sai khác $\frac{d\Delta p}{dt}$ sẽ làm giảm quán tính của hệ thống “ PD “ so với hệ thống điều chỉnh role “ P “ .

Như vậy theo quy luật điều chỉnh thì tác động sớm “ PD “ tại thời điểm xuất hiện sự sai khác sẽ tác dụng mạnh hơn đáng kể so với bản thân sự sai khác. Nhờ đó mà thành phần vi phân sẽ làm giảm thời gian của quá trình chuyển tiếp của hệ thống điều chỉnh .

I.2.2.2.3.4. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tích phân “ I “

(Hệ thống điều chỉnh vô hướng đối với tác dụng nhiễu)

Khi vận tốc điều khiển tỉ lệ thuận với độ lệch của giá trị được điều khiển so với giá trị cho trước thì hệ thống đó được gọi là vô hướng đối với tác dụng nhiễu. Khi đó trong hệ thống điều chỉnh không có mối liên hệ tĩnh xác định giữa vị trí của cơ cấu điều chỉnh và giá trị của đại lượng điều khiển.

Quy luật điều khiển sẽ xem xét tác động của hệ thống điều chỉnh với vận tốc tỉ lệ thuận với độ lệch của đại lượng được điều khiển y theo biểu thức:

$$\frac{dx_p}{dt} = -k_0 y \quad (I.2.7)$$

trong đó:

k_0 - thông số bị điều hướng của hệ thống điều chỉnh.

Dưới dạng tích phân thì biểu thức (I.2.7) sẽ có dạng:

$$x_p = -k_0 \int_0^t y dt \quad (I.2.8)$$

Do đó hệ thống điều chỉnh này có thể được gọi là hệ thống điều chỉnh tích phân

và hệ thống này có thể được coi như một khâu tích phân.

Phương trình hàm truyền của hệ thống điều khiển này được xác định:

$$W_p = \frac{x_p(p)}{y(p)} = -\frac{k_0}{p} \quad (I.2.9)$$

Đặc tính biên độ – pha sẽ có dạng:

$$W_{j\omega} = -\frac{k_0}{j\omega} = \frac{k_0}{\omega} e^{\frac{j\pi}{2}} \quad (I.2.10)$$

I.2.2.2.3.5. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân “ PI “

Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân tổng hợp trong bản thân nó các tích chất của hệ thống tĩnh “ P “ và hệ thống điều chỉnh tích phân “ I “. Các tích chất này bao gồm:

- Tác động nhanh,
- Góc vượt lớn,
- Không tồn tại sai số tĩnh.

Phương trình của hệ thống điều chỉnh này có dạng:

$$\frac{dx_p}{dt} = -\left(k_0 y + k_1 \frac{dy}{dt} \right) \quad (I.2.11)$$

Vận tốc điều khiển tỉ lệ thuận với độ lệch của đại lượng được điều khiển y và đạo hàm bậc nhất của nó $\frac{dy}{dt}$.

Phương trình hàm truyền của hệ thống điều chỉnh tỉ lệ - tích phân được xác định:

$$W_p = -\left(\frac{k_0}{p} + k_1 \right) \quad (I.2.12)$$

Đặc tính biên độ – pha sẽ có dạng:

$$W_{j\omega} = -k_1 + j \frac{k_0}{\omega} = \frac{1}{j} \left(\frac{k_0}{\omega} + j k_1 \right) = \sqrt{k_1^2 + \left(\frac{k_0}{\omega} \right)^2} e^{\left(\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{k_0}{k_1} \right)} \quad (I.2.13)$$

I.2.2.2.3.6. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân - vi phân “PID”

Vận tốc tác động của hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân - vi phân tỉ lệ thuận với giá trị độ lệch y , với vận tốc (đạo hàm bậc nhất $\frac{dy}{dt}$) và gia tốc (đạo hàm bậc hai $\frac{d^2y}{dt^2}$) của đại lượng lối ra.

$$p x_p(p) = -\left(k_0 + k_1 p + k_2 p^2 \right) y(p) \quad (I.2.14)$$

Quy luật điều khiển này có thể nhận được nếu tại lối vào của hệ thống điều chỉnh sẽ được cấp tín hiệu có chứa độ lệch, đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai của đại lượng được điều khiển.

Còn khi phân dòng cơ khuếch đại thì sử dụng mạch phản hồi có cấu tạo gồm 2 khâu không tuần hoàn.

Phương trình hàm truyền của hệ thống “ PID “ có dạng:

$$W_p = -\frac{k_0 + k_1 p + k_2 p^2}{p} \quad (I.2.15)$$

Đặc tính biên độ - pha của hệ thống “ PID “ được xác định:

$$W_{j\omega} = -\left[k_1 + j\left(\omega k_2 - \frac{k_0}{\omega} \right) \right] = \sqrt{k_1^2 + \left(\omega k_2 - \frac{k_0}{\omega} \right)^2} e^{j\left(\pi + \arctg \frac{\omega^2 k_2 - k_0}{\omega k_1}\right)} \quad (I.2.16)$$

I.2.2.2.3.7. Hệ thống tự chỉnh (hệ thống cực trị)

Trong hệ thống tự động điều chỉnh thông thường thì giá trị yêu cầu của đại lượng được hiệu chỉnh sẽ được cho hoặc là không đổi, hoặc là biến đổi theo chương trình xác định. Khác với các hệ thống này thì hệ thống tự chỉnh có thể sẽ tự tìm được chương trình có lợi nhất, sẽ duy trì giá trị được điều chỉnh tại chế độ có lợi nhất trong thời gian xảy ra quá trình. Việc tìm kiếm chế độ làm việc có lợi nhất của đối tượng được thực hiện một cách tự động trong sự phụ thuộc vào các điều kiện bên ngoài như:

- Vận tốc chuyển động tối ưu nhất của đầu kéo xe lửa khi quỹ đạo quãng đường thay đổi, khi tiêu hao chất đốt nhỏ nhất có thể và vận tốc chuyển động là lớn nhất.
- Cơ thể động vật là hệ thống tự chỉnh lý tưởng nhất.

I.2.2.2.3.8. Hệ thống tự động điều chỉnh có cấu trúc thay đổi

Biết rằng nhiệm vụ chủ yếu của tự động điều khiển bao gồm:

- Duy trì giá trị được điều chỉnh tại mức độ đã cho (nhiệm vụ làm ổn định).
- Làm thay đổi giá trị được điều chỉnh phù hợp với những quy luật đã cho (theo dõi).

Việc xây dựng các hệ thống ổn định và theo dõi có chất lượng cao gấp rất nhiều khó khăn nếu ngoài các lực nhiễu chủ yếu, còn có các nhiễu không điều khiển được tác dụng lên đối tượng điều chỉnh.

Trong trường hợp này việc hoàn thiện các tính chất động lực học của các hệ thống mà chỉ dựa trên cơ sở làm tốt hơn cấu trúc của từng cụm riêng biệt là khó khăn.

Do đó cần sử dụng các phương pháp hiệu quả mới của điều khiển tự động. Một trong các phương pháp này là xây dựng hệ thống với cấu trúc thay đổi bằng cách đưa vào hệ thống các khâu phi tuyến và gián tiếp thông qua chúng có thể thực hiện hàm

lôgic đã cho. Theo đặc tính của mỗi liên hệ đã được nêu với các khâu không tuyến tính thì hệ thống có cấu trúc thay đổi có thể được đưa thành 4 loại:

- Hệ thống liên hợp.
- Hệ thống với mạch phản hồi cục bộ.
- Hệ thống với các khâu phi tuyến trong mạch chính.
- Hệ thống với khâu khuếch đại, có chứa mạch phản hồi phi tuyến.

Tín hiệu vào đối với hệ thống có cấu trúc thay đổi cũng giống như đối với các hệ thống tự động điều khiển bình thường khác.

Sử dụng các khâu phi tuyến trong hệ thống có cấu trúc thay đổi sẽ cho phép nâng cao đáng kể các tính chất động lực học của hệ thống tại các tín hiệu ra có tần số cao. Khi đó giá trị đầu ra trở nên không phụ thuộc vào nhiễu bên ngoài và vào sự thay đổi của tải.

I.2.2.3.9. Hệ thống tự động điều chỉnh bất biến

Trong hệ thống này thì sự ảnh hưởng của các tác dụng nhiễu bên ngoài lên quá trình điều chỉnh được đưa về mức nhỏ nhất.

Những trường hợp khi mà nhiễu của hệ thống điều chỉnh không có biểu hiện tiên nghiệm nào cả (trong đó có các đặc tính tĩnh học) sẽ là chủ yếu đối với lý thuyết bất biến.

Điều này sẽ làm cho lý thuyết bất biến khác so với các phần khác của lý thuyết điều chỉnh chung.

Để đạt được sự bất biến tuyệt đối của hệ thống điều chỉnh theo độ lệch, thì trong hệ thống giá trị biến thiên được điều chỉnh $x(t)$ phải không phụ thuộc vào tác dụng nhiễu $f(t)$ và phải thoả mãn điều kiện:

$$1 - W_1(p)z_2(p) = 0$$

hoặc

$$z_2(p) = \frac{1}{W_1(p)} \quad (I.2.17)$$

Trong các điều kiện này, để đạt được sự bất biến tuyệt đối trong thiết bị điều chỉnh quán tính với hàm truyền $W_1(p)$ là không thể, bởi vì khâu có hàm tuyến $z_2(p)$ về bản chất vật lý không thực hiện được giống như mạch có mạch phản hồi dương bên trong phải có hệ số khuếch đại và sự tác động nhanh vô cùng lớn.

Cho nên trong trường hợp đơn giản nhất được khảo sát thì không thể làm hệ thống điều chỉnh (theo độ lệch) trở thành bất biến tuyệt đối.

Hệ thống điều chỉnh liên hợp trong đó sử dụng nguyên lý điều chỉnh theo độ lệch có thể được coi là hệ thống bất biến với nhiều bên ngoài ở điều kiện:

$$z_3(p) = \frac{W_2(p)}{W_0(p)W_1(p)} \quad (I.2.18)$$

và khi khâu quán tính có hàm truyền $W_2(p)=1$ thì hàm truyền $z_3(p) = [W_0(p)W_1(p)]^{-1}$ về bản chất vật lý không thực hiện được.

Hệ thống tự động điều chỉnh bất biến được chia theo 3 hướng chủ yếu:

- Hướng thứ nhất có liên quan với việc giải bài toán bù trừ nhiều bên ngoài tác dụng lên đối tượng điều chỉnh hoặc ảnh hưởng lên các phân tử của thiết bị điều chỉnh.
- Hướng thứ hai được giành cho việc nghiên cứu các phương pháp truyền tín hiệu điều khiển không có sự sai lệch và sự trễ.
- Hướng thứ ba sẽ bao gồm việc nghiên cứu các phương pháp phân tích và tổng hợp hệ thống tự động điều khiển có các tham số biến đổi.

Lý thuyết bất biến có thể được thực hiện bởi một số các phương pháp:

- Giải bài toán bất biến với độ chính xác đến ϵ . Bản chất của phương pháp này là để đạt được sự bất biến tuyệt đối trong một số loại hệ thống tự động điều chỉnh.

Trong thực tế cần phải có thiết bị điều chỉnh với hệ số khuếch đại rất lớn. Tuy nhiên điều này không thể đạt được mà chỉ có thể đạt được một phần của giá trị giới hạn.

Cho nên điều kiện bất biến trong trường hợp này sẽ được thực hiện với độ chính xác đến ϵ . Hệ số khuếch đại của hệ thống càng lớn thì điều kiện bất biến sẽ được thực hiện càng chính xác.

- Điều kiện bất biến có thể được coi như thực hiện được khi sử dụng hệ thống điều chỉnh liên hợp mà trong đó cơ cấu đo sẽ gây phản ứng lên độ lệch của tham số được điều chỉnh, cũng như lên sự thay đổi dấu của nhiều bên ngoài.

Trong hệ thống điều chỉnh liên hợp thì không có sự đối ngược giữa các yêu cầu sự bất biến và điều kiện ổn định.

Việc loại bỏ sự đối ngược trong hệ thống tự động điều chỉnh theo độ lệch về mặt nguyên tắc cũng có thể làm được bằng cách sử dụng phương pháp hai kênh (hoặc nhiều kênh).

I.2.3. Các mạch thuỷ lực và sơ đồ của chúng

Các sơ đồ mạch thuỷ lực chính xác cần thiết cho kỹ sư thiết kế, kỹ thuật viên lắp ráp máy và sửa chữa hệ thống thuỷ lực.

Sơ đồ mạch trình bày mối liên kết, sự tương tác qua lại với nhau giữa các chi tiết trong hệ thống.

Nó giúp cho kỹ thuật viên có thể chẩn đoán được hư hỏng và sửa chữa hệ thống. Về cơ bản có 4 loại sơ đồ mạch thuỷ lực:

- Sơ đồ khối.
- Sơ đồ cắt thể hiện rõ chi tiết.
- Sơ đồ hình tượng.
- Sơ đồ biểu thị.

I.2.3.1. Sơ đồ khối

Sơ đồ này biểu thị sự hiện diện của các thiết bị với các đường dẫn giữa các khối trong hệ thống để trình bày sự liên kết hoặc các tương tác qua lại mà không cần nghiên cứu chi tiết phần trong của mỗi khối.

I.2.3.2. Sơ đồ cắt thể hiện rõ chi tiết

Được sử dụng phổ biến nhất. Sơ đồ này rất phù hợp với nghiên cứu, hướng dẫn bởi vì chúng trình bày cấu trúc bên trong của thiết bị cũng như các đường dẫn dòng thuỷ lực.

Nhược điểm của sơ đồ này là phức tạp và tốn thời gian.

I.2.3.3. Sơ đồ hình tượng

Được dùng chủ yếu để trình bày cách bố trí hệ thống đường ống của mạch thuỷ lực. Các thiết bị thuỷ lực được trông thấy ở bì ngoài được mô phỏng một cách gần đúng hình dạng thật của chúng.

I.2.3.4. Sơ đồ biểu thị

Sơ đồ được dùng chủ yếu trong sửa chữa và bảo dưỡng. Sơ đồ được tạo nên từ những ký hiệu hình học đơn giản đối với thiết bị, cũng như đối với điều khiển và sự liên kết giữa chúng (Phụ lục).

Các phân tử của hệ thống tự động điều khiển thuỷ lực đã được khảo sát trong các giáo trình “ Thuỷ lực và máy thuỷ lực ” và “ Truyền động thuỷ lực trong máy cắt kim loại ” của Học viện Kỹ thuật Quân sự nên sẽ không nhắc lại trong tài liệu này. Sẽ tiến hành khảo sát một số hệ thống điều khiển thuỷ lực cơ bản được ứng dụng nhiều trong máy móc dân dụng và vũ khí, khí tài quân sự.

CHƯƠNG II
ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC
BÀI 2
KHÁI NIỆM CHUNG

II.1.1. Nội dung và phương pháp tính toán động lực học hệ thống truyền động thuỷ lực.	18
II.1.2. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống động lực học.	20
II.1.3. Các khái niệm chủ yếu được sử dụng trong khảo sát theo phương pháp tần số.	22

CHƯƠNG II

ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC

Truyền động thuỷ lực được áp dụng rộng rãi trong các thiết bị thực hiện các chức năng khác nhau trong dân sự cũng như các khí tài quân sự. Tuy nhiên trong quá trình hoạt động của các hệ thống truyền động. Khi có các tác động bên ngoài thì vận tốc chuyển động của cơ cấu chấp hành không ổn định, sẽ xuất hiện quá trình dao động. Nhưng hiện tượng này sẽ làm giảm độ tin cậy và chất lượng của hệ thống.

Phương pháp tính toán động lực cho phép loại bỏ những nhược điểm đó. Do đó khảo sát động lực học hệ thống truyền động thuỷ lực và lựa chọn các tham số cấu trúc của nó có tính đến quá trình chuyển tiếp đóng vai trò rất quan trọng trong thiết kế, chế tạo hệ thống thuỷ lực.

II.1. Khái niệm chung

Truyền động thuỷ lực sẽ làm việc ổn định nếu thỏa mãn được điều khiển ổn định, được xác định bởi các đặc tính cơ khí của hệ thống truyền động thuỷ lực và đối tượng chịu tải.

Tuân thủ các điều kiện ổn định trong khi làm việc của hệ thống truyền động thuỷ lực tự động khép kín là rất khó khăn. Nguyên nhân là do sự ảnh hưởng của các phần tử gây nên độ trễ trong khi thực hiện các tác động điều khiển của các khâu liên kết với nhau, tạo nên mạch điều khiển chung.

II.1.1. Nội dung và phương pháp tính toán động lực học

hệ thống truyền động thuỷ lực

Tính toán động lực học hệ thống truyền động thuỷ lực bao gồm các nội dung.

1. Tính toán sự ổn định chuyển động của cơ cấu chấp hành và xác định các tham số của truyền động thuỷ lực nhằm đảm bảo độ dự trữ ổn định tối ưu.
2. Tính toán để làm giảm mức độ rung trong hệ thống thuỷ lực có liên quan đến các xung động khi cấp chát lỏng công tác do các tác động tuần hoàn và các hiện tượng cộng hưởng trong đường ống dẫn và trong các cơ cấu thuỷ lực.
3. Tính toán độ ổn định của các mạch riêng biệt trong hệ thống thuỷ lực mà sự không ổn định của chúng sẽ gây nên sự rung và tiếng ồn trong hệ thống. Trong một số trường hợp sẽ phá huỷ khả năng hoạt động của toàn bộ hệ thống.
4. Tổng hợp các cơ cấu điều khiển thuỷ lực đảm bảo được các đặc tính động lực học cần thiết của hệ thống.

Nhiệm vụ tính toán độ ổn định của hệ thống truyền động thuỷ lực là xác định

đặc tính của các khâu hiệu chỉnh bổ sung để chúng có thể bù trừ được hiệu ứng độ trễ của cơ cấu chấp hành khi thực hiện các tín hiệu điều khiển. Đồng thời điều quan trọng nhất là chuyển hệ thống điều khiển tự động từ trạng thái không ổn định về trạng thái ổn định. Phương pháp tính toán phổ biến nhất là phương pháp tần số của lý thuyết điều khiển tự động tuyến tính. Đó là phương pháp đặc tính tần số đặc trưng loga thuận và phương pháp đặc tính tần số đặc trưng loga nghịch.

Sự lựa chọn phù hợp các khâu hiệu chỉnh cho phép đảm bảo quá trình chuyển tiếp tắt dần nhanh trong hệ thống mà không cần hiệu chỉnh đáng kể. Hệ thống tự động điều khiển tuyến tính sẽ có quá trình chuyển tiếp này với chất lượng cao.

Tổng hợp hệ thống làm cho hệ thống có quá trình chuyển tiếp có chất lượng cao.

Truyền động thuỷ lực cũng như bất kỳ một hệ thống vật lý đều tồn tại mối liên hệ phi tuyến giữa các tham số riêng biệt của nó. Luôn luôn có thể lựa chọn được các phạm vi chế độ hoạt động của truyền động thuỷ lực để sao cho các liên hệ phi tuyến sẽ ảnh hưởng nhỏ nhất đến quá trình làm việc, sao cho có thể bỏ qua các ảnh hưởng đó.

Phân tích các mô hình lý tưởng của truyền động thuỷ lực càng có giá trị khi tính chất của truyền động càng giống với thực tế. Độ chính xác gần đúng được xác định bằng việc so sánh kết quả khảo sát mô hình với kết quả kiểm tra thực nghiệm.

Tuy nhiên khi tuyến tính hóa các phương trình miêu tả quá trình hoạt động của truyền động thuỷ lực thì cần phải thực hiện kiểm tra thực nghiệm phạm vi sự cho phép và biên giới hạn của sự tuyến tính hóa.

Phạm vi cho phép của sự tuyến tính hóa phải thoả mãn:

- Không tồn tại các đặc tính đứt đoạn và không đơn trị .
- Sự phù hợp của các phương trình tuyến tính gần đúng với đặc tính của các phần tử trong toàn bộ miền thay đổi của các tham số.

Phương pháp tuyến tính hóa phổ biến nhất là phân tích hàm không tuyến tính gần đúng thành chuỗi Taylor theo các số hạng vô cùng bé bậc cao của biến số đã biết trong miền lân cận các giá trị của biến phù hợp với chế độ đã định hoặc trạng thái cân bằng. Khi đó hệ phương trình vi phân tuyến tính. Phần lớn khi tính toán hệ thống điều khiển chỉ giới hạn các số hạng vô cùng bé bậc nhất.

Trong khi tuyến tính hóa, cần thiết phải:

- 1.Phân tích bản chất vật lý các cơ cấu trong hệ thống truyền động. Chỉ ra các liên kết có các tính chất tác dụng đặc trưng duy nhất cho các khâu cấu trúc thành phần.

-
2. Thiết lập các tích luỹ năng lượng có thể (quán tính của tải trọng, độ đàn hồi của chất lỏng công tác trong truyền động và cơ cấu điều khiển, quán tính các bộ phận dịch chuyển trên trực của tám chắn, con trượt giá cảm điện cảm của cuộn dây trong bộ biến đổi cơ - điện ...) và khi trình tự thực hiện phương trình vi phân phù hợp với các thiết lập trên.
 3. Nêu lên các đặc tính động lực học của các khâu cấu trúc thành phần có sử dụng điều kiện ban đầu.
 4. Phân tích và chỉ ra các giả thiết được chấp nhận trong quá trình tuyến tính hóa các phương trình nhận được:

II.1.2. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống động lực học

Truyền động thủy lực cũng như các dạng truyền động khác sẽ được xem xét trong tổng thể cùng với hệ thống cơ khí của thiết bị.

Để nghiên cứu các quá trình xảy ra trong động cơ chấp hành của truyền động sẽ khảo sát sơ đồ hệ thống động lực học của thiết bị (hình II.1.1a) biểu diễn mối liên hệ:

- Giữa các quá trình trong động cơ.
- Giữa các quá trình ma sát và cắt gọt.
- Giữa các hệ thống đàn hồi.

Hệ thống đàn hồi của thiết bị và các quá trình trong động cơ được liên hệ tương hỗ với nhau và tạo nên hệ thống có mạch phản hồi.

Ngoài ra các quá trình ma sát và cắt gọt sẽ tạo với hệ thống đàn hồi của thiết bị thành “hệ thống cơ khí” và mạch phản hồi bỗ xung (đường đứt nét).

Do đó sơ đồ hệ thống động lực học của thiết bị (hình II.1.1a) có thể biểu diễn thành sơ đồ hệ thống động lực học tương đương của thiết bị (hình II.1.1b).
trong đó:

- f - tác động bên ngoài (tín hiệu vào),
v - vận tốc dịch chuyển của cơ cấu chấp hành trong thiết bị (tín hiệu ra và là tín hiệu vào của truyền động),
p - lực phát động của động cơ (tín hiệu ra của truyền động),
 ΣF_* - tổng các lực ma sát và lực phát động của động cơ tác động lên cơ cấu chấp hành trong thiết bị.

Tất cả các tham số nêu trên là hàm của thời gian $f(t)$, $v(t)$, $p(t)$, $\Sigma F_*(t)$.

Với mục đích vận tốc $v(t)$ dịch chuyển của cơ cấu chấp hành trong thiết bị thì

phải quy lực phát động $p(t)$ phù hợp với sự thay đổi của tải trọng bên ngoài.

Trong trường hợp tổng quát thì quá trình chuyển tiếp trong hệ thống được biểu diễn bằng các phương trình vi phân.

Phương trình hệ thống cơ khí:

$$\left(a_0 \frac{d^n}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} + \dots + a_n \right) v = \left(b_0 \frac{d^m}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} + \dots + b_m \right) \sum F_i \quad (\text{II.1.1})$$

Phương trình hệ thống thuỷ lực biểu diễn sự thay đổi lực phát động của động cơ trong hệ thống thuỷ lực khi có sự thay đổi vận cơ cấu chấp hành của thiết bị:

$$\left(c_0 \frac{d^k}{dt^k} + c_1 \frac{d^{k-1}}{dt^{k-1}} + \dots + c_k \right) p = \left(e_0 \frac{d^i}{dt^i} + e_1 \frac{d^{i-1}}{dt^{i-1}} + \dots + e_i \right) v \quad (\text{II.1.2})$$

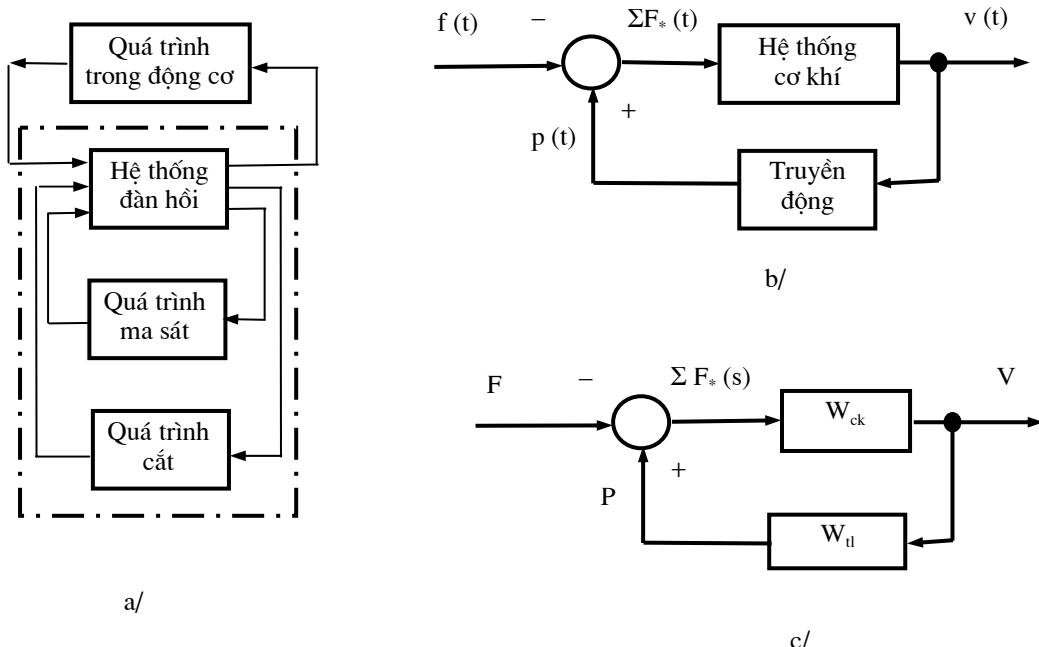
Phương trình liên kết:

$$\Sigma F_*(t) = p(t) - f(t) \quad (\text{II.1.3})$$

trong đó:

a, b, c, e - các hệ số phụ thuộc vào các thông số cấu trúc của hệ thống.

Sử dụng các biến đổi theo Laplace thì phương trình động lực học hệ thống có thể biểu diễn dưới dạng:



Hình II.1.1. Khảo sát động lực học hệ thống.

- a. Sơ đồ động lực học của thiết bị.
- b. Sơ đồ động lực học tương đương của thiết bị.
- c. Sơ đồ cấu trúc hệ thống động lực học của thiết bị.

$$\begin{aligned} D_1(s)V(s) &= K_1(s)\Sigma F_*(s) , \\ D_{21}(s)P(s) &= K_2(s)V(s) , \\ \Sigma F_*(s) &= P(s) - F(s) \end{aligned} \quad (II.1.4)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} V(s) &= L\left[\frac{\Delta v(t)}{v_0}\right] , \\ P(s) &= L\left[\frac{\Delta p(t)}{p_0}\right] , \\ \Sigma F_*(s) &= L\left[\frac{\Delta F_*(t)}{p_0}\right] , \\ F(s) &= L\left[\frac{\Delta f(t)}{p_0}\right] \end{aligned} \quad (II.1.5)$$

$D_1(s)$ - đa thức biểu diễn toán tử riêng của hệ thống cơ khí,

$D_{21}(s)$ - đa thức biểu toán tử riêng của hệ thống thuỷ lực,

$K_1(s), K_2(s)$ - toán tử tác dụng lên hệ thống cơ khí và hệ thống thuỷ lực.

Phương trình hàm truyền là tỷ số giữa đại lượng biểu diễn toạ độ lối ra theo Laplace và đại lượng biểu diễn giá trị lối vào theo Laplace tại các điều kiện không ban đầu.

Phương trình hàm truyền của hệ thống cơ khí sẽ được xác định:

$$W_{ck}(s) = \frac{V(s)}{\Sigma F_*(s)} \quad (II.1.6)$$

Phương trình hàm truyền của hệ thống thuỷ lực có dạng:

$$W_u(s) = \frac{P(s)}{V(s)} \quad (II.1.7)$$

Kết hợp các biểu thức (II.1.4) ÷ (II.1.7), sẽ nhận được:

$$\begin{aligned} W_{ck}(s) &= \frac{K_1(s)}{D_1(s)} , \\ W_u(s) &= \frac{K_2(s)}{D_2(s)} \end{aligned} \quad (II.1.8)$$

Sơ đồ cấu trúc hệ thống động lực học của thiết bị được biểu diễn trên hình II.1.1c.

II.1.3. Các khái niệm chủ yếu được sử dụng trong khảo sát theo phương pháp tần số

Phương pháp tần số để khảo sát và tính toán được áp dụng trong nhiều lĩnh vực

kỹ thuật khác nhau và đã được nghiên cứu kỹ trong môn học lý thuyết tự động điều khiển và điều chỉnh”.

Trong nội dung này chỉ đưa ra các khái niệm chủ yếu được áp dụng khi khảo sát đặc tính tần số của hệ thống thủy lực và các phần tử của nó.

Ý nghĩa vật lý của phương trình hàm truyền dễ nhận thấy trong mối liên hệ giữa phương trình hàm truyền với các đặc tính tần số. Nếu tại lối vào của khâu nào đó mà thiết bị hoặc hệ thống sẽ cấp tác động có quy luật hình sin

$$x = a \sin \omega t \quad (\text{II.1.9})$$

trong đó:

ω - tần số góc.

Khi đó tại lối ra của hệ thống tuyến tính ổn định sẽ nhận được dao động cường bức hình sin với cùng tần số góc ω nhưng khác về biên độ và có sự lệch pha:

$$y = b(\omega) \sin[\omega t + \varphi(\omega)] \quad (\text{II.1.10})$$

trong đó:

$\varphi(\omega)$ - độ lệch pha.

Dạng số phức của hàm điều hoà x (II.1.9) và y (II.1.10) được biểu diễn:

$$\begin{aligned} x(t) &= a e^{j\omega t}, \\ y(t) &= b e^{j(\omega t + \varphi)} , \\ j &= \sqrt{-1} \end{aligned} \quad (\text{II.1.11})$$

Nếu phương trình vi phân theo biến đổi Laplace có dạng:

$$D(s)Y(s) = K(s)X(s) \quad (\text{II.1.12})$$

trong đó:

$Y(s), X(s)$ - toạ độ lối vào và lối ra theo biến đổi Laplace,

$D(s), K(s)$ - đa thức toán tử.

Khi đó hàm tần số phức sẽ có dạng:

$$W(j\omega) = \frac{K(j\omega)}{D(j\omega)} = \frac{b}{a} e^{j\varphi} \quad (\text{II.1.13})$$

Biểu thức (II.1.13) là đặc tính biên độ - pha tần số của hệ thống hoặc phương trình hàm truyền tần số.

Đặc tính tần số nhận được từ phương trình hàm truyền bằng cách thay s bằng $j\omega$. Môđun của đặc tính tần số bằng tỷ số giữa biên độ toạ độ lối ra b đổi với biên độ a tác dụng tại lối vào. Sự thay đổi của tỷ số $\frac{b}{a}$ này trong hàm truyền tần số (II.1.13)

được gọi là đặc tính biên độ - tần số của hệ thống. Đổi số của hàm phức này bằng độ lệch pha của toạ độ với tác dụng tại lối vào

$$\begin{aligned} \text{mod } W(j\omega) &= \frac{b}{a}, \\ \arg W(j\omega) &= \varphi \end{aligned} \quad (\text{II.1.14})$$

Sự thay đổi của độ lệch pha trong hàm truyền tần số được gọi là đặc tính pha - tần số của hệ thống.

Nếu lấy logarít của hàm truyền tần số, sẽ nhận được:

$$\ln W(j\omega) = \ln A(\omega) + j\varphi(\omega) \quad (\text{II.1.15})$$

trong đó

A - tỉ số giữa các biến độ

$$A = \frac{b}{a} \quad (\text{II.1.16})$$

Như vậy logarít của hàm truyền tần số là một biểu thức giá trị phức:

- Phần thực là logarít của môđun.
- Phần ảo là pha.

Trong thực tế thường sử dụng logarít thập phân (cơ số 10). Khi đó thị đặc tính biên độ lôga và đặc tính pha lôga được xây dựng riêng biệt. Đơn vị đo của tỉ số biến độ là đêxiben ($1\text{dB} = 20\lg 10$).

Đồ thị biểu diễn hàm $20\lg A$ đối với biến số $\lg 10$ được gọi là đặc tính biên độ - tần số loga. Đồ thị biểu diễn hàm φ đối với biến số $\lg \omega$ được gọi là đặc tính pha -tần số lôga.

Khi xây dựng các đồ thị đặc tính biên độ lôga và đặc tính pha lôga thì theo trực hoành sẽ lắp đặt logarít tần số theo tỷ lệ tuyến tính nhưng sự lấy dấu trên trực hoành sẽ thực hiện không theo giá trị của $\lg \omega$ mà theo giá trị của bản thân tần số ω . Do đó sẽ tăng thêm cho thang đo của ω có đặc tính logarít.

Trên đồ thị đặc tính biên độ lôga thì theo trực tung là giá trị môđun $|W(j\omega)|$ tính theo dB.

Còn trên đồ thị đặc tính pha lôga là giá trị góc pha φ tính theo độ.

Trong khi xây dựng đồ thị đặc tính tần số lôga của các thiết bị thuỷ lực và hệ thống thuỷ lực thì theo trực hoành sẽ không phải là tần số góc ω , mà là tần số tuyến tính $f = \frac{\omega}{2\pi}$. Tần số tuyến tính f sẽ được đo bằng khi xác định thực nghiệm các đặc tính tần số.

Ưu điểm của các đặc tính tần số lôga:

- Khả năng xây dựng đồ thị mà không cần tính toán, đặc biệt trong các trường hợp khi mà phương trình hàm truyền có thể biểu diễn dưới dạng tích các hàm truyền của các khâu thành phần. Khi đó đặc tính tần số tổng cộng có thể nhận được bằng cách lấy tổng các tung độ, tương ứng với từng thừa số riêng biệt.
- Khi xây dựng đồ thị đặc tính tần số lôga của hệ thống phức tạp thì một phần các đặc tính của các thừa số có thể nhận được bằng giải tích, còn một phần có thể nhận được bằng thực nghiệm. Tổng của các giá trị này không phụ thuộc vào phương pháp nhận được chúng.

Xây dựng đồ thị các đặc tính tần số lôga của các khâu thành phần trong hệ thống hoặc trong một mạch sẽ được đơn giản đáng kể nếu sử dụng phương pháp gần đúng.

Trong phương pháp gần đúng này thì các đặc tính sẽ được biểu diễn các đoạn thẳng được liên hợp lẫn nhau. Các đoạn thẳng này là các đường tiệm cận của các đặc tính biên độ lôga. Tập hợp các đường tiệm cận sẽ tạo thành đặc tính biên độ - tần số lôga tiệm cận.

Đặc tính biên độ tiệm cận sẽ có sai số so với đặc tính điểm. Sai số này lớn nhất tại giao điểm của hai đường tiệm cận.

Để hiệu chỉnh sai số của đặc tính tiệm cận thì sẽ tiến hành hiệu chỉnh. Sự hiệu chỉnh này phụ thuộc vào tần số tương đối u giữa tần số ω và tần số liên hợp ω_* là $\left(u = \frac{\omega}{\omega_*} \right)$. Tần số ω_* là tần số khi các đường tiệm cận cắt nhau.

Phương trình hàm truyền của hệ thống hoặc của phần tử là tỷ số giá trị lối ra theo biến đổi Laplace và giá trị lối vào theo biến đổi Laplace và giá trị lối vào tại điều kiện không ban đầu. Phương trình hàm truyền sẽ biểu diễn hoàn toàn các tính chất động lực học của hệ thống hoặc của phần tử. Phương trình hàm truyền có thể được biểu diễn dưới dạng giải tích hoặc dưới dạng đặc tính tần số.

Đặc tính biên độ - tần số lôga là mối liên hệ giữa logarít môđun của hàm truyền tần số so với tần số. Còn đặc tính pha - tần số lôga là mối liên hệ giữa logarít góc pha của hàm truyền tần số so với tần số.

Phương trình hàm truyền tần số của hệ thống kín là đặc tính tần số của tỉ số đối với giá trị được điều chỉnh so với tác động tại lối vào

$$\Phi(j\omega) = \frac{W_{ck}(j\omega)}{1 - W_{ck}(j\omega)W_{tl}(j\omega)} \quad (\text{II.1.17})$$

Phương trình hàm truyền của hệ thống hở được xác định:

$$W_*(j\omega) = W_{ck}(j\omega)W_{tl}(j\omega) \quad (\text{II.1.18})$$

Tần số cắt là hoành độ điểm cắt giữa đặc tính biên độ - tần số lôga của hệ thống hở với trục tần số.

Tần số liên hợp là tần số mà tại đó đường tiệm cận sẽ cắt đối với đường đặc tính biên độ - tần số lôga.

Sự ổn định của hệ thống hoặc của phần tử là tính chất mà trong đó phản lực của các tác động sẽ tắt dần sau khi ngừng tác động.

Điều kiện ổn định là điều kiện tại các tần số mà tại đó đặc tính biên độ - tần số lôga của hệ thống hở có giá trị dương, còn giá trị pha của đặc tính pha - tần số không vượt quá $|180^\circ|$.

Dự trữ độ ổn định theo pha là góc mà góc pha của đặc tính pha - tần số đối với hệ thống hở lệch khác so với góc 180° tại tần số cắt.

Hệ thống pha nhỏ nhất là hệ thống có các độ trượt pha nhỏ nhất có thể khi tồn tại trong các hệ thống này một số các phần tử tích luỹ năng lượng. Các hệ thống này không chứa các khâu không ổn định.

Hệ thống có pha không nhỏ nhất có chứa các phần tử có giá trị âm tại tử thúc hoặc mẫu thúc của phương trình hàm truyền.

Các phần tử có giá trị âm này tương ứng với các khâu không ổn định hoặc vào mạch có mạch phản hồi dương.

BÀI 3
TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HỆ THỐNG
TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC TUYẾN TÍNH

II.2.1. Xác định hàm truyền của bom và động cơ thuỷ lực có tải.	
II.2.1.1. Các giả thiết khi thiết lập phong trình hàm truyền.	27
II.2.1.2. Xây dựng phong trình hàm truyền.	
II.2.2. Xác định hàm truyền của khuếch đại thuỷ lực.	
II.2.2.1. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động của khuếch đại thuỷ lực.	32
II.2.2.2. Xây dựng phong trình hàm truyền của khuếch đại thuỷ lực.	33
II.2.3. Nam châm điện điều khiển.	
II.2.3.1. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động của nam châm điện điều khiển.	37
II.2.3.2. Xác định hàm truyền của nam châm điện điều khiển.	39
II.2.4. Sơ đồ cấu trúc của truyền động thuỷ lực đọc điều chỉnh.	42

BÀI 3. TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC TUYẾN TÍNH

Trong quá trình thiết kế hệ thống truyền động thủy lực thì việc giải bài toán ổn định của hệ thống kín là bước quan trọng nhất. Sẽ tiến hành xây dựng phương trình hàm truyền của hệ thống và các mạch vòng trong nó.

II.2.1. Xác định hàm truyền của bơm và động cơ thuỷ lực có tải

Mặc dù bơm và động cơ thuỷ lực không phải là các khâu có cùng một hướng nhưng trong khi thiết lập phương trình hàm truyền vẫn coi cụm tổ hợp bơm - động cơ - tải trọng là khâu có tác dụng một hướng.

Toạ độ tín hiệu vào là góc xoay γ của giá lắc, còn toạ độ tín hiệu ra là góc xoay α của trực động cơ thuỷ lực.

II.2.1.1. Các giả thiết khi thiết lập phương trình hàm truyền

Khi thiết lập phương trình tuyến tính của bơm và động cơ thuỷ lực có tải sẽ chấp nhận các giả thiết như sau:

- Lưu lượng của bơm tỷ lệ với góc xoay γ của giá lắc (sẽ bỏ qua độ cong của cung theo quỹ đạo dịch chuyển của đầu thanh truyền khi xoay giá lắc, cho phép khi $\gamma < 30^\circ$).
- Sự rò rỉ tỉ lệ với độ giảm áp suất.
- Lưu lượng biến dạng của chất lỏng tỉ lệ thuận với thể tích chất lỏng trong khoang có áp, vận tốc thay đổi áp suất tỉ lệ nghịch với môđun đàn hồi E của chất lỏng.

Giá trị của môđun đàn hồi x sẽ được hiệu chỉnh một lượng tương ứng với sự ảnh hưởng biến dạng của thành đường ống nếu ảnh hưởng này là đáng kể.

- Giả thiết có liên kết cứng giữa động cơ thuỷ lực và tải mà không có các khe hở (không tính đến độ đàn hồi của liên kết).
- Chỉ khắc phần tuyến tính của tải trọng tĩnh hay còn gọi là ma sát nhót. Điều này được phép khi tải trọng quán tính có giá trị lớn.
- Vận tốc của động cơ dẫn động (của bơm) là không đổi.

II.2.1.2. Xây dựng phương trình hàm truyền

Thiết lập phương trình hàm truyền động thuỷ lực được dựa trên 2 phương trình chủ yếu:

- Phương trình lưu lượng.
- Phương trình tải tác dụng lên trực động cơ thuỷ lực.

Phương trình lưu lượng được xác định:

$$Q_B = Q_{dc} + Q_{\Sigma} + Q_{bd} \quad (II.2.1)$$

trong đó:

Q_B - lưu lượng của bơm không tính sự rò rỉ,

Q_{dc} - lưu lượng đi qua động cơ thuỷ lực khi không có rò rỉ,

Q_{Σ} - lưu lượng tồn thất rò rỉ,

Q_{bd} - lưu lượng được tạo nên do sự biến dạng của chất lỏng.

Chia cả 2 vế của biểu thức (II.2.1) cho đại lượng thể tích đặc trưng V_0 , sẽ nhận được:

$$\omega_B = \omega_{dc} + \omega_{\Sigma} + \omega_{bd} \quad (II.2.2)$$

trong đó:

ω_{Σ} - tồn thất vận tốc do dò rỉ,

ω_{bd} - sự thay đổi vận tốc do biến dạng của chất lỏng.

V_0 - lượng chất lỏng qua động cơ thuỷ lực khi trực rôto quay được góc bằng 1 rad.

Tại vế trái của biểu thức (II.2.2) thì vận tốc không tái tương ứng với công suất lớn nhất của bơm theo điều kiện:

$$\begin{aligned} p_{dc} &\equiv 0, \\ \dot{\omega}_{dc} &\equiv 0, \\ \ddot{p}_{dc dc} &\equiv 0 \end{aligned} \quad (II.2.3)$$

Như vậy từ biểu thức (II.2.3) có thể xây dựng đặc tính tĩnh học:

$$\dot{\omega}_{dc} \equiv 0,$$

$$\ddot{p}_{dc} \equiv 0,$$

$$\omega_{bd} = 0,$$

$$p_{dc} \neq 0,$$

$$\omega_{\Sigma} \neq 0$$

Nếu bơm và động cơ thuỷ lực có các kích thước như nhau, thì sự khác nhau về cấu trúc của chúng nằm trong sự không đổi độ nghiêng γ_{dc} của cụm xilanh trong động cơ thuỷ lực và khả năng thay đổi của độ nghiêng γ của bơm

$$0 < \gamma < \pm \gamma_{dc} \quad (II.2.4)$$

Lưu lượng hình học của bơm và của động cơ thuỷ lực được xác định:

$$\begin{aligned} Q_B &= S_p R \gamma z \frac{\omega_B}{2\pi} \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right], \\ Q_{dc} &= S_p R \gamma z \frac{\omega_{dc}}{2\pi} \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right] \end{aligned} \quad (II.2.5)$$

trong đó:

S_p - diện tích piston,

z - số lượng các piston,

R - bán kính đường tròn mà trên đó đặt các tâm của các xi lanh,

ω_B, ω_{dc} - vận tốc góc của bơm và của động cơ.

So sánh các biểu thức trong (II.2.5) tương ứng với trạng thái chạy không tải, sẽ nhận được:

$$\omega_B = \mu_x \gamma \quad (\text{II.2.6})$$

trong đó:

μ_x - hệ số tỷ lệ giữa ω_B và γ

$$\mu_x = \frac{\omega_B}{\gamma} \quad (\text{II.2.7})$$

Với độ chính xác tương đối bằng thực nghiệm đã thiết lập mối liên hệ tỉ lệ sự rõ rỉ và độ giảm áp suất.

$$\omega_{bd} = C_\Sigma p \quad (\text{II.2.8})$$

trong đó:

C_Σ - hệ số được xác định bằng thực nghiệm.

Giá trị C_Σ sẽ xác định độ nghiêng các đặc tính tĩnh học $\omega_{dc}(p)$ hoặc $\omega_{dc}(M)$.

Lưu lượng do sự biến dạng của chất lỏng gây nên được xác định:

$$Q_{bd} = \frac{V}{E} \frac{dp}{dt} = V_0 \omega_{bd} \quad (\text{II.2.9})$$

trong đó:

V - thể tích chất lỏng trên mạch có áp,

E - môđun dàn hồi của chất lỏng.

Suy ra:

$$\omega_{bd} = \frac{Q_{bd}}{V_0} = \frac{V}{V_0 E} \frac{dp}{dt} = C_{bd} \frac{dp}{dt} \quad (\text{II.2.10})$$

Kết hợp các biểu thức (II.2.1) ÷ (II.2.10) sẽ nhận được phương trình vi phân lưu lượng:

$$\mu_x \gamma = \frac{d\alpha}{dt} + C_\Sigma p + C_{bd} \frac{dp}{dt} \quad (\text{II.2.11})$$

trong đó:

α - góc quay của trục động cơ thủy lực.

Momen chỉ thị được tạo nên bởi động cơ thủy lực (không tính tốn thất cơ khí) được xác định:

$$M = V_0 p = M_{dl} + M_c \quad (\text{II.2.12})$$

trong đó:

M_{dl} - mômen động lực học được xác định bởi mômen quán tính J_T của tải trọng và mômen quán tính J_0 của các phần tử quay của động cơ thuỷ lực

$$M_d = J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \left(J_0 + \frac{J_T}{i^2} \right) \frac{d^2\alpha}{dt^2} \quad (\text{II.2.13})$$

i - tỷ số truyền từ động cơ thuỷ lực đến tải trọng,

M_c - mômen cản đã được tuyển tính hoá

$$M_c = F_c \omega_{dc} = F_c \frac{d\alpha}{dt} \quad (\text{II.2.14})$$

F_c - hệ số mômen cản.

Kết hợp (II.2.12) ÷ (II.2.14) sẽ nhận được:

$$V_0 p = J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + F_c \frac{d\alpha}{dt} \quad (\text{II.2.15})$$

Các biểu thức (II.2.19) ÷ (II.2.15) sẽ tạo nên hệ thống các phương trình vi phân tuyến tính với các hằng số cố định:

$$\begin{aligned} \mu_x \gamma &= \frac{d\alpha}{dt} + C_\Sigma p + C_{bd} \frac{dp}{dt}, \\ V_0 p &= J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + F_c \frac{d\alpha}{dt} \end{aligned} \quad (\text{II.2.16})$$

Hệ phương trình (II.2.16) có chứa 3 biến số:

- Biến số γ cho trước.
- Tạo độ lối ra α (biến số tìm được).
- Tạo độ hàm chức năng p (biến số trung gian).

Loại bỏ tạo độ hàm chức năng p , sẽ nhận được:

$$\mu_x \gamma = \frac{JC_{bd}}{V_0} \frac{d^3\alpha}{dt^3} + \frac{JC_\Sigma + F_c C_{bd}}{V_0} \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{F_c C_\Sigma + V_0}{V_0} \frac{d\alpha}{dt} \quad (\text{II.2.17})$$

Thay đạo hàm trong biểu thức (II.2.17) bởi các toán tử vi phân Laplace $s = \frac{d}{dt}$

sẽ nhận được:

$$\mu_x \gamma = \frac{JC_{bd}}{V_0} s^3 \alpha + \frac{JC_\Sigma + F_c C_{bd}}{V_0} s^2 \alpha + \frac{F_c C_\Sigma + V_0}{V_0} s \alpha \quad (\text{II.2.18})$$

Suy ra:

$$\left\{ \frac{JC_{bd}}{V_0} s^3 + \frac{JC_\Sigma + F_c C_{bd}}{V_0} s^2 + \frac{F_c C_\Sigma + V_0}{V_0} s \right\} A(s) = \frac{JC_{bd}}{V_0} \{ s^2 \alpha(0) + s \alpha'(0) + \alpha''(0) \} + \\ + \frac{JC_\Sigma + F_c C_{bd}}{V_0} \{ s \alpha(0) + \alpha'(0) \} + \frac{F_c C_\Sigma + V_0}{V_0} \alpha(0) + \mu_x G(s)$$

(II.2.19)

trong đó:

$\mu_x G(s)$ - biến số cho trước với hệ số μ_x

$$\mu_x G(s) = L[\mu_x \gamma(t)] \quad (\text{II.2.20})$$

$A(s)$ - biến số tìm được (tọa độ lối ra)

$$A(s) = L[\alpha(t)] \quad (\text{II.2.21})$$

Nếu điều kiện ban đầu là điều kiện không thì về bên phải của biểu thức (II.2.19) chỉ còn lại số hạng với biến số đã cho (II.2.20). Do đó tỷ số giữa $A(s)$ và $G(s)$ sẽ gọi là phương trình hàm truyền của truyền động thủy lực:

$$\frac{A(s)}{G(s)} = \frac{\mu_x \frac{V_0}{F_c C_\Sigma + V_0}}{\left\{ \frac{JC_\Sigma}{F_c C_\Sigma + V_0} s^2 + \frac{JC_\Sigma + F_c C_{bd}}{F_c C_\Sigma + V_0} s + 1 \right\} s} \quad (\text{II.2.22})$$

Sử dụng công thức chuẩn tắc, sẽ nhận được:

$$W_3(s) = \frac{\alpha(s)}{\gamma(s)} = \frac{K_3}{(T_3^2 s^2 + 2\xi_3 T_3 s + 1)s} \quad (\text{II.2.23})$$

Phương trình hàm truyền (II.2.23) tương ứng với sự liên kết tiếp của các khâu dao động và khâu tích phân với hằng số thời gian T_3 , hệ số tắt dần ξ_3 và hệ số khuếch đại K_3 .

Các giá trị này khác so với hệ số tỷ lệ μ_x một thừa số là $\frac{V_0}{F_c C_\Sigma + V_0} < 1$.

Biết rằng $\frac{F_c C_\Sigma}{V_0} \ll 1$ nên hệ số khuếch đại có dạng:

$$K_3 \approx \mu_x \quad (\text{II.2.24})$$

Hằng số thời gian được xác định:

$$T_3 = \sqrt{\frac{JC_\Sigma}{F_c C_\Sigma + V_0}} \quad (\text{II.2.25})$$

Hệ số tắt dần có dạng:

$$\xi_3 = \frac{JC_\Sigma + F_c C_{bd}}{2\sqrt{(F_c C_\Sigma + V_0)JC_\Sigma}} \quad (\text{II.2.26})$$

Thông thường thì $J > C_{\Sigma}$ và $C_{\Sigma} \gg C_{bd}$ nên $J C_{\Sigma} \gg F_C C_{bd}$.

Suy ra hằng số thời gian (II.2.25) sẽ được xác định:

$$T_3 \approx \sqrt{\frac{JC_{bd}}{V_0}} = \frac{64}{S_p R z \gamma_{dc}} \sqrt{\frac{JV}{E}} \quad (\text{II.2.27})$$

Hệ số tắt dần (II.2.26) sẽ có dạng:

$$\xi_3 \approx \frac{C_{\Sigma}}{2} \sqrt{\frac{J}{V_0 C_{bd}}} \approx 5 C_{\Sigma} \sqrt{\frac{JE}{V}} \quad (\text{II.2.28})$$

Tần số dao động riêng của khâu dao động được xác định:

$$\omega_3 = \frac{1}{T_3} \approx 0,0156 S_p R z \gamma_{dc} \sqrt{\frac{E}{JV}} \quad (\text{II.2.29})$$

Nếu tồn thắt rò rỉ C_{Σ} trong truyền động thuỷ lực càng lớn (hệ số hiệu dụng thể tích càng nhỏ) thì hệ số tắt dần ξ_3 càng cao. Nếu thể tích khoang cao áp V càng lớn thì đường ống giữa bơm và động cơ thuỷ lực càng dài và hệ số tắt dần ξ_3 càng thấp. Do đó quá trình dao động càng thể hiện mạnh hơn trong chế độ chuyển tiếp. Nếu thể tích khoang cao áp V càng lớn và mômen quán tính J của tải trọng càng cao thì hằng số thời gian T_3 càng lớn và tần số riêng ω_3 càng thấp. Nếu làm tăng mômen quán tính J thì sẽ làm tăng hệ số tắt dần ξ_3 . Mômen quán tính J và công suất của truyền động thuỷ lực sẽ được xác định bằng tải trọng cho trước và tính toán năng lượng của truyền động thuỷ lực. Như vậy sự giảm dao động sẽ được xác định bằng:

- Làm giảm thể tích khoang cao áp, làm giảm đường ống giữa bơm và động cơ thuỷ lực.
- Làm tăng rò rỉ nhân tạo để dẫn đến làm giảm hệ số hiệu dụng.

II.2.2. Xác định hàm truyền của khuếch đại thuỷ lực

Khuếch đại thuỷ lực là một trong các khâu của hệ thống tự động điều khiển, nó thường có cấu tạo 2 cấp:

- Cấp thứ nhất là cơ cấu khuếch đại kiểu “vòi phun - tấm chắn”.
- Cấp thứ hai là cơ cấu “con trượt - xilanh lực”.

II.2.2.1. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động của khuếch đại thuỷ lực

1. Nếu loại bỏ mạch phản hồi trong cấp thứ hai và gắn cố định piston của mạch phản hồi với con trượt thì:

- Trong cấp thứ nhất thì độ dịch chuyển của con trượt sẽ tỉ lệ thuận với góc xoay của trực tấm chắn. Cấp thứ nhất gọi là khâu có mối liên kết đàn hồi đồng bộ.
- Trong cấp thứ hai thì vận tốc dịch chuyển của piston trong xilanh lực (hoặc vận tốc

giá lắc của bơm) sẽ tỉ lệ thuận với độ dịch chuyển của con trượt so với vị trí trung bình. Cấp thứ hai sẽ có đặc tính của khâu tích phân.

2. Nếu loại bỏ mạch phản hồi trong cấp thứ hai, gắn cố định piston của mạch phản hồi với con trượt và trong cấp thứ nhất kết cứng con trượt với các vòi phun thì:

- Cấp thứ nhất sẽ là khâu tích phân có mạch phản hồi liên kết cứng.
- Cấp thứ hai vẫn là khâu tích phân.

3. Nếu trong cấp thứ nhất liên kết cứng con trượt với các vòi phun. Trong cấp thứ hai có mạch phản hồi liên kết cứng với khoang con trượt thì:

- Cấp thứ nhất sẽ là khâu tích phân có mạch phản hồi liên kết cứng (khâu quán tính).
- Cấp thứ hai vẫn là khâu tích phân có mạch phản hồi liên kết cứng (khâu quán tính).

Trong trường hợp này thì cơ cấu khuếch đại thuỷ lực có thể coi như 2 khâu quán tính được mắc nối tiếp nhau.

Biến đổi lực cản thuỷ lực của vòi phun bằng các tám chấn sẽ nhận được mối liên hệ phi tuyến giữa độ chênh áp suất p_1 tác dụng lên con trượt và góc xoay β của trục tám chấn.

Tuy nhiên hoạt động của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực thường xảy ra các giá trị rất nhỏ của góc xoay β nên việc tuyến tính hóa các đặc tính lực sẽ được thực hiện bằng cách phân tích chuỗi Taylor đối với giá trị “0” của hàm tại gốc toạ độ.

II.2.2.2. Xây dựng phương trình hàm truyền của khuếch đại thuỷ lực

Lực cản sự dịch chuyển của con trượt sẽ bao gồm:

- Lực ma sát Culông và ma sát nhót khi con trượt dịch chuyển trong khoang thân.
- Phản lực của dòng chảy qua các cửa công tác.
- Lực được gây nên bởi các hiệu ứng bề mặt khác nhau lên thành ống dẫn.

Khi con trượt dịch chuyển sẽ xuất hiện ma sát bổ xung tỉ lệ thuận với bình phương vận tốc.

Trong miền đặc tính xác định của con trượt thì mối liên hệ phi tuyến giữa lực ma sát và sự dịch chuyển của con trượt thường được tuyến tính hóa nhờ toán tử Laplace $\left(s = \frac{d}{dt} \right)$ theo biểu thức

$$H_1 s x \quad (II.2.30)$$

trong đó:

H_1 - hệ số ma sát nhót trên bề mặt con trượt,

x - độ dịch chuyển của con trượt

Phương trình động lực học mô hình tuyến tính của con trượt trong cấp thứ nhất sẽ được biểu diễn

$$p_1 S_1 = m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + H_1 \frac{dx}{dt} + (C_1 + C_{dl}) x \quad (II.2.31)$$

trong đó:

S_1 , m_1 - diện tích cắt và khối lượng con trượt,

C_1 - độ cứng của lò xo,

C_{dl} - “độ cứng thuỷ lực” của chất lỏng trong khoang con trượt.

Cấp thứ nhất có thể tích công tác rất nhỏ và làm việc ở chế độ xả chất lỏng liên tục nên có thể bỏ qua sự rò rỉ và sự nén của chất lỏng vì khối lượng của con trượt không lớn.

Loại bỏ giá trị áp suất p_1 trong biểu thức (II.2.31), biến đổi để nhận được phương trình vi phân, từ đó sẽ nhận được phương trình hàm truyền của cấp thứ nhất trong khuếch đại thuỷ lực

$$W_1(s) = \frac{x(s)}{\beta(s)} = \frac{K_1}{T_1^2 s^2 + 2\xi_1 T_1 s + 1} \quad (II.2.32)$$

trong đó:

K_1 - hệ số khuếch đại của cấp thứ nhất

$$K_1 = \frac{C_{10}}{C_1 + C_{dl}} S_1 \quad (II.2.33)$$

T_1 - hằng số thời gian của cấp thứ nhất

$$T_1 = \sqrt{\frac{m_1}{C_1 + C_{dl}}} \quad (II.2.34)$$

ξ_1 - hệ số tăt dàn của cấp thứ nhất

$$\xi_1 = \frac{H_1}{2\sqrt{m_1(C_1 + C_{dl})}} \quad (II.2.35)$$

Nếu hệ số tăt dàn của cấp thứ nhất $\xi_1 > 1$ thì phương trình đặc tính có thể được biểu diễn dưới dạng tích của hai thành phần (liên kết nối tiếp của 2 khâu không có chu kỳ), trong đó một trong 2 hằng số thời gian nhỏ hơn hằng số kia $k10^2$ ($k = 1, 2, \dots, n$).

Do đó có thể bỏ qua hằng số thời gian có giá trị nhỏ và sẽ nhận được phương trình hàm truyền của cấp thứ nhất

$$W_1 * (s) = \frac{x(s)}{\beta(s)} = \frac{K_1}{T_1 s + 1} \quad (II.2.36)$$

Phương trình lưu lượng tuyến tính trong cấp thứ hai sẽ có dạng

$$Q_2 = Q_{02} + Q_{\Sigma 2} + Q_{dh2} \quad (II.2.37)$$

trong đó:

Q_2 - lưu lượng chất lỏng chuyển qua cấp thứ hai trong khuếch đại thuỷ lực

$$Q_2 = \mu x \quad (II.2.38)$$

μ - hệ số tỷ lệ,

Q_{02} - lưu lượng chất lỏng được cấp vào xilanh không tính tốn thất và biến dạng đòn hồi của chất lỏng trong xilanh

$$Q_{02} = S_2 \frac{dy}{dt} \quad (II.2.39)$$

S_2 - diện tích hiệu dụng của piston trong xilanh thuỷ lực,

y - độ dịch chuyển của piston trong xilanh thuỷ lực,

$Q_{\Sigma 2}$ - lưu lượng tốn thất của chất lỏng trong xilanh

$$Q_{\Sigma 2} = C_{\Sigma} p_2 \quad (II.2.40)$$

C_{Σ} - hệ số rò rỉ quy dẫn,

p_2 - độ chênh áp suất trong xilanh,

Q_{dh2} - lưu lượng do biến dạng đòn hồi của chất lỏng trong xilanh

$$Q_{dh2} = \frac{V_{02}}{2E} \frac{dp_2}{dt} \quad (II.2.41)$$

V_{02} - thể tích chất lỏng trong khoang có áp của xilanh thuỷ lực tại vị trí trung bình của piston,

E - môđun đòn hồi của chất lỏng.

Giả thiết liên hệ giữa góc xoay γ của khoang chứa chất lỏng với độ dịch chuyển x của con trượt là tuyến tính theo biểu thức:

$$\gamma = k_{\gamma} x$$

Khi đó, phương trình cân bằng động lực học mô hình tuyến tính của xilanh thuỷ lực trong cấp thứ hai sẽ được xác định

$$p_2 S_2 R_2 = J_2 \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + H_2 \frac{d\gamma}{dt} \quad (II.2.42)$$

trong đó:

R_2 - cánh tay đòn từ tâm giữ cần piston đến tâm của khoang xilanh,

J_2 - mômen quán tính của khoang xilanh,

H_2 - hệ số ma sát nhót của khoang xilanh.

Kết hợp các biểu thức (II.2.37) ÷ (II.2.41) sẽ nhận được biểu thức liên hệ giữa góc xoay γ của khoang xilanh thuỷ lực với độ dịch chuyển x của con trượt

$$x = \frac{\frac{R_2 S_2^2}{k_\gamma} + C_\Sigma H_2}{\mu S_2 R_2} \gamma \left(\frac{\frac{V_{02}}{2E} J_2}{\frac{R_2 S_2^2}{k_\gamma} + C_\Sigma H_2} s^2 + \frac{C_2 J_2 + \frac{V_{02}}{2E} H_2}{\frac{R_2 S_2^2}{k_\gamma} + C_\Sigma H_2} s + 1 \right) s \quad (\text{II.2.43})$$

Phương trình hàm truyền của cấp thứ hai trong khuếch đại thuỷ lực có dạng

$$W_2(s) = \frac{\gamma(s)}{x(s)} = \frac{K_2}{T_2^2 s^2 + 2\xi_2 T_2 s + 1} \quad (\text{II.2.44})$$

trong đó:

K_2 - hệ số khuếch đại của cấp thứ hai

$$K_2 = \frac{\mu S_2 R_2}{\frac{R_2 S_2^2}{k_\gamma} + C_\Sigma H_2} \quad (\text{II.2.45})$$

T_2 - hằng số thời gian của cấp thứ hai

$$T_2 = \sqrt{\frac{\frac{V_{02}}{2E} J_2}{\frac{R_2 S_2^2}{k_\gamma} + C_\Sigma H_2}} \quad (\text{II.2.46})$$

ξ_2 - hệ số tắt dần của cấp thứ hai

$$\xi_2 = \frac{C_2 J_2 + \frac{V_{02}}{2E} H_2}{2 \sqrt{\frac{V_{02}}{2E} J_2 \left(\frac{R_2 S_2^2}{k_\gamma} + C_\Sigma H_2 \right)}} \quad (\text{II.2.47})$$

Nếu hệ số tắt dần của cấp thứ hai $\xi_2 \geq 1$ thì phương trình đặc tính (mẫu số của biểu thức II.2.44) có thể được biểu diễn dưới dạng tích của hai thành phần với các hằng số thời gian T_{2a} và T_{2b} và khâu sẽ là khâu tích phân và đồng thời 2 lần không có chu kỳ.

Thông thường thì các hằng số thời gian T_{2a} và T_{2b} sẽ tương đối nhỏ. Do đó khi $C_\Sigma \rightarrow 0$ và $E \rightarrow \infty$ thì biểu thức (II.2.62) có thể được đơn giản hóa thành

$$x = \frac{S_2}{k_\gamma \mu} s \gamma \quad (\text{II.2.48})$$

Phương trình hàm truyền của cấp thứ hai trong khuếch đại thuỷ lực sẽ được xác định như là khâu tích phân đơn giản

$$W_2(s) = \frac{\gamma(s)}{x(s)} = \frac{K_2 *}{s} \quad (\text{II.2.49})$$

trong đó:

K_2^* - hệ số khuếch đại của cấp thứ hai (là khâu tích phân đơn giản)

$$K_2^* = \frac{k_\gamma \mu}{S_2} \quad (\text{II.2.50})$$

Phương trình hàm truyền toàn bộ của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực 2 cấp sẽ là tích hàm truyền của cấp thứ nhất với hàm truyền của cấp thứ hai

$$W(s) = W_1(s)W_2^*(s) = \frac{\gamma(s)}{\beta(s)} = \frac{K_{12}}{(T_1 s^2 + 2\xi_1 T_1 s + 1)s} \quad (\text{II.2.51})$$

trong đó:

K_{12} - hệ số khuếch đại của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực 2 cấp

$$K_{12} = K_1 K_2^* \quad (\text{II.2.52})$$

Nếu khi có thể bỏ qua hằng số thời gian có giá trị nhỏ và nhận được phương trình hàm truyền của cấp thứ nhất theo biểu thức (II.2.36) thì phương trình hàm truyền toàn bộ của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực 2 cấp sẽ được xác định

$$W(s) = W_1^*(s)W_2^*(s) = \frac{\gamma(s)}{\beta(s)} = \frac{K_{12}}{(T_1 s + 1)s} \quad (\text{II.2.53})$$

Nếu cấp thứ hai của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực có mạch phản hồi cứng thì có thể nhận được phương trình hàm truyền toàn bộ của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực dưới dạng:

$$W(s) = \frac{\gamma(s)}{\beta(s)} = \frac{K^*}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1} \quad (\text{II.2.54})$$

trong đó:

K^* - hệ số khuếch đại của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực

$$K^* = \frac{C_{10} S_1}{C_1 K_{20}} \quad (\text{II.2.55})$$

K_{20} - hệ số tỷ lệ giữa độ dịch chuyển của khoang xilanh và độ dịch chuyển của piston trong mạch phản hồi,

T - hằng số thời gian của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực

$$T = \sqrt{\frac{H_1 S_2}{C_1 K_{20} k_\gamma \mu}} \quad (\text{II.2.56})$$

ξ_2 - hệ số tăt dần của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực

$$\xi = \frac{\sqrt{S_2} (C_1 + C_{41})}{2 \sqrt{C_1 K_{20} k_\gamma \mu H_1}} \quad (\text{II.2.57})$$

II.2.3. Xác định hàm truyền của nam châm điện điều khiển

Khảo sát cơ cấu biến đổi điện - cơ theo dạng trường điện - từ quay. Trên hình II.2.2 biểu diễn nguyên lý hoạt động của nam châm điện điều khiển.

II.2.3.1. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động của nam châm điện điều khiển

Khi chiều của dòng điện như trên hình II.2.2 thì tại các cực P_1 và P_3 sẽ xảy ra sự mạnh lên của từ trường, còn tại các cực P_2 và P_4 sẽ xảy ra sự yếu đi của từ trường.

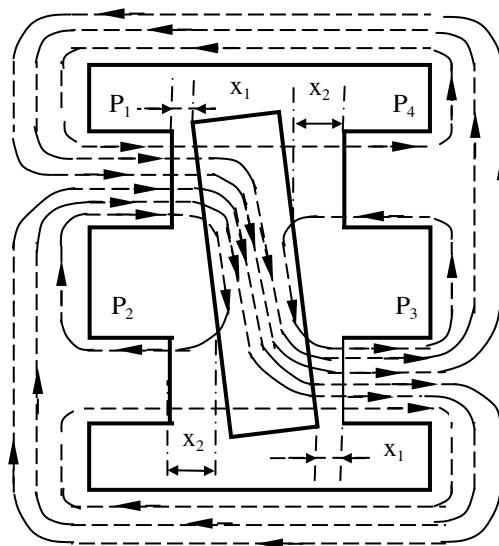
Lõi từ sẽ có xu hướng xoay về vị trí sao cho ma sát từ của các từ thông kích thích Φ_1 và từ thông điều khiển Φ_2 sẽ có giá trị nhỏ nhất bằng cách xoay lõi từ ngược chiều kim đồng hồ.

Khi đó tại các cực P_1 và P_3 thì khe hở không khí sẽ giảm đến giá trị x_1 , còn tại các cực P_2 và P_4 thì khe hở không khí sẽ tăng đến giá trị x_2 . Cũng sẽ xảy ra sự phân bố lại đường súc của từ thông.

Đường súc của từ thông kích thích Φ_1 đi ra từ cực P_1 , sau khi đi qua khe hở không khí x_1 , sẽ đi đến không chỉ cực P_4 mà đi cả đến cực P_3 .

Đường súc của từ thông điều khiển Φ_2 đi ra từ cực P_1 , sau khi đi qua khe hở không khí x_1 , sẽ đi đến không chỉ cực P_2 mà đi cả đến cực P_3 .

Lõi từ sẽ tạo nên tải lõi vào của cơ cấu khuếch đại thuỷ lực. Khi xoay lõi tõ gác β thì tấm chắn được gắn chặt với trực của lõi từ sẽ đóng một trong các vòi phun và mở vòi phun còn lại của cấp thứ nhất trong khuếch đại thuỷ lực.



Hình II.2.2. Sự phân bố từ trường của nam châm điện điều khiển khi $\beta = 0$.

Khi đó do thiết diện xả của vòi phun bị đóng sẽ bị giảm nên sẽ làm tăng áp suất chất lỏng tại đường xả, tương ứng sẽ làm tăng mômen cản sự quay của lõi từ.

Từ thông tại khe hở không khí x_1 là Φ_{x1} , còn từ thông tại khe hở không khí x_2 là Φ_{x2} . Giả thiết rằng từ thông tập trung tại các khe hở không khí nên sẽ bỏ qua từ thông phân tán và lực cản từ của lõi thép.

II.2.3.2. Xác định hàm truyền của nam châm điện điều khiển

Lực từ của các cuộn dây tại các cực tác dụng lên lõi từ được xác định

$$F_t = \frac{1}{8\pi g} \left(\frac{\Phi_x}{10^3} \right)^2 \frac{1}{S_x}$$

trong đó:

S_x - diện tích khe hở không khí

$$S_x = a b$$

a - độ rộng của các cực,

b - độ dày của các cực và lõi từ,

Φ_x - từ thông trong khe hở không khí.

Lực từ do các cuộn dây gây nên tại các cực P_1 và P_3 sẽ hướng ngược chiều kim đồng hồ được xác định

$$F_{t13} = \frac{1}{8\pi g} \left(\frac{\Phi_{x1}}{10^3} \right)^2 \frac{1}{S_{x1}}$$

Lực từ do các cuộn dây gây nên tại các cực P_1 và P_3 sẽ hướng theo chiều kim đồng hồ được xác định

$$F_{t24} = \frac{1}{8\pi g} \left(\frac{\Phi_{x2}}{10^3} \right)^2 \frac{1}{S_{x2}}$$

trong đó:

S_{x1}, S_{x2} - diện tích khe hở không khí

$$S_{x1} = S_{x2} = a b$$

Mômen xoắn tổng hợp do tác dụng của các lực điện từ trong các cuộn dây gây nên sẽ được xác định

$$M_t = \frac{2R_t 10^{-6}}{8\pi g a b} (\Phi_{x1}^2 - \Phi_{x2}^2)^2$$

Nếu không có sự bão hòa trong lõi thép thì sẽ áp dụng nguyên lý cộng chòng đối với từ thông (hình II.2.2):

Từ trường tại mỗi khe hở không khí sẽ có 2 thành phần là từ thông điều khiển

được gây nên bởi cường độ dòng điện I trong cuộn dây điều khiển và sự phân bố lại từ thông kích thích khi xoay lõi từ góc β .

Tương ứng với các từ thông thành phần thì lực và mômen từ cũng sẽ có 2 thành phần được biểu diễn theo công thức

$$M_{lt} = K_{1M} I - K_{2M} \beta \quad (\text{II.2.58})$$

trong đó:

K_{1M} , K_{2M} - hệ số mômen đối với cấu trúc của nam châm điện điều khiển

$$K_{1M} = \frac{4B_1 a b n_{dk}}{x_0},$$

$$K_{2M} = \frac{4B_1^2 a b R_{lt}}{x_0}$$

B_1 - hệ số cảm ứng do từ thông kích thích gây nên tại khe hở,

n_{dk} - số vòng dây của cuộn dây điều khiển.

Trong quá trình chuyển tiếp sẽ có tác dụng bổ xung của mômen quán tính và mômen ma sát nhót, cũng như mômen cản của chất lỏng từ voi phun lên lõi từ.

Mômen cản của chất lỏng sẽ được coi như tuyến tính đối với góc xoay của tám chắn $K_{tc} \beta$.

Mômen này sẽ được tổng hợp bởi mômen xoắn phản lực của lõi từ trong nam châm điện điều khiển.

Phương trình cân bằng mômen tác dụng lên lõi từ được xác định

$$K_{1M} I = J_{lt} \frac{d^2\beta}{dt^2} + S_{lt} \frac{d\beta}{dt} + K_{lt} \beta \quad (\text{II.2.59})$$

trong đó:

K_{lt} - hệ số mômen của lõi từ

$$K_{lt} = K_{tc} + K_{2M},$$

Phương trình cân bằng hiệu điện thế trong cuộn dây điều khiển được xác định

$$U_{dk} = R_{dk} I + L_{dk} \frac{dI}{dt} + C_{lt} \frac{d\beta}{dt} \quad (\text{II.2.60})$$

trong đó:

U_{dk} - điện áp điều khiển được cấp đến cuộn dây điều khiển,

R_{dk} - điện trở thuận trong cuộn dây điều khiển,

L_{dk} - điện trở cảm ứng trong cuộn dây điều khiển,

C_{lt} - hệ số tỉ lệ suất điện động được sinh ra trong cuộn dây điều khiển khi xoay lõi từ với vận tốc $\frac{d\beta}{dt}$.

Tại điều kiện “0” ban đầu thì phương trình của cơ cấu biến đổi điện - cơ sẽ là

$$\begin{aligned} K_{IM} I &= J_{lt} s^2 \beta + S_{lt} s \beta + K_{lt} \beta , \\ U_{dk} &= R_{dk} I + L_{dk} s I + C_{lt} s I \end{aligned} \quad (II.2.61)$$

trong đó:

S_{lt} - diện tích của lõi từ.

Loại bỏ cường độ dòng điện I , sẽ nhận được phương trình hàm truyền

$$W_{ncd}(s) = \frac{\beta(s)}{U_{dk}(s)} = \frac{K_{ncd}}{A_{ncd1}s^3 + A_{ncd2}s^2 + A_{ncd3}s + 1} \quad (II.2.62)$$

trong đó:

K_{ncd} - hệ số khuếch đại của nam châm điện điều khiển

$$K_{ncd} = \frac{K_{IM}}{K_{lt} R_{dk}}$$

$A_{ncd1}, A_{ncd2}, A_{ncd3}$ - các hệ số của đa thức đặc tính trong biểu thức (II.2.80)

$$A_{ncd1} = \frac{J_{lt} L_{dk}}{K_{lt} R_{dk}},$$

$$A_{ncd2} = \frac{J_{lt} R_{dk} + S_{lt} L_{dk}}{K_{lt} R_{dk}},$$

$$A_{ncd3} = \frac{S_{lt} R_{dk} + K_{lt} L_{dk} + K_{IM} C_{lt}}{K_{lt} R_{dk}}$$

Trong trường hợp tổng quát thì mẫu thức của biểu thức (II.2.62) không thể biểu diễn dưới dạng tích của các nhân tử và việc phân tích phương trình đặc tính chỉ có thể được thực hiện đối với các giá trị hệ số cụ thể.

Việc phân tích có thể được đơn giản hóa nếu bỏ qua giá trị suất điện động được sinh ra trong cuộn dây điều khiển khi vận tốc xoay của lõi từ nhỏ hơn rất nhiều ($C_{lt} \rightarrow 0$) so với các điện áp khác trong phương trình thứ hai của biểu thức (II.2.61).

Khi đó sẽ có

$$W_{ncd}(s) = \frac{\beta(s)}{U_{dk}(s)} = \frac{K_{ncd}}{(T_{dk}s + 1)(T_{lt}s^2 + 2\xi_{lt}T_{lt}s + 1)} \quad (II.2.63)$$

trong đó:

T_{dk} - hằng số thời giạn điện từ trong cuộn dây điều khiển,

T_{lt} - hằng số thời giạn cơ khí của lõi từ

$$T_{lt} = \sqrt{\frac{J_{lt}}{K_{lt}}} \quad (II.2.64)$$

ξ_{lt} - hệ số giảm chấn của lõi từ

$$\xi_{lt} = \frac{S_{lt}}{2\sqrt{J_{lt} K_{lt}}} \quad (II.2.65)$$

Nếu mômen quán tính của lõi từ không lớn so với hệ số ma sát nhót thì hệ số giảm chấn của lõi từ ξ_{lt} có thể lớn hơn 1.

Do đó ba thành phần của đa thức bậc 2 tại mẫu thức sẽ được chuyển thành nhị thức $(1 + Ts)$.

II.2.4. Sơ đồ cấu trúc của truyền động thuỷ lực được điều chỉnh

Mô hình truyền động thuỷ lực tuyến tính có cấu tạo từ 3 khâu là:

- Cơ cấu biến đổi điện - cơ (Nam châm điện điều khiển).
- Cơ cấu khuếch đại thuỷ lực.
- Cơ cấu bơm - động cơ thuỷ lực có tải.

Tín hiệu lõi ra của mỗi khâu là tín hiệu lõi vào của khâu tiếp theo tương ứng với liên kết nối tiếp của các khâu.

Mỗi liên hệ giữa các tín hiệu vào và tín hiệu ra đối với mỗi khâu sẽ được biểu diễn bởi các phương trình hàm truyền đã được nêu trong các mục II.2.1, II.2.2 và II.2.3

- Khi khuếch đại thuỷ lực có mạch phản hồi (sử dụng biểu thức (II.2.52)) thì phương trình hàm truyền của truyền động thuỷ lực có dạng:

$$W(s) = \frac{\alpha(s)}{U_{dk}(s)} = \frac{\beta(s)}{U_{dk}(s)} \frac{\gamma(s)}{\beta(s)} \frac{\alpha(s)}{\gamma(s)}$$

$$= \frac{K_\alpha}{(T_{dk}s + 1)(T_*^2 s^2 + 2\xi_* T_* s + 1)(T_I^2 s^2 + 2\xi_I T_I s + 1)s(T_B^2 s^2 + 2T_B \xi_B s + 1)s} \quad (II.2.66)$$

- Khi sử dụng cơ cấu khuếch đại thuỷ lực tích phân (biểu thức (II.2.54)) thì phương trình hàm tuyến của truyền động thuỷ lực được xác định:

$$W(s) = \frac{\alpha(s)}{U_{dk}(s)}$$

$$= \frac{K}{(T_{dk}s + 1)(T_*^2 s^2 + 2\xi_* T_* s + 1)(T_I s + 1)s(T_B^2 s^2 + 2T_B \xi_B s + 1)s} \quad (II.2.67)$$

trong đó:

K_α - hệ số khuyếch đại của truyền động thuỷ lực theo vận tốc

$$K_\alpha = K_* K_I K_B \quad (II.2.68)$$

K – hệ số khuyếch đại của truyền động thuỷ lực theo gia tốc

$$K = K_* K^* K_B \quad (II.2.69)$$

Mô hình tuyến tính của truyền động thủy lực sẽ được biểu diễn bởi các phương trình còng kènh. Do đó khi xác định tính chất động lực học của hệ thống thì điều quan trọng là đánh giá giá trị của các hằng số thời gian riêng biệt.

BÀI 4
ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ
TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC

II.3.1. Những đặc tính phi tuyến chủ yếu của các thiết bị thuỷ lực.	43
II.3.1.1. Ma sát khô trong các con trượt.	45
II.3.1.2. Đặc tính dòng chảy qua các thiết diện thông dòng.	51
II.3.1.3. Đặc tính phi tuyến giữa diện tích thiết diện thông dòng dạng không tròn với sự dịch chuyển của con trượt.	57
II.3.1.4. Phản lực của lực thuỷ động lực học khi dòng chất lỏng chảy qua thiết diện thông dòng của con trượt.	61

BÀI 4. ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ TRONG HỆ THỐNG THỦY LỰC

Đặc tính động lực học của hệ thống thủy lực phụ thuộc vào đặc tính động lực học của các thiết bị và đường ống của hệ thống và được xác định bởi phương trình hàm truyền $W_1(s)$ và $W_2(s)$. Do đó để tính toán hệ thống thì cần phải biết phương trình hàm truyền hoặc đặc tính tần số của các phần tử thành phần. Để hệ thống thủy lực làm việc có chất lượng thì sự ổn định của các thiết bị thủy lực sẽ là điều kiện cần thiết. Các thiết bị này tạo thành hệ thống kín với các liên kết rất phức tạp. Khảo sát các đặc tính động lực học của các thiết bị được áp dụng trong hệ thống thủy lực với số lượng lớn các kích thước chuẩn là không thể. Tuy nhiên sử dụng các biểu thức toán học và sơ đồ cấu trúc, có thể thiết lập phương trình hàm truyền của số lượng lớn các thiết bị thủy lực có kích thước chuẩn khác nhau. Các đặc tính tần số của các thiết bị thủy lực sẽ phụ thuộc vào biên độ của tác động lối vào. Mỗi liên hệ này sẽ chỉ ra sự tồn tại sự không tuyến tính trong các thiết bị.

II.3.1. Những đặc tính phi tuyến chủ yếu của các thiết bị thủy lực

Đặc tính phi tuyến có thể được chia thành:

- Các đặc tính phi tuyến chủ yếu.
- Các đặc tính phi tuyến không chủ yếu.

Các đặc tính phi tuyến chủ yếu là các đặc tính không thể tuyến tính hóa bằng cách phân tích hàm một cách bình thường theo chuỗi Taylo. Mỗi liên hệ không tuyến tính này sẽ được thay thế bởi tiếp tuyến tại điểm mà trong miền lân cận của nó sẽ khảo sát quá trình điều chỉnh. Đặc tính phi tuyến chủ yếu được đặc trưng bởi mối liên hệ giữa lực ma sát và vận tốc dịch chuyển của con trượt trong các thiết bị điều chỉnh.

Các đặc tính phi tuyến không chủ yếu là các đặc tính không có sự ngắt quãng tại các miền liên tục và có thể tuyến tính hóa bằng cách phân tích theo chuỗi Taylo. Các đặc tính phi tuyến không chủ yếu bao gồm:

- Sự không tuyến tính của phương trình dòng chảy qua thiết diện hẹp của tiết lưu và con trượt.
- Sự không tuyến tính trong mối liên hệ giữa phản lực của lực thủy động lực học trong dòng chảy của chất lỏng với áp suất.

Sự cần thiết phải tính đến sự không tuyến tính trong khi khảo sát và tính toán các thiết bị thủy lực bởi vì trong một số thiết bị thủy lực đã phát hiện được hiện tượng tự dao động trong các điều kiện nhất định. Các hiện tượng này không thể giải thích

được bằng các khái niệm tuyển tính về quá trình chảy.

Trong thực tế thì hiện tượng tự dao động trong các thiết bị thủy lực là không được phép vì nó sẽ gây nên tiếng ồn trong hệ thống thủy lực và gây nên sự rung đồi với đường ống dẫn. Do đó không chỉ khảo sát các tham số của hiện tượng tự dao động mà cả các điều kiện có thể xuất hiện tự dao động.

Việc xác định chính xác hiện tượng tự dao động và khảo sát các điều kiện xuất hiện nó là một nhiệm vụ rất khó khăn. Tuy nhiên trong tính toán thực tế hệ thống thủy lực thì các phương pháp gần đúng khảo sát hệ thống phi tuyển sẽ đưa ra các khái niệm tương đối chính xác về sự xảy ra các quá trình và về các điều kiện ổn định. Cơ sở của các phương pháp này sẽ chấp nhận giả thiết rằng:

- Tính chất lọc của hệ thống được đặc trưng bởi quán tính.
- Khi khảo sát các chế độ tuần hoàn chỉ cần chú ý đến hàm điều hòa dao động chủ yếu.

Tương tự phương trình hàm truyền biểu diễn phản lực dạng hình sin tác dụng lên lối vào của hệ thống tuyển tính thì khi tuyển tính hóa điều hòa sẽ đưa ra khái niệm hệ số khuếch đại phức tương đương.

Khi cấp tín hiệu dạng $\sin x = a \sin \omega t$ đến lối vào của phần tử phi tuyển $y = f(x)$ thì hàm điều hòa thứ nhất của tín hiệu lối ra tuần hoàn của phần tử phi tuyển sẽ được xác định bởi biểu thức không có thành phần là hằng số

$$y = B_1 \sin \omega t + C_1 \cos \omega t \quad (\text{II.3.1})$$

trong đó:

B_1, C_1 - các hệ số Phuriê, được xác định:

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(a \sin \psi) \sin \psi d\psi , \\ C_1 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(a \sin \psi) \cos \psi d\psi , \\ \psi &= \omega t \end{aligned} \quad (\text{II.3.2})$$

Trong các phương pháp tuyển tính hóa điều hòa và cân bằng điều hòa thì thay vì sử dụng các hệ số Phuriê sẽ đưa ra tỷ số giữa các hệ số Phuriê với biên độ a của tác động lối vào

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{B_1}{a} = \frac{1}{\pi a} \int_0^{2\pi} f(a \sin \psi) \sin \psi d\psi , \\ c_1 &= \frac{C_1}{a} = \frac{1}{\pi a} \int_0^{2\pi} f(a \sin \psi) \cos \psi d\psi \end{aligned} \quad (\text{II.3.3})$$

Khi đó biểu thức (II.3.1) sẽ có dạng:

$$y = a(b_1 \sin \omega t + c_1 \cos \omega t) = a(b_1 + j c_1) e^{j \omega t} = a W_{tdl} e^{j \omega t} \quad (\text{II.3.4})$$

trong đó:

W_{tdl} - hệ số khuếch đại phức tương đương

$$W_{tdl} = b_1 + j c_1 \quad (\text{II.3.5})$$

Hàm gần đúng (II.3.4) và đặc tính tần số của nó sẽ xác định biên độ và pha của hàm điều hòa thứ nhất tại lối ra của khâu phi tuyến nếu tại lối vào sẽ cấp tác dụng dạng hình sin.

$$W_{tdl} = A_1 e^{j \varphi_1} \quad (\text{II.3.6})$$

trong đó:

A_1 - đặc tính biên độ của khâu tuyến tính

$$A_1 = \sqrt{b_1^2 + c_1^2} \quad (\text{II.3.7})$$

φ_1 - đặc tính pha của khâu không tuyến tính

$$\varphi_1 = \operatorname{arcctg} \frac{c_1}{b_1} \quad (\text{II.3.8})$$

Các đặc tính biên độ (II.3.7) và đặc tính pha (II.3.8) là các hàm số của biên độ tác động.

Hàm điều hòa thứ nhất của dao động cường bức tại lối ra của khâu phi tuyến khi có tác động dạng hình sin tại lối vào sẽ được xác định.

$$y = a A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (\text{II.3.9})$$

trong đó:

φ_1 - độ trượt pha.

Khi có tác động điều hòa thì hàm điều hòa thứ nhất của tọa độ dao động lối ra của các phần tử phi tuyến không quán tính với các đặc tính đồng nhất sẽ trùng pha với tác động lối vào.

Khi đó đối với các phần tử này thì $c_1 = 0$ và $W_{tdl} = b_1$. Đối với các phần tử có đặc tính không đồng nhất $c_1 \neq 0$ thì hệ số khuếch đại phức tương đương sẽ có dạng (II.3.5).

Đặc tính phi tuyến chủ yếu thông thường được tính khi khảo sát các thiết bị thủy lực là ma sát khô trong các con trượt của các loại van và của các phần tử khác.

II.3.1.1. Ma sát khô trong các con trượt

Điểm đặc biệt của ma sát khô là khi vận tốc của con trượt bằng không thì lực ma sát có thể nhận giá trị bất kỳ trong khoảng:

$$- F_{msT} \leq F_{ms} \leq F_{msT} \quad (\text{II.3.10})$$

trong đó:

F_{ms} - lực ma sát.

F_{mST} - lực ma sát tĩnh.

Lực ma sát tại thời điểm bất kỳ sẽ bằng tổng tất cả lực khác tác động lên con trượt, kể cả lực quán tính.

Do đó nếu vận tốc của con trượt bằng không ($v = 0$) thì môđun tổng của tất cả các lực sẽ nhỏ hơn F_{mST} .

Con trượt sẽ đứng yên cho đến khi sự thay đổi của lực tiến đến giá trị $F_{ms} = F_{mST}$ thì con trượt sẽ bắt đầu chuyển động.

Phương trình chuyển động của con trượt có dạng:

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} + D \frac{dh}{dt} + F_{mST} \operatorname{sign} \frac{dh}{dt} + C h = S p_1 \quad (\text{II.3.11})$$

trong đó:

m - khối lượng quy dẫn của con trượt,

D - hệ số giảm chấn nhót,

F_{mST} - lực ma sát tĩnh,

C - độ cứng của lò xo,

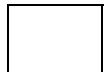
S - diện tích thiết diện ngang của con trượt,

p_1 - áp suất tác dụng lên mặt mút của con trượt,

h - độ dịch chuyển của con trượt.

Biểu thức (II.3.11) luôn đúng khi thỏa mãn điều kiện:

$$\left| S p_1 - C h - m \frac{d^2 h}{dt^2} - D \frac{dh}{dt} \right| \geq F_{mST} \text{ khi } \frac{dh}{dt} \neq 0 \quad (\text{II.3.12})$$

Nếu  thì

$$\left| S p_1 - C h - m \frac{d^2 h}{dt^2} - D \frac{dh}{dt} \right| < F_{mST} \quad (\text{II.3.13})$$

Như vậy biểu thức (II.3.11) chỉ đúng khi , còn khi  thì con trượt bắt đầu bị dừng. Sự dừng sẽ tiếp tục cho đến khi đại lượng $S p_1$ sẽ không biến đổi trong giới hạn

$$(C h * - F_{mST}) < S p_1 < (C h * + F_{mST}) \text{ khi } \frac{dh}{dt} = 0 \quad (\text{II.3.14})$$

$h *$ - giá trị của độ dịch chuyển tại thời điểm chặn đứng con trượt.

Đặc tính phi tuyến của ma sát khô đối với trường hợp không tồn tại được biểu diễn trên hình II.3.1. Đặc tính này là mối liên hệ giữa lực ma sát với vận tốc của con trượt. Hệ số khuếch đại phức tương đương được xác định.

$$W_{tdl} = \frac{4F_{msT}}{\pi a_v} \quad (\text{II.3.15})$$

trong đó:

a_v - biên độ thay đổi vận tốc của con trượt.

$$a_v = a_h \omega \quad (\text{II.3.16})$$

a_h - biên độ dịch chuyển của con trượt,

ω - tần số dao động.

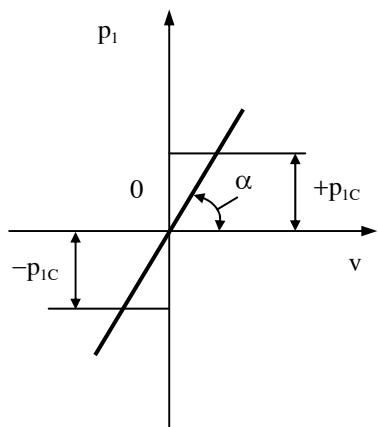
Kết hợp (II.3.15) và (II.3.16), sẽ nhận được:

$$W_{tdl} = \frac{4F_{msT}}{\pi a_h \omega} = \operatorname{tg} \alpha \quad (\text{II.3.17})$$

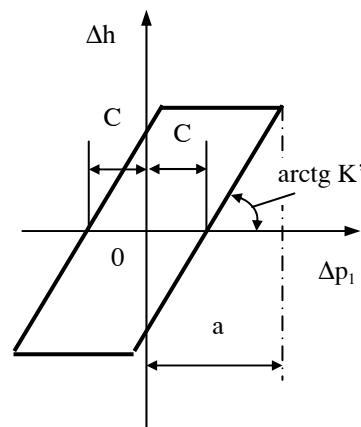
α - góc nghiêng của cát tuyến (hình II.3.1a).

Như vậy khi tăng tần số dao động của con trượt thì hệ số khuếch đại phức tương ứng W_{tdl} sẽ giảm đi. Như vậy sẽ giảm ảnh hưởng của lực ma sát khô.

Trong phần lớn các trường hợp khi dao động tại tần số thấp và tần số trung bình thì con trượt có sự dừng. Khi đó đặc tính phi tuyến của ma sát không đơn trị. Sự dừng xuất hiện khi có điều kiện (II.3.14). Nếu chỉ tính đến ma sát khô và lực phục hồi tuyến



a/



b/

Hình II.3.1. Đặc tính phi tuyến của ma sát khô.

- a. Không có sự dừng.
- b. Có sự dừng.

tính, còn bỏ qua khối lượng con trượt thì đặc tính ma sát khô của khâu phi tuyến trùng với đặc tính dạng khe hở (hình II.3.1b).

Trục tung sẽ là số gia độ dịch chuyển Δh của con trượt, còn trục hoành sẽ là số gia áp suất Δp_1 , tác dụng lên mặt mút của con trượt. Sự dịch chuyển của con trượt sẽ được bắt đầu từ khi áp suất tác dụng lên mặt mút của nó đạt giá trị sao cho hiệu của các lực tác dụng lên con trượt sẽ lớn hơn lực ma sát F_{msT} .

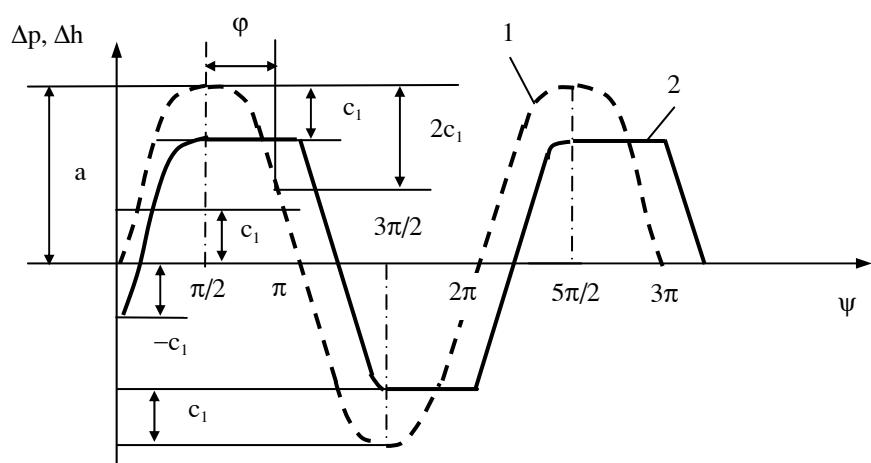
- Nếu giả thiết góc tọa độ (hình II.3.1b) tương ứng với vị trí cân bằng của con trượt thì cho đến khi áp suất tác dụng lên mặt mút của con trượt sẽ không tăng lên đến giá trị p_{ic} thì con trượt sẽ không dịch chuyển.

- Khi $\Delta p_1 < p_{ic}$ thì con trượt sẽ dịch chuyển theo quy luật tuyến tính phụ thuộc vào sự thay đổi áp suất $\left(K' = \frac{\Delta h}{\Delta p_1} \right)$ tương ứng với độ cứng của lò xo và tương ứng với diện tích thiết diện con trượt.

- Khi đạt giá trị $\Delta p_1 = a$ thì áp suất Δp_1 sẽ bắt đầu giảm xuống nhưng sự dịch chuyển của con trượt theo hướng ngược lại sẽ không xảy ra cho đến khi áp suất chưa giảm đến giá trị $\Delta p_1 = 2p_{ic}$.

- Chỉ sau khi đó thì con trượt sẽ dịch chuyển ngược lại theo đặc tính tuyến tính, song song với đường thứ nhất.

Như vậy sẽ có đặc tính trễ đơn trị với độ rộng của vòng trễ bằng $2p_{ic}$, với:



Hình II.3.2. Dao động của con trượt khi có sự thay đổi áp suất theo dạng hình sin.

1 - Sự thay đổi áp suất theo dạng hình sin.

2 - Biên dạng thay đổi vị trí của con trượt khi tồn tại miền bị dừng.

$$p_{ic} = \frac{F_{msT}}{S} \quad (II.3.18)$$

Biến dạng dao động của con trượt khi có sự thay đổi dạng hình sin của áp suất tác dụng lên mặt mút của nó được biểu diễn trên hình II.3.2.

Theo trực tung sẽ đặt biên độ sự thay đổi áp suất Δp_1 và biên độ di chuyển Δh của con trượt, còn theo trực hoành là $\psi = \omega t$. Nhận thấy rằng khi không tồn tại sự dừng của con trượt thì biên độ dao động Δh và Δp_1 như nhau và bằng a . Sự dịch chuyển của con trượt sẽ được bắt đầu khi sự thay đổi của áp suất đạt đến giá trị $\Delta p_1 = p_{ic}$.

Khi $\Delta p_1 > p_{ic}$ thì chuyển động của con trượt sẽ được thực hiện theo đường cong cách đều đến giá trị $\boxed{\quad}$ khi mà áp suất sẽ bắt đầu giảm đi. Con trượt sẽ không chuyển động khi áp suất chưa đạt đến giá trị p_{ic} ($\Delta p_1 < p_{ic}$). Khoảng của sự dừng này sẽ tương ứng với góc pha φ (hình II.3.2).

Khi $|\Delta p_1| > p_{ic}$ thì chuyển động của con trượt sẽ được thực hiện ngược hướng theo đường cong cách đều đến sự thay đổi tiếp theo về hướng của Δp_1 khi $\boxed{\quad}$.

Các đường cong trên hình II.3.2 biểu diễn hình ảnh chuyển động của 2 chi tiết được liên hệ với nhau bởi sự tồn tại khe hở.

Đường 1 tương ứng với chuyển động của chi tiết chủ động, còn đường 2 tương ứng với chuyển động của chi tiết bị động. Giá trị của Δp_1 trong trường hợp này bằng một nửa khe hở.

Hệ số khuếch đại phức tương đương của phần tử không có quán tính với ma sát khô khi tồn tại sự dừng (phần tử có khe hở) sẽ được xác định theo biểu thức (II.3.5) với điều kiện $a > p_{ic}$. Khi đó các hệ số b_1, c_1 sẽ được xác định:

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{K'}{\pi} \left\{ \frac{\pi}{2} + \arcsin \left(1 - \frac{2p_{ic}}{a} \right) + 2 \left(1 - \frac{2p_{ic}}{a} \right) \sqrt{\frac{p_{ic}}{a} \left(1 - \frac{p_{ic}}{a} \right)} \right\}, \\ c_1 &= \frac{4K' p_{ic}}{\pi a} \left(1 - \frac{p_{ic}}{a} \right), \\ K' &= \frac{\Delta h}{\Delta p_1} \end{aligned} \quad (II.3.19)$$

Trên thiết bị đo sự dịch chuyển của con trượt thì mối liên hệ giữa độ lệch pha φ và tần số dao động ω đã chỉ ra khi có sự tăng tần số tác dụng thì p_{ic} sẽ giảm.

Do đó độ rộng của vòng trẽ sẽ là hàm của tần số dao động, nhưng điều này sẽ không được tính khi tuyến tính hóa điều hòa.

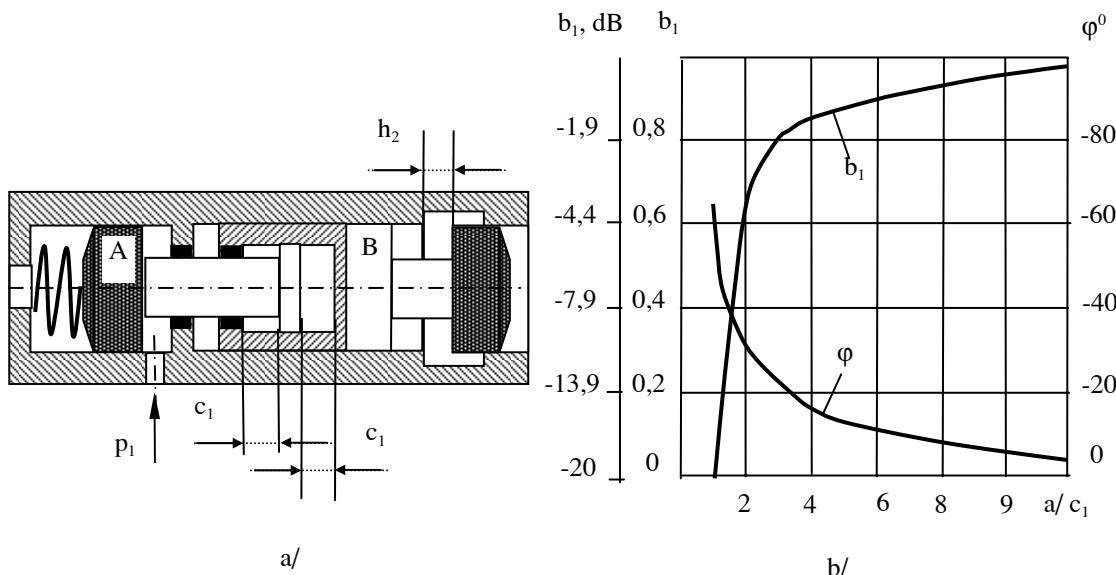
Như vậy đặc tính tần số của con trượt khi có tính đến hệ số khuếch đại phức tương đương sẽ có một số sai lệch giữa miền có tần số trung bình, tần số cao đối với thực nghiệm. Trong các miền tần số này thì đặc tính tần số của con trượt tiệm cận đến đặc tính tuyến tính.

Đặc tính ma sát khô trên hình II.3.1b chỉ thỏa mãn trong trường hợp lý tưởng hóa khi không tính đến quán tính của con trượt. Tuy nhiên khi xây dựng đặc tính tần số của các thiết bị thủy lực thì cần phải tính đến quán tính của con trượt. Khi đó sẽ sử dụng sự giống nhau của hệ số khuếch đại phức tương đương đối với phần tử có ma sát khô và phần tử có khe hở.

Như vậy hệ số khuếch đại phức tương đương đối với phần tử có ma sát khô sẽ được đặc trưng bởi tỷ số giữa áp suất và độ dịch chuyển. Còn đối với phần tử có khe hở thì do giá trị lối vào và lối ra có đơn vị như nhau nên hệ số khuếch đại phức tương đương sẽ có giá trị không thứ nguyên. Trên hình II.3.3a biểu diễn sơ đồ tính toán tương đương của con trượt có ma sát khô.

Giả thiết con trượt gồm 2 phần:

- Con trượt A có quán tính là con trượt chủ động. Áp lực điều khiển và lực lò xo sẽ tác



Hình II.3.3.

- Sơ đồ tính toán tương đương của con trượt có ma sát khô.
- Liên hệ giữa môđun b_1 và độ trượt pha φ của hệ số khuếch đại phức với tỷ số giữa biên độ tác động lối vào đối với một nửa miền bị dừng $\left(\frac{a}{P_{1C}}\right)$.

dụng lên nó.

- Con trượt B không có quán tính là con trượt bị động và chỉ dùng để làm thay đổi thiết diện thông dòng h_2 .
- Liên kết hai con trượt A và B để có khe hở $2p_{ic}$.

Khi đó phương trình hàm truyền của con trượt A sẽ tuyến tính và sẽ tính đến quán tính và sự giảm chấn

$$W_A(s) = \frac{H_1}{P_1} \quad (II.3.20)$$

trong đó:

H_1 - đại lượng dịch chuyển tương đối của con trượt A được biến đổi theo Laplace.

P_1 - đại lượng thay đổi tương đối của áp suất được biến đổi theo Laplace.

Phương trình hàm truyền của con trượt B sẽ được xác định bởi hệ số khuếch đại phức tương đương W_{tdl} của phần tử có khe hở. Tác động lối vào của phần tử này là sự dịch chuyển tương đối của con trượt A, còn tác động lối ra là sự dịch chuyển tương đối của con trượt B. Do đó:

$$W_{tdl} = \frac{H_2}{H_1} \quad (II.3.21)$$

trong đó:

H_2 - đại lượng dịch chuyển tương đối của con trượt B được biến đổi theo Laplace.

Kết hợp (II.3.20) và (II.3.21) sẽ nhận được phương trình hàm truyền của con trượt có tính đến đặc tính ma sát:

$$W(s) = \frac{H_2}{P_1} = W_A(s)W_{tdl}(s) \quad (II.3.22)$$

trong đó:

W_{tdl} - biểu thức được xác định (II.3.5) và (II.3.3).

Trên hình II.3.3b là đồ thị để xác định módun b_1 và độ trượt pha φ của hệ số khuếch đại phức phụ thuộc vào biến số, được xác định bằng tỷ số $\left(\frac{a}{p_{ic}} \right)$ giữa biên độ tác động vào a và một nửa của miền bị dừng p_{ic} .

Để thuận tiện xây dựng đặc tính tần số thì thang chia của módun b_1 có giá trị là dB.

II.3.1.2. Đặc tính dòng chảy qua các thiết diện thông dòng

Dòng chảy qua các thiết diện thông dòng hép phụ thuộc vào biến dạng hình học

của các thiết diện có thể bị phụ thuộc vào các quy luật:

- Trạng thái chảy tầng.
- Trạng thái chảy rối.
- Trạng thái chảy qua độ (trạng thái chảy tối hạn).

Trong trường hợp tổng quát thì tại thiết diện thông dòng xác định thì phương trình dòng chảy có thể được xác định:

$$p_c = k q^n \quad (\text{II.3.23})$$

trong đó:

p_c - độ giảm áp tại thiết diện thông dòng,

q - lưu lượng chất lỏng,

k - hệ số cố định phụ thuộc vào kích thước hình học của thiết diện thông dòng,

n - chỉ số bậc đặc trưng cho trạng thái dòng chảy ($1 \leq n \leq 2$).

Trên hình II.3.4. biểu diễn mối liên hệ $p_c(q)$ khi $n=2$ tương ứng với quy luật dòng chảy rối. Nếu thay đổi giá trị lưu lượng q_0 xác định theo dạng hình sin thì do sự không tuyến tính của đặc tính $p_c(q)$ thì độ giảm áp p_c sẽ thay đổi không theo quy luật hình sin.

Khi biên độ dao động của lưu lượng nhỏ thì độ lệch của sự thay đổi áp suất so với quy luật hình sin là không đáng kể. Còn khi biên độ dao động lớn thì độ lệch là đáng kể.

Khi sự thay đổi tương đối của lưu lượng q lớn thì dao động của độ giảm áp p_c sẽ không chỉ không theo dạng hình sin mà còn không đổi xứng so với giá trị xác định của độ giảm áp p_{c0} . Khi đó biên độ dao động về phía tăng p_c sẽ lớn hơn đáng kể so với biên độ dao động về phía giảm p_c .

Tại miền lân cận của lưu lượng đối với giá trị lưu lượng xác định q_0 thì việc tuyến tính hóa đặc tính $p_c(q)$ có thể được thực hiện bằng cách phân tích hàm $p_c(q)$ theo chuỗi Taylo đối với giá trị xác định tại điểm (q_0, p_{c0}) và bỏ qua các thành phần của chuỗi lớn hơn bậc 1. Khi đó sẽ nhận được:

$$\Delta p_c = n k q_0^{n-1} \Delta q \quad (\text{II.3.24})$$

Biết rằng:

$$p_{c0} = k q_0^n \quad (\text{II.3.25})$$

Chia biểu thức (II.3.21) cho p_{c0} , sẽ nhận được:

$$\frac{\Delta p_c}{p_{c0}} = n \frac{\Delta q}{q_0} \quad (\text{II.3.26})$$

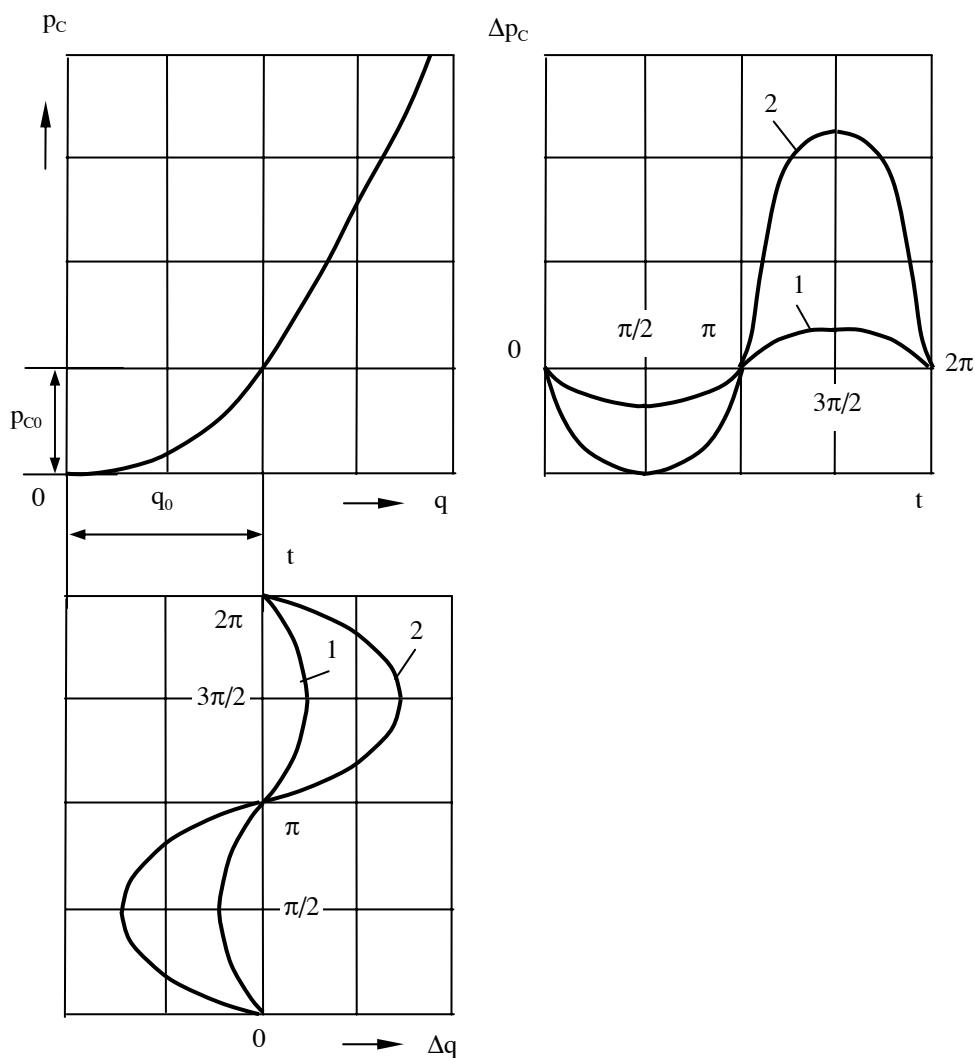
Biến đổi biểu thức (II.3.26) theo Laplace, sẽ có:

$$P_c = nQ \quad (\text{II.3.27})$$

Ý nghĩa hình học của sự tuyến tính hóa này là đường cong $p_c(q)$ sẽ được thay thế bởi tiếp tuyến với đường cong tại điểm (q_0, p_{c0}) .

Sự tuyến tính hóa này chỉ thoả mãn khi có sự sai lệch nhỏ đối với giá trị xác định của áp suất và lưu lượng.

Khi có sự sai lệch lớn thì kết quả có thể nhận được bằng cách tuyến tính hóa điều hoà đẳng thức (II.3.24).



Hình II.3.4. Đặc tính phi tuyến của lưu lượng khi áp suất dao động theo dạng hình sin.

1. Khi dao động nhỏ.
2. Khi biên độ dao động lớn.

Ý nghĩa của sự tuyến tính hoá này là hàm tuần hoàn (hình II.3.4), nhận được khi có sự thay đổi lưu lượng q theo dạng hình sin, sẽ được thay thế bởi hàm điều hoà thứ nhất của việc phân tích hàm tuần hoàn phi tuyến theo chuỗi Phuriê.

Mỗi liên hệ phi tuyến $p_c(q)$ sẽ được thay đổi cát tuyến tương ứng mà phương trình của cát tuyến này sẽ phụ thuộc vào biên độ lối vào dạng hình sin.

Tỷ số giữa biên độ của hàm điều hoà thứ nhất và biên độ lối vào dạng hình sin khi hàm $p_c(q)$ đơn trị sẽ là hệ số khuếch đại phức tương đương của phần tử phi tuyến.

Coi gốc toạ độ là điểm (q_0, p_{c0}) thì biểu thức (II.3.27) có thể viết dưới dạng

$$p_{c0} + \Delta p_c = k(q_0 + \Delta q)^n \quad (\text{II.3.28})$$

Đặt (II.3.25) vào (II.3.28), sẽ nhận được:

$$p_{c0} + \Delta p_c \left(1 + \frac{\Delta q}{q_0} \right)^n \quad (\text{II.3.29})$$

Suy ra:

$$\bar{p}_c = (1 + \bar{q})^n - 1 \quad (\text{II.3.30})$$

trong đó:

$$\begin{aligned} \bar{p}_c &= \frac{\Delta p_c}{p_{c0}} , \\ \bar{q} &= \frac{\Delta q}{q_0} \end{aligned} \quad (\text{II.3.31})$$

Khi cấp tín hiệu vào dạng hình sin $\bar{q} = \bar{a} \sin \psi$ thì biểu thức (II.3.30) sẽ có dạng

$$\bar{p}_c = (1 - \bar{a} \sin \psi)^n - 1 \quad (\text{II.3.32})$$

trong đó:

\bar{a} - biên độ tương đối của sự thay đổi lưu lượng

$$\bar{a} = \frac{a}{q_0} \quad (\text{II.3.33})$$

Hàm điều hoà thứ nhất khi phân tích (II.3.32) theo chuỗi Phuriê được xác định

$$\bar{p}_c = \frac{a_0}{2} + C_1 \cos \psi + B_1 \sin \psi \quad (\text{II.3.34})$$

trong đó:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} [(1 + \bar{a} \sin \psi)^n - 1] d\psi ,$$

$$C_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} [(1 + \bar{a} \sin \psi)^n - 1] \cos \psi d\psi ,$$

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} [(1 + \bar{a} \sin \psi)^n - 1] \sin \psi d\psi \quad (\text{II.3.35})$$

Trong trường hợp chỉ số bậc n đặc trưng cho trạng thái dòng chảy không nguyên ($1 < n < 2$) thì việc xác định hàm điều hoà thứ nhất khi phân tích theo chuỗi Phuriê là rất khó khăn.

Do đó cần phải tìm biểu thức đơn giản cho phép xác định cát tuyến gần đúng với cát tuyến được xác định khi thực hiện tuyến tính hóa điều hoà.

Như vậy sẽ nhận được biểu thức gần đúng của hệ số khuếch đại pharc đối với hàm mũ có số mũ không nguyên.

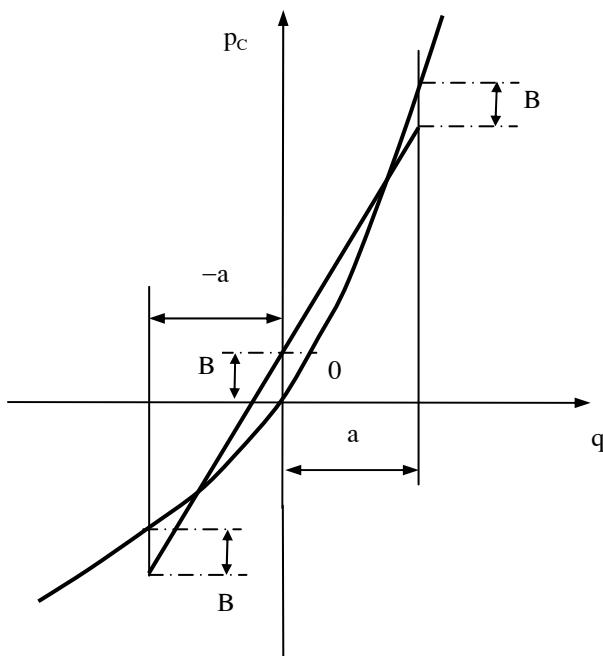
Tiến hành tuyến tính hóa điều hoà hàm (II.3.30) khi $n = 2$. Các hệ số Phuriê trong trường hợp này được xác định:

$$a_0 = \frac{\bar{a}^2}{\pi} \left(\left| \frac{\psi}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\psi \right| \right) \Big|_0^{2\pi} = \bar{a}^2 \quad ,$$

$$C_1 = 0 \quad , \quad (\text{II.3.36})$$

$$B_1 = \frac{2\bar{a}}{\pi} \left(\left| \frac{\psi}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\psi \right| \right) \Big|_0^{2\pi} + \frac{\bar{a}^2}{\pi} \left(\left| \frac{\sin^2 \psi \cos \psi}{3} - \frac{2}{3} \cos \psi \right| \right) \Big|_0^{2\pi} = 2\bar{a}$$

Kết hợp các biểu thức (II.3.34) ÷ (II.3.36), sẽ nhận được:



Hình II.3.5. Tuyến tính hóa đặc tính lưu lượng.

$$\bar{p}_c = \frac{\bar{a}^2}{2} + 2\bar{a} \sin \psi \quad (\text{II.3.37})$$

Số hạng thứ nhất của biểu thức (II.3.37) sẽ xác định sự di chuyển của tín hiệu ra dạng hình sin so với trục đối xứng của tín hiệu vào dạng hình sin.

Số hạng thứ hai của (II.3.37) sẽ biểu diễn sự thay đổi dạng hình sin của toạ độ tín hiệu ra.

Cát tuyến được thay thế khi tuyến tính hóa điều hoà hàm mũ (II.3.30) có dạng

$$\bar{p}_c = k_1 \bar{q} + B \quad (\text{II.3.38})$$

Hệ số khuếch đại phức tương đương của phần tử được biểu diễn bởi hàm (II.3.30) sẽ được xác định bởi tỷ số giữa biên độ hàm điều hoà thứ nhất của dao động tại lối ra với biên độ dao động của toạ độ lối vào

$$W_{td1} = k_1 + \frac{B}{a} \quad (\text{II.3.39})$$

Như vậy độ nghiêng của cát tuyến sẽ không phụ thuộc vào biên độ dao động toạ độ lối vào, còn tung độ điểm cắt giữa cát tuyến và trục \bar{p}_c sẽ phụ thuộc vào biên độ dao động của toạ độ lối vào \bar{a} .

Nhận thấy rằng khi $n = 2$ thì do tuyến tính hóa điều hoà nên phương trình của cát tuyến sẽ có độ nghiêng bằng với độ nghiêng của tiếp tuyến đối với đường cong theo biểu thức (II.3.30).

Tại gốc toạ độ thì kết quả tuyến tính hóa nhận được nhờ số hạng thứ nhất của dãy Taylor.

Trong trường hợp tổng quát ($1 < n < 2$) để xác định giá trị gần đúng k_1 và B tiệm cận với các hệ số nhận được khi tuyến tính hóa điều hoà thì sẽ nhận điều kiện tuyến tính hóa là sự cân bằng của khoảng cách \bar{p}_c khi $\bar{q} = \bar{a}$, $\bar{q} = -\bar{a}$ và $\bar{q} = 0$ (hình II.3.5).

Khoảng cách này bằng hiệu các tung độ của hàm phi tuyến (II.3.30) và cát tuyến (II.3.38) và sẽ bằng B

$$(1 + \bar{a})^n - k_1 \bar{a} - 1 = 2B , \\ (1 - \bar{a})^n + k_1 \bar{a} - 1 = 2B \quad (\text{II.3.40})$$

Suy ra giá trị của k_1 và B được xác định

$$k_1 = \frac{1}{2\bar{a}} [(1 + \bar{a})^n - (1 - \bar{a})^n] , \\ B = \frac{1}{2} \left[\frac{(1 + \bar{a})^n + (1 - \bar{a})^n}{2} - 1 \right] \quad (\text{II.3.41})$$

Biểu thức (II.3.41) cho phép với độ chính xác tương đối khi xác định phương

trình cát tuyến khi tuyến tính hóa hàm mũ không nguyên ($1 < n < 2$), phù hợp với hệ số khuếch đại tương đương theo biểu thức (II.3.29).

Giá trị của hệ số khuếch đại này tiệm cận đến giá trị của hệ số khuếch đại tương đương nhận được khi thực hiện tuyến tính hóa điều hoà.

II.3.1.3. Đặc tính phi tuyến giữa diện tích thiết diện thông dòng dạng không tròn với sự dịch chuyển của con trượt

Ngoài thiết diện thông dòng hình tròn còn có các thiết diện thông dòng có không tròn (hình II.3.6). Khảo sát sự liên hệ giữa diện tích thiết diện thông dòng và độ dịch chuyển của con trượt.

Diện tích của thiết diện thông dòng được xác định:

$$\frac{S}{2} = \frac{2}{3}xy \quad (\text{II.3.42})$$

trong đó:

S - diện tích thiết diện thông dòng,

x - độ cao của mặt phẳng vuông góc được hạ từ mép của rãnh đến bờ mặt của chõ phẳng (hình II.3.6b)

$$x = h \cos \alpha \operatorname{tg} \alpha = h \sin \alpha \quad (\text{II.3.43})$$

h - độ dịch chuyển của con trượt,

α - góc nghiêng của bờ mặt chõ bạt phẳng so với trực của con trượt,

y - độ dài của dây cung tại điểm A

$$y = 2\sqrt{r^2 - (r-u)^2} \quad (\text{II.3.44})$$

u - khoảng cách từ mép của rãnh đến điểm A theo phương thẳng đứng

$$u = x \cos \alpha = \frac{h}{2} \sin 2\alpha \quad (\text{II.3.45})$$

r - bán kính của con trượt.

Giả thiết $u \ll r$, sẽ nhận được:

$$y = 2\sqrt{rh \sin 2\alpha} \quad (\text{II.3.46})$$

Đặt các biểu thức (II.3.43) \div (II.3.46) vào (II.3.42) sẽ nhận được biểu thức xác định diện tích thiết diện thông dòng

$$S = \frac{8}{3}h \sin \alpha \sqrt{rh \sin 2\alpha} = k_2 \sqrt{h^3} \quad (\text{II.3.47})$$

trong đó:

$$k_2 = 3,74 \sqrt{r \sin^3 \alpha \cos \alpha} \quad (\text{II.3.48})$$

Như vậy mối liên hệ giữa diện tích thiết diện thông dòng và độ dịch chuyển của

con trượt theo tọa độ tương đối sẽ có dạng:

$$\bar{S} = \sqrt{(1 + \bar{h})^3} - 1 \quad (\text{II.3.49})$$

trong đó:

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{\Delta S}{S_0} , \\ \bar{h} &= \frac{\Delta h}{h_0} \end{aligned} \quad (\text{II.3.50})$$

Biểu thức (II.3.49) là trường hợp riêng của biểu thức (II.3.30) khi $n = \frac{3}{2}$.

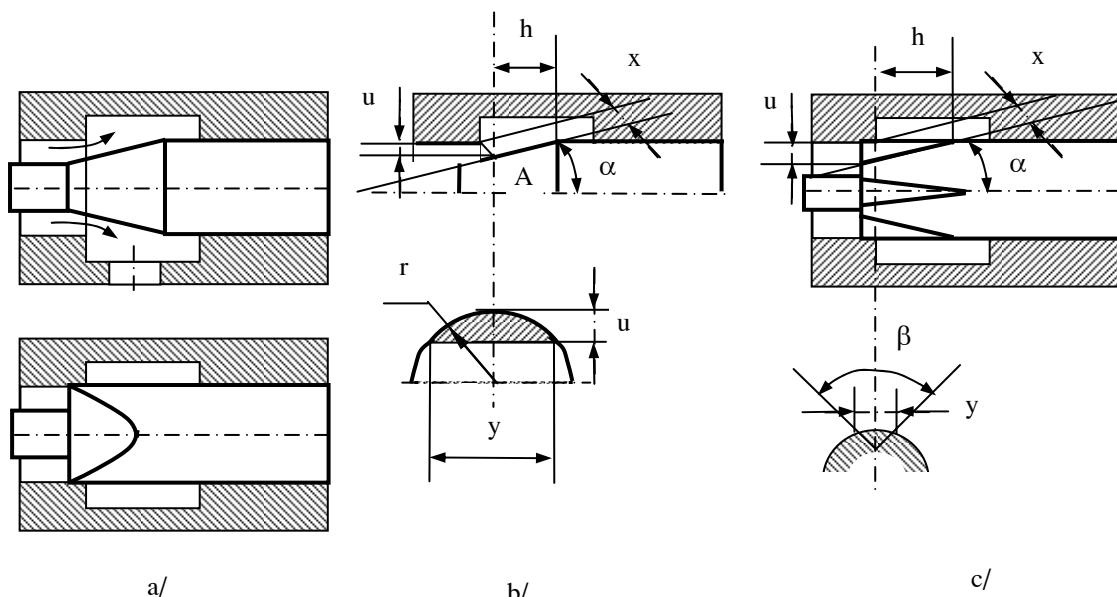
Tuyến tính hoá mối liên hệ này có thể được thực hiện theo biểu thức (II.3.30). Khi đó biên độ tương đối của tác động lối vào sẽ được xác định:

$$\bar{a} = \frac{a}{h_0} \quad (\text{II.3.51})$$

trong đó:

a - biên độ của sự thay đổi Δh .

Khảo sát biểu thức (II.3.41) với $n = \frac{3}{2}$ sẽ nhận thấy góc nghiêng k_1 của cát tuyến phụ thuộc rất ít vào biên độ tương đối \bar{a} của tác động lối vào.



Hình II.3.6. Các dạng khác nhau của thiết diện thông dòng.

- a. Có một hoặc hai chỗ bặt phẳng nghiêng.
- b. Sơ đồ tính toán của thiết diện a.
- c. Thiết diện thông dòng có ba rãnh dạng tam giác.

Góc nghiêng này sẽ thay đổi từ $k_1 = 1,5$ khi biên độ nhỏ đến $k_1 = 1,41$ khi $\bar{a} = 1$. Mối liên hệ giữa độ dịch chuyển B thay đổi tương ứng từ $B = 0,0125$ đến $B = 0,205$.

Do đó hệ số khuếch đại tương đương W_{tdl} của khâu này phụ thuộc vào biên độ tương đối \bar{a} sẽ thay đổi trong khoảng từ $W_{tdl} = 1,5$ đến $W_{tdl} = 1,615$.

Như vậy đối với hàm mũ $n = \frac{3}{2}$ thì mối liên hệ giữa hệ số khuếch đại tương đương và biên độ tác dụng sẽ yếu hơn đáng kể so với hàm mũ khi $n = 2$.

Trong tính toán thực tế có thể sử dụng phương pháp tuyển tính hoá thông thường là phân tích theo dây Taylor.

Trong một số thiết bị thủy lực thì thiết diện thông dòng được tạo nên bởi rãnh tiện hình tròn trên thân bệ, còn các rãnh hình tam giác trên con trượt (hình II.3.6 c).

Các rãnh sẽ được phay tạo thành các tam giác với góc ở đỉnh là β . Gia công các đỉnh dưới góc α so với trục của con trượt. Thông thường số lượng rãnh là chẵn.

Nếu số lượng rãnh là z thì diện tích tổng cộng của thiết diện thông dòng sẽ được xác định:

$$S = z S_1 \quad (\text{II.3.52})$$

trong đó:

S_1 - diện tích thiết diện thống dòng của một rãnh

$$S_1 = \frac{xy}{2} \quad (\text{II.3.53})$$

x - độ cao của mặt phẳng vuông góc hạ từ mép của rãnh tiện dạng vòng tròn đến đỉnh của rãnh

$$x = h \operatorname{tg}\alpha \cos\alpha \quad (\text{II.3.54})$$

y - đáy tam giác cân của thiết diện ngang đối với khe

$$y = 2u \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 2h \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \quad (\text{II.3.55})$$

Kết hợp các biểu thức (II.3.52) - (II.3.55), sẽ nhận được:

$$S_1 = h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \cos\alpha \quad , \quad (\text{II.3.56})$$

$$S = k_2^* h^2$$

trong đó:

$$k_2^* = z \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \sin\alpha \quad (\text{II.3.57})$$

Trong toạ độ tương đối thì biểu thức (II.3.56) sẽ có dạng:

$$\bar{S} = (1 - \bar{h})^2 - 1 \quad (\text{II.3.58})$$

Lưu lượng chất lỏng tại thiết diện thông dòng (hình II.3.6a) sẽ được xác định:

$$q = \frac{1}{k} S \sqrt[n]{(p_1 - p_2)} \quad (\text{II.3.59})$$

trong đó:

p_1 - áp suất ở phía trước thiết diện thông dòng,

p_2 - áp suất ở phía sau thiết diện thông dòng,

q - lưu lượng riêng tại thiết diện thông dòng,

S - diện tích thiết diện thông dòng,

k - hệ số không đổi,

n - chỉ số của hàm mũ, ($1 \leq n \leq 2$).

Trong biểu thức (II.3.59) có 3 đại lượng biến đổi là S , p_1 , p_2 .

Biểu thức (II.3.59) có thể được tuyến tính hóa bằng cách phân tích chuỗi Taylor theo các biến số S , p_1 , p_2 .

Nếu bỏ qua các số hạng có bậc lớn hơn bậc nhất, sẽ nhận được:

$$\begin{aligned} \Delta q &= \left(\frac{\partial q}{\partial S} \right)_0 \Delta S + \left(\frac{\partial q}{\partial p_1} \right)_0 \Delta p_1 + \left(\frac{\partial q}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 \\ &= \frac{1}{k} \sqrt[n]{p_{10} - p_{20}} \Delta S + \frac{1}{k} S_0 \sqrt[n]{(p_{10} - p_{20})^{1-n}} \Delta p_1 - \frac{1}{k} S_0 \sqrt[n]{(p_{10} - p_{20})^{1-n}} \Delta p_2 \end{aligned} \quad (\text{II.3.60})$$

Chia cả hai vế của biểu thức (II.3.60) cho q_0 , sẽ nhận được:

$$\bar{q} = \bar{S} - b \bar{p}_1 - c \bar{p}_2 \quad (\text{II.3.61})$$

trong đó:

$$b = \frac{p_{10}}{n(p_{10} - p_{20})}, \quad (\text{II.3.62})$$

$$c = \frac{p_{20}}{n(p_{10} - p_{20})} = b \frac{p_{20}}{p_{10}}$$

Khi thiết diện thông dòng có dạng hình tròn thì sự thay đổi tương đối của diện tích bằng sự thay đổi tương đối độ dịch chuyển của con trượt

$$\bar{S} = \bar{h} \quad (\text{II.3.63})$$

Khi thiết diện thông dòng có dạng không phải hình tròn thì:

$$\bar{S} = W_{td1} \bar{h} \quad (\text{II.3.64})$$

trong đó:

W_{td} - hệ số khuếch đại tương đương phụ thuộc vào biến dạng của thiết diện thông dòng.

II.3.1.4. Phản lực của lực thuỷ động lực học khi dòng chất lỏng chảy qua thiết diện thông dòng của con trượt

Do có sự phân bố áp suất không như nhau tại các bề mặt mút của các gờ trên con trượt nên sẽ xuất hiện phản lực của lực thuỷ động lực học. Phản lực này được xác định:

$$N_{td} = \rho v q \cos \theta + \rho l \frac{dq}{dt} \quad (\text{II.3.65})$$

N_{td} - phản lực của lực thuỷ động lực học theo phương dọc trực của con trượt,

v - vận tốc trung bình của dòng chảy,

q - lưu lượng riêng của chất lỏng tại thiết diện thông dòng của con trượt,

θ - góc giữa phương của lực thuỷ động lực học và trực của con trượt,

l - khoảng cách giữa tâm các rãnh cấp vào và thoát ra của con trượt,

ρ - khối lượng riêng của chất lỏng.

Số hạng thứ nhất trong vế phải của biểu thức (II.3.65) là phản lực trong chuyển động xác định của chất lỏng.

Số hạng thứ hai bằng lực tương ứng với cột áp quán tính tại dòng chảy không xác định.

Nếu dòng chảy thoát ra từ thiết diện thông dòng của con trượt (dòng chảy được hướng từ con trượt đến chỗ xả) thì $1 > 0$.

Nếu dòng chảy được cấp vào thiết diện thông dòng (dòng chảy được hướng vào con trượt) thì $1 < 0$.

Vận tốc của lòng chảy sẽ được xác định:

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2p_c}{\rho}} \quad (\text{II.3.66})$$

trong đó:

p_c - độ giảm áp tại thiết diện thông dòng,

φ - hệ số vận tốc.

Lưu lượng riêng qua thiết diện thông dòng của con trượt sẽ được xác định:

$$q = S\mu \sqrt{\frac{2p_c}{\rho}} \quad (\text{II.3.67})$$

trong đó:

μ - hệ số lưu lượng.

Kết hợp các biểu thức (II.3.62) - (II.3.64), sẽ nhận được biểu thức xác định phản lực của lực thuỷ động lực học

$$N_{ld} = 2\varphi\mu p_c S \cos\theta + \rho l\mu \frac{d}{dt} \left(S \sqrt{\frac{2p_c}{\rho}} \right) \quad (\text{II.3.68})$$

Nếu độ giảm áp p_c của cơ cấu phân phổi thuỷ lực tuỳ động là không đổi thì phương trình (II.3.65) sẽ tuyến tính.

Tuy nhiên trong trường hợp tổng quát thì $p_c \neq \text{const}$, cho nên biểu thức (II.3.68) là phi tuyến.

Tuyến tính hoá biểu thức (II.3.68) có thể được thực hiện bằng cách phân tích theo chuỗi Taylo theo 2 biến số là diện tích thiết diện thông dòng S và độ giảm áp p_c .

Khi đó biểu thức xác định phản lực của lực thuỷ động lực học sẽ có dạng:

$$N_c = 2\varphi\mu p_{c0} \cos\theta \Delta S + 2\varphi\mu S_0 \cos\theta \Delta p_c + \frac{\rho l q_0}{S_0} \frac{dS}{dt} + \frac{1(\mu S_0)^2}{q_0} \frac{dp_c}{dt} \quad (\text{II.3.69})$$

Biểu thức xác định phản lực của lực thuỷ động lực học trong toạ độ tương đối sẽ có dạng:

$$N_c = \bar{p}_c (1 - T_p s) + \bar{S} (1 + T_s s) \quad (\text{II.3.70})$$

trong đó:

s - toán tử Laplace $\left(s = \frac{d}{dt} \right)$,

T_p , T_s - hằng số thời gian giảm chấn

$$\begin{aligned} T_p &= \frac{1 S_0 \mu}{2 q_0 \varphi \cos\theta}, \\ T_s &= \frac{\rho l q_0}{2 \varphi \mu p_{c0} S_0 \cos\theta} \end{aligned} \quad (\text{II.3.71})$$

Trong phần lớn các trường hợp thì hằng số thời gian giảm chấn T_p , T_s theo biểu thức (II.3.71) rất nhỏ so với hằng số thời gian giảm chấn của con trượt thì các hằng số thời gian T_p , T_s có thể bỏ qua.

Trong các trường hợp này sẽ đưa vào khái niệm độ cứng đối với phản lực của lực thuỷ động lực học được xác định, trong mối liên hệ với độ dịch chuyên của con trượt

$$C_2 = \frac{dN_c}{dh} = \frac{2\varphi\mu W_{ld1} p_{c0} S_0 \cos\theta}{h_0} \quad (\text{II.3.72})$$

Khi thiết diện thông dòng là hình tròn thì độ cứng đối với phản lực của lực thuỷ động lực học sẽ có dạng.

$$C_2 = 2\pi d_3 \varphi \mu p_{c0} \cos \theta \quad (\text{II.3.73})$$

trong đó:

$$\begin{aligned} W_{tdl} &= 1 , \\ \frac{S_0}{h_0} &= \pi d_3 \end{aligned} \quad (\text{II.3.74})$$

d_3 - đường kính con trượt.

Góc θ giữa phương của lực thuỷ động lực học do dòng chảy gây nên và trực của con trượt sẽ phụ thuộc vào biến dạng hình học của thiết diện thông dòng và biến dạng mép của con trượt.

Đối với thiết diện thông dòng dạng hình tròn với mép của con trượt vuông góc thì góc $\theta = 69^\circ$.

Khi làm tù mép hoặc loại bỏ mép vát trên con trượt thì góc θ sẽ giảm đi.

Từ biểu thức (II.3.69) nhận thấy khi làm giảm góc θ thì độ cứng đôi với lực thuỷ động lực học sẽ tăng lên.

Trong thực tế tính toán có thể cho hệ số vận tốc $\varphi = 1$.

BÀI 5
ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ
TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC
(Tiếp theo)

II.3.2. Bom của hệ thống thuỷ lực.	
II.3.2.1. Đặc tính tĩnh.	62
II.3.2.2. Đặc tính động lực học.	64
II.3.3. Van con trượt tác dụng trực tiếp.	
II.3.3.1. Đặc tính tĩnh.	70
II.3.3.2. Xây dựng phương trình hàm truyền.	73

BÀI 5. ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC (tiếp theo)

II.3.2. Bơm của hệ thống thuỷ lực

Trong các hệ thống thuỷ lực của máy công cụ thường sử dụng các loại có cấu trúc khác nhau với lưu lượng cố định và biến đổi. Trong phần lớn các truyền động để cấp chất lỏng đã sử dụng bơm cánh với lưu lượng cố định, còn trong các truyền động của chuyên động chính thì sử dụng bơm piston có lưu lượng biến đổi.

Khi khảo sát động lực học của hệ thống thuỷ lực sẽ phải tính đến sự thay đổi của cột áp do bơm tạo nên khi có sự thay đổi lưu lượng chất lỏng trong hệ thống. Mỗi liên hệ này sẽ được xác định bởi sự rò rỉ của bơm và lượng dầu có trong bơm.

Mặt khác để đạt được mức độ rung nhỏ nhất của hệ thống thì cần thiết phải tính biên độ và tần số xung khi cấp chất lỏng của bơm.

II.3.2.1. Đặc tính tĩnh

Đặc tính tĩnh của bơm sẽ được xác định bởi mối liên hệ giữa lưu lượng so với cột áp của bơm.

Mối liên hệ này được đặc trưng bởi sự rò rỉ trong bơm (hiệu suất thể tích).

Mối liên hệ giữa lưu lượng và cột áp của bơm là phi tuyến và không có thể biểu diễn dưới dạng giải tích.

Tuy nhiên sự không tuyến tính này không chủ yếu và có thể biến đổi gần đúng thành mối liên hệ tuyến tính với độ chính xác tương đối (hình II.3.7).

Hiệu suất của bơm được xác định

$$\eta_o = \frac{q_{B0}}{(q_B)_0} \quad (\text{II.3.75})$$

Biết rằng:

$$(q_B)_0 = q_{B0} + q_{\Sigma 0} \quad (\text{II.3.76})$$

Nên sẽ có biểu thức hệ số xác định rò rỉ của bơm

$$\frac{q_{B0}}{q_{\Sigma 0}} = \frac{\eta_o}{1 - \eta_o} = r_2 \quad (\text{II.3.77})$$

Trong một số các hệ thống thuỷ lực thì bơm hoạt động theo sơ đồ chu trình khép kín.

Khi đó bơm sẽ đẩy chất lỏng vào khoang có áp của xi lanh thuỷ lực hoặc động cơ, còn khoang xả của xi lanh thuỷ lực hoặc động cơ, các khoang xả của xi lanh thuỷ lực hoặc động cơ sẽ được nối với khoang hút của bơm.

Trong trường hợp này thì chất lỏng thiếu hụt sẽ được bù xung nhò bơm phụ, chất lỏng thừa sẽ được tách thành hai thành phần.

- Rò rỉ bên trong.
- Rò rỉ bên ngoài.

Rò rỉ bên trong là rò rỉ chất lỏng giữa các khoang của bơm.

Sẽ có lưu lượng rò rỉ từ khoang có áp sang khoang hút. Rò rỉ bên ngoài là lưu lượng rò rỉ ra ngoài không khí qua khoang thoát của bơm.

Rò rỉ tổng cộng của bơm được xác định:

$$q_{\Sigma} = q_{tr} + q_{ng} \quad (\text{II.3.78})$$

trong đó:

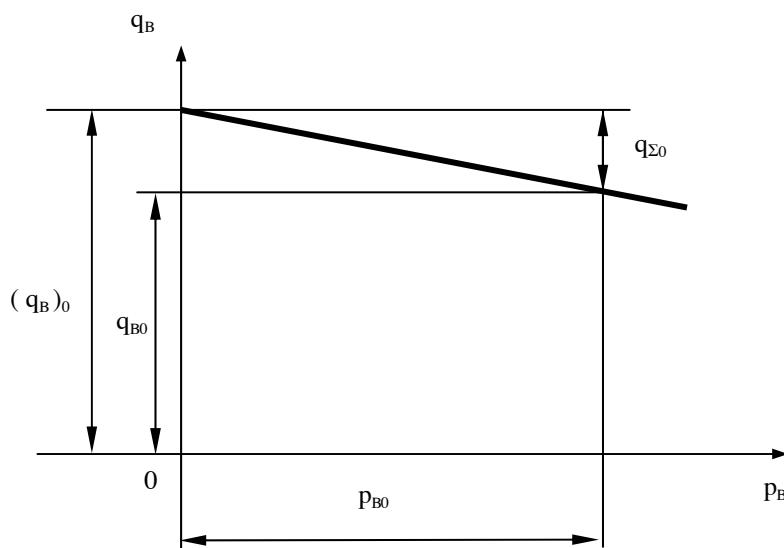
q_{tr} - lưu lượng rò rỉ bên trong,

q_{ng} - lưu lượng rò rỉ bên ngoài.

Tại trạng thái xác định thì rò rỉ tổng cộng từ khoang đầy của bơm được xác định:

$$q_{\Sigma 0} = q_{ng0} + C_B q_{\Sigma 0} \quad (\text{II.3.79})$$

trong đó:



Hình II.3.7. Đặc tính tĩnh của bơm.

$(q_B)_0$ - Lưu lượng của bơm tại áp suất khí quyển;

q_{B0} - Lưu lượng xác định của bơm khi áp suất p_{B0} ;

p_{B0} - Áp suất xác định;

$q_{\Sigma 0}$ - Rò rỉ tổng cộng từ khoang đầy của bơm tại áp suất xác định.

C_B - hệ số đặc trưng cho tỉ số giữa lưu lượng rò rỉ bên trong và lưu lượng rò rỉ tổng cộng tại trạng thái xác định

$$C_B = \frac{q_{tr}}{q_{\Sigma 0}} \quad (II.3.80)$$

Suy ra tỷ số giữa lưu lượng rò rỉ tổng cộng từ khoang đáy của bơm với lưu lượng xác định của bơm khi áp suất p_{B0} sẽ có dạng:

$$\frac{q_{\Sigma 0}}{q_{B0}} = \frac{q_{ng0}}{(1 - C_B)} = \frac{1}{\eta_o} - 1 \quad (II.3.81)$$

Độ cứng đặc tính của bơm được xác định bởi hệ số góc có dạng:

$$K_B = \frac{q_{\Sigma 0}}{p_{B0}} = \frac{q_{B0}}{p_{B0}} \left(\frac{1}{\eta_o} - 1 \right) = \frac{1}{r_2} \frac{q_{B0}}{p_{B0}} \quad (II.3.82)$$

Biểu thức (II.3.82) cho phép xác định đặc tính tĩnh của bơm theo các thông số xác định và hiệu suất thể tích.

Khi tính toán hệ thống với chu trình khép kín thì hệ số C_B có giá trị đáng kể. Hệ số C_B này phụ thuộc vào cơ cấu phân phối của bơm.

II.3.2.2. Đặc tính động lực học

Khi có sự thay đổi tức thời lực lượng của bơm thì sự rò rỉ trong bơm có thể khác so với giá trị xác định được theo đặc tính tĩnh.

Do tồn tại trong bơm thể tích dầu xác định nên khi có sự thay đổi lưu lượng thì áp suất sẽ thay đổi với độ trễ do tính nén được của dầu.

Vì sự rò rỉ tỉ lệ thuận với độ giảm áp suất nên lưu lượng rò rỉ khi có sự thay đổi theo dạng hình sin của dòng dầu được yêu cầu sẽ trượt theo pha so với sự thay đổi của độ giảm áp và sẽ khác theo biên độ trong sự phụ thuộc vào tần số thay đổi của độ giảm áp.

Đặc tính quan tính của dòng rò rỉ sẽ ảnh hưởng đến đặc tính động lực học của bơm.

Sự rò rỉ trong bơm xảy ra tại các rãnh hẹp dài được tạo nên bởi khe hở giữa các chi tiết, do đó dòng rò rỉ có đặc tính quan tính xác định.

Sơ đồ tính toán của bơm có quan tính đến các yếu tố ảnh hưởng để xác định phương trình hàm truyền của bơm theo phương pháp giải tích được biểu diễn trên hình II.3.8a.

Bơm 1 sẽ cấp dầu với số lượng tương ứng với lưu lượng lý thuyết (q_0).

Phương trình liên tục tương ứng với sơ đồ trên hình II.3.8a được xác định

$$(q)_0 - q_{\Sigma} - q_B = \frac{V_B}{E_0} \frac{dp_B}{dt} \quad (\text{II.3.83})$$

trong đó:

V_B - thể tích dầu trong khoang đầy của bơm,

E_0 - môđun đàn hồi của dầu.

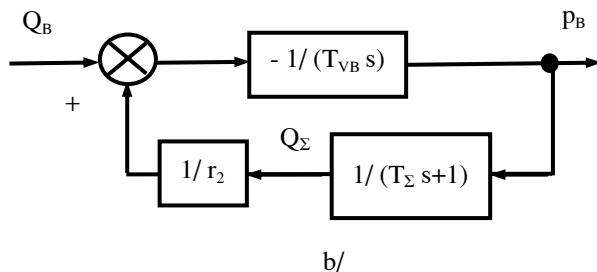
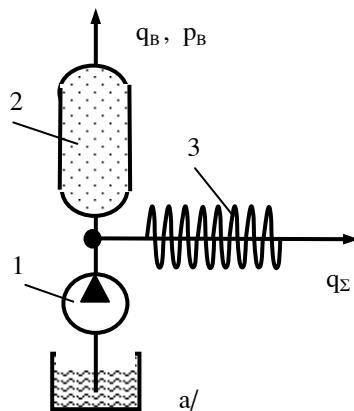
Biết rằng $(q)_0 = \text{const}$ nên phương trình (II.3.83) theo gia số sẽ có dạng:

$$\Delta q_{\Sigma} + \Delta q_B = - \frac{V_B}{E_0} \frac{dp_B}{dt} \quad (\text{II.3.84})$$

Biểu thức (II.3.84) được biểu diễn theo biến đổi Laplace sẽ có dạng:

$$\frac{1}{r_2} Q_{\Sigma} + Q_B = - \frac{V_B p_{B0}}{E_0 q_{B0}} s P_B \quad (\text{II.3.85})$$

trong đó:



Hình II.3.8. Đặc tính động lực học của bơm.

a. Sơ đồ tính toán để xác định đặc tính động lực học của bơm .

1. Bơm lý tưởng;

2. Bình tĩnh năng;

3. Độ cản quán tính.

b. Sơ đồ cấu trúc hệ thống động lực học của bơm.

$$\begin{aligned} Q_{\Sigma} &= L \left[\frac{\Delta q_{\Sigma}(t)}{q_{\Sigma 0}} \right] , \\ Q_B &= L \left[\frac{\Delta q_B(t)}{q_{B0}} \right] , \\ P_B &= L \left[\frac{\Delta p_B(t)}{p_{B0}} \right] \end{aligned} \quad (II.3.86)$$

Áp suất bơm sẽ được xác định:

$$P_B = L_B \frac{dq_{\Sigma}}{dt} + \frac{1}{K_B} q_{\Sigma} \quad (II.3.87)$$

trong đó:

L_B - hệ số cột áp quán tính:

$$L_B = \rho \sum \frac{l_i}{S_i} \quad (II.3.88)$$

ρ - khối lượng riêng của dầu,

l_i - độ dài khe hở mà dầu chảy theo,

S_i - diện tích thiết diện thông dòng của các khe hở này.

Biểu thức (II.3.87) được biểu diễn theo biến đổi Laplace sẽ có dạng:

$$P_B = \frac{L_B q_{\Sigma 0}}{p_{B0}} s Q_{\Sigma} + \frac{q_{\Sigma 0}}{K_B} Q_{\Sigma} = Q_{\Sigma} (K_B L_B s + 1) \quad (II.3.89)$$

Kết hợp các biểu thức (II.3.85) và (II.3.89) sẽ nhận được hệ:

$$\begin{aligned} \frac{1}{r_2} Q_{\Sigma} + Q_B &= -T_{VB} s P_B , \\ P_B &= (T_{\Sigma} s + 1) \end{aligned} \quad (II.3.90)$$

trong đó:

T_{VB} - hằng số thời gian của thể tích công tác trong bơm

$$T_{VB} = \frac{V_B p_{B0}}{E_0 q_{B0}} \quad (II.3.91)$$

T_{Σ} - hằng số thời gian của đặc tính quán tính đối với rò rỉ

$$T_{\Sigma} = K_B L_B \quad (II.3.92)$$

Sơ đồ cấu trúc tương ứng với đặc tính động lực học của bơm theo hệ phương trình (II.3.87) được biểu diễn trên hình II.3.8b.

Tác động lối vào là không thay đổi lưu lượng Q_B của bơm. Biết rằng lưu lượng xác định của bơm là không đổi còn sự thay đổi lưu lượng của bơm là kết quả của sự thay đổi nhu cầu của hệ thống thuỷ lực.

Toạ độ lồi ra là sự thay đổi áp suất P_B . Trên sơ đồ nhận thấy rằng khâu tuần hoàn đặc trưng cho sự thay đổi lưu lượng Q_Σ do rò rỉ nằm trên mạch phản hồi.

Khi có sự thay đổi tần số biến đổi áp suất P_B thì lưu lượng Q_Σ do rò rỉ sẽ được giảm xuống. Khi tần số dao động $\omega >> \frac{1}{T_\Sigma}$ thì mạch phản hồi sẽ ngừng sự ảnh hưởng lên mạch trên hình II.3.8b.

Khi đó lưu lượng Q_Σ do rò rỉ sẽ không ảnh hưởng đến đặc tính động lực học của bơm. Đặc tính động lực học của bơm trong trường hợp này chỉ được xác định bởi hằng số thời gian T_{VB} của thể tích công tác trong bơm. Tỷ số $\frac{1}{r_2}$ là hệ số khuếch đại của mạch phản hồi.

Như vậy tại các tần số cao của tác động lồi vào thì lưu lượng Q_Σ do rò rỉ sẽ không ảnh hưởng đến đặc tính động lực học của hệ thống. Nó sẽ chỉ ảnh hưởng đến thể tích khoang công tác của bơm tương ứng với các thể tích khác của hệ thống như các khoang của xi lanh thuỷ lực.

Tại các tần số thấp của tác động lồi vào thì lưu lượng Q_Σ do rò rỉ có thể ảnh hưởng đến đặc tính động lực học r_2 của bơm tính theo (II.3.86) là rất lớn.

Phương trình hàm truyền của bơm tương ứng với sơ đồ cấu trúc hình II.3.8b được xác định:

$$W_B(s) = \frac{P_B}{Q_B} = -\frac{r_2(T_\Sigma s + 1)}{r_2 T_\Sigma T_{VB} s^2 + r_2 T_{VB} s + 1} \quad (\text{II.3.93})$$

Dấu (-) trong biểu thức phương trình hàm truyền của bơm t (II.3.231) chỉ ra rằng khi tăng lưu lượng Q_B thì áp suất P_B của bơm sẽ giảm và ngược lại.

Dạng các đặc tính tần số $W_B(j\omega)$ của bơm sẽ được xác định bằng tỷ số của các hằng số thời gian.

$$\frac{T_\Sigma}{T_{VB}} = \frac{q_{\Sigma 0} q_{B0} E_0 \rho}{p_{B0}^2 V_B} \sum \frac{l_i}{S_i} \quad (\text{II.3.94})$$

Biết rằng tỉ số của các hằng số thời gian (II.3.94) sẽ phụ thuộc vào lưu lượng xác định mà lưu lượng này xác định trạng thái làm việc của bơm.

Nên để thuận tiện khi phân tích các đặc tính tần số sẽ khảo sát tỉ số (II.3.94) đối với trường hợp hệ số xác định rò rỉ của bơm $r_2 = 1$. Lúc này lưu lượng xác định bằng lưu lượng rò rỉ của bơm

$$\left(\frac{T_\Sigma}{T_{VB}} \right)_{r_2=1} = \frac{E_0}{V_B} \left(\frac{q_{\Sigma 0}}{p_{B0}} \right)^2 \rho \sum \frac{l_i}{S_i} = \lambda \quad (\text{II.3.95})$$

Tỉ số (II.3.95) này chỉ phụ thuộc vào các tham số của bản thân bơm và không phụ thuộc vào trạng thái hoạt động của bơm. Suy ra:

$$\frac{T_{\Sigma}}{T_{VB}} = r_2 \lambda \quad (II.3.96)$$

Hệ số giảm chấn của khâu dao động trong phương trình hàm truyền (II.3.93) của bơm sẽ được xác định.

$$\xi_B = \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} \quad (II.3.97)$$

Hệ số giảm chấn ξ_B chỉ phụ thuộc vào các thông số của bơm mà không phụ thuộc vào trạng thái hoạt động của bơm.

Việc xác định trực tiếp hằng số thời gian T_{Σ} của đặc tính quán tính đối với rò rỉ là rất khó khăn vì việc đo các khe hở trực tiếp giữa các chi tiết của bơm trong quá trình hoạt động là không thể. Việc đo khe hở khi bơm chưa hoạt động là không hợp lý vì khi bơm hoạt động thì các khe hở này sẽ biến đổi do biến dạng của các chi tiết khi có tác động của áp suất và nhiệt độ.

Để đánh giá tỉ số thực tế của các hằng số thời gian trong biểu thức (II.3.94) thì cần phải xác định bằng thực nghiệm các đặc tính tần số của bơm (hình II.3.9a).

Đơn giản nhất trong thực nghiệm xác định các đặc tính tần số của bơm với lưu lượng thay đổi là khi lưu lượng do rò rỉ bằng lưu lượng xác định của bơm. Trong thực nghiệm này thì lưu lượng của bơm sẽ được xác định sao cho khi đóng kín khoang có áp thì áp suất trong đó sẽ đạt đến giá trị xác định. Khi đó thể tích của khoang có áp sẽ biến đổi theo quy luật hình sin với tần số biến thiên và sẽ mô phỏng tác động dạng hình sin theo lưu lượng.

Trong các điều kiện của thực nghiệm này thì phương trình tính hàm truyền của bơm theo lưu lượng rò rỉ sẽ được xác định.

$$W_{B\Sigma}(s) = \frac{P_B}{Q_1} = \frac{T_{\Sigma}s + 1}{T_{\Sigma}T_{VB}s^2 + T_{VB}s + 1} \quad (II.3.98)$$

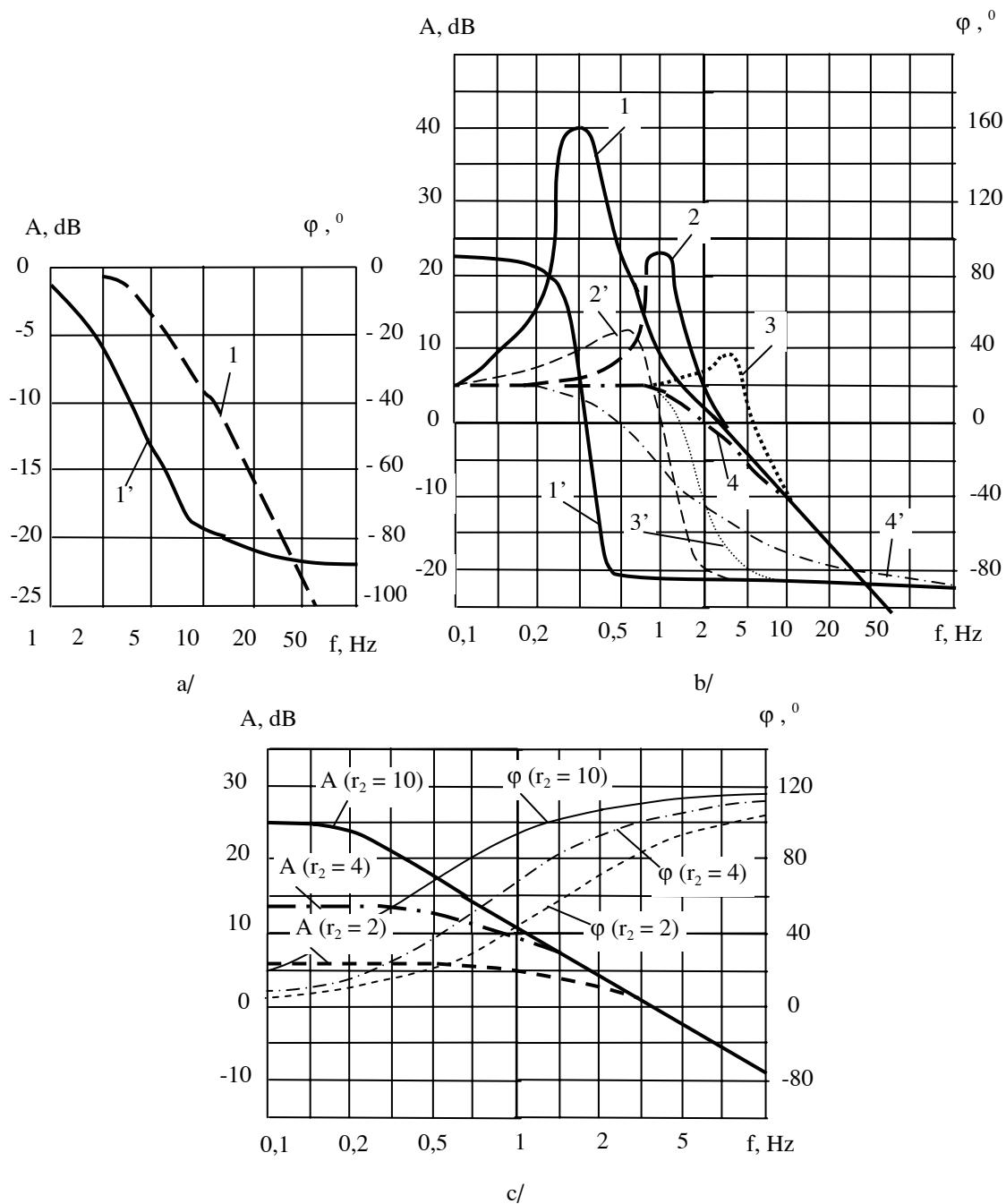
trong đó:

Q_1 - sự thay đổi lưu lượng qua đường ống có áp được biến đổi theo Laplace:

$$Q_1 = -Q_B \quad (II.3.99)$$

Trên hình II.3.9a là đặc tính tần số thực nghiệm $W_{B\Sigma}(j\omega)$ theo lưu lượng rò rỉ của bơm piston hướng kính NPM -713V với các tham số:

- Lưu lượng rò rỉ xác định khi áp suất của bơm đạt $p_B = 50 \frac{N}{cm^2}$ là: $q_{\Sigma 0} = 186 \frac{cm^3}{s}$



Hình II.3.9. Đặc tính tần số $W_{B\Sigma}(j\omega)$ của bơm.

- Bơm NPM – 713 V khi $\lambda = 0,55$.
 - Biên độ; 2 . Pha
- Đặc tính lý thuyết của bơm NPM – 713.
 - 1, 1' - Biên độ và pha khi $\lambda = 100$; 2, 2' - Biên độ và pha khi $\lambda = 10$;
 - 3, 3' - Biên độ và pha khi $\lambda = 1$; 4, 4' - Biên độ và pha khi $\lambda = 0, 1$ và $\lambda = 0,01$.
- Đặc tính tần số $W_B(j\omega)$ của bơm NPM - 713 khi r_2 khác nhau.
A - Biên độ; φ - pha.

- Thể tích dầu trong bơm:

$$V_B = 2500 \text{ cm}^3.$$

Trên hình II.3.9b là đặc tính tần số và đặc tính pha lý thuyết của bơm NPM -713 với các giá trị khác nhau của tỷ số λ khi $\lambda >> 1$ thì đặc trưng quan tính của lưu lượng rò rỉ (T_Σ) sẽ ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính tần số trong khoảng hẹp các tần số tác động nhỏ ($f \leq 4 \text{ Hz}$).

Tại tần số dao động trung bình và cao thì đặc tính biên độ sẽ có độ dốc -20 dB đối với 1 ô đơn vị, còn các đặc tính pha sẽ lệch pha góc -90° phù hợp với khâu tích phân.

Khi $\lambda \ll 1$ thì có biểu thức gần đúng

$$T_\Sigma T_{VB} s^2 + T_{VB} s + 1 \approx (T_\Sigma s + 1)(T_{VB} s + 1) \quad (\text{II.3.100})$$

Do đó đặc tính tần số tương ứng với biểu thức (II.3.236) có thể làm gần đúng với độ chính xác tương đối thành khâu không tuần hoàn $\frac{1}{T_{VB} s + 1}$.

Khi $r_2 > 1$ và $\lambda \ll 1$ thì đặc tính tần số của bơm (hình II.3.9c) có thể làm gần đúng tương đối thành phương trình hàm truyền

$$W_B(s) = -\frac{r_2}{r_2 T_{VB} s + 1} \quad (\text{II.3.101})$$

II.3.3. Van con trượt tác dụng trực tiếp

Van con trượt tác dụng trực tiếp có ứng dụng rộng rãi trong hệ thống thuỷ lực của các máy công cụ như máy mài, máy mài khôn, máy tiện, máy mài bánh răng ...

Với vai trò của van tràn vì có cấu tạo đơn giản, tin cậy trong hoạt động tại áp suất thấp ($p \leq 20 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$). Ngoài ra van con trượt còn được sử dụng như van đổi áp trong hệ thống mà việc điều chỉnh lưu lượng sẽ được thực hiện tại lối vào cũng như để đảm bảo sự tiêu hao liên tục của các cơ cấu chấp hành trong máy công cụ.

II.3.3.1. Đặc tính tĩnh

Sơ đồ cấu trúc của van con trượt tác dụng trực tiếp được biểu diễn trên hình II.3.10. Các dạng của các sơ đồ này khác nhau bởi sự nối các khoang của con trượt điều khiển. Trong khoang b có đặt lò xo 2 và được gọi là khoang lò xo sẽ được nối với đường xả của dòng cao áp (hình II.3.10a) hoặc nối với áp suất khí quyển trong khi khoang lò xo được ngắt khỏi đường xả của dòng chính (hình II.3.10b).

Khoang a của van con trượt điều khiển có thể được nối với đường vào của dòng chính thông qua lỗ giảm chấn 6 (hình II.3.10a, b), hoặc được ngắt khỏi lối vào của dòng

chính. Khi đó việc cấp chất lỏng vào sẽ được thực hiện từ bên ngoài thông qua các lỗ giảm chấn (hình II.3.10c).

Như vậy có thể có 4 khả năng hoạt động của van.

- Hai khả năng khi điều khiển dòng chảy.
- Hai khả năng khi điều khiển từ bên ngoài (hướng dòng chảy theo chiều mũi tên).

Sơ đồ của các van được điều khiển bởi áp suất phía trước van và độ giảm áp được biểu diễn trên hình II.3.10a, b.

Dầu được cấp từ bơm theo đường ống vào hệ thống thuỷ lực thông qua các thiết bị khác đến van. Áp suất p_1 tại lối vào của van sẽ được điều chỉnh bởi lò xo 2. Khi thay đổi lưu lượng q_1 tại lối vào của van thì áp suất p_1 sẽ thay đổi thiết diện thông dòng và hướng đến việc phục hồi lại giá trị đã được đặt của áp suất p_1 .

Như vậy van con trượt tác dụng trực tiếp là cơ cấu điều chỉnh áp suất, tạo thành mạch khép kín, tại lối vào của nó là sự thay đổi lưu lượng q_1 còn tại lối ra là sự thay đổi áp suất p_1 . Mạch phản hồi được thực hiện bởi sự dịch chuyển h của con trượt.

Đặc tính tĩnh của van được biểu diễn bởi các phương trình:

- Phương trình dòng chảy dùng qua lỗ tiết lưu.
- Phương trình lực tác dụng lên con trượt tại trạng thái xác định của van hoạt động theo sơ đồ II.3.10a .

Phương trình dòng chảy dùng qua lỗ tiết lưu có thiết diện tròn được xác định

$$q_{10} = \mu \pi d_{ct} h_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{10} - p_{20})} \quad (\text{II.3.102})$$

trong đó:

μ - hệ số lưu lượng,

ρ - khối lượng riêng của dầu,

d_{ct} - đường kính con trượt từ vị trí “0”,

p_{10}, p_{20} - áp suất xác định tại phía trước và phía sau lỗ tiết lưu.

Phương trình lực tác dụng lên con trượt theo sơ đồ (II.3.10a) được xác định:

$$c_1 (h_0 + x_0) + c_2 h_0 = S(p_{10} - p_{20}) \quad (\text{II.3.103})$$

trong đó:

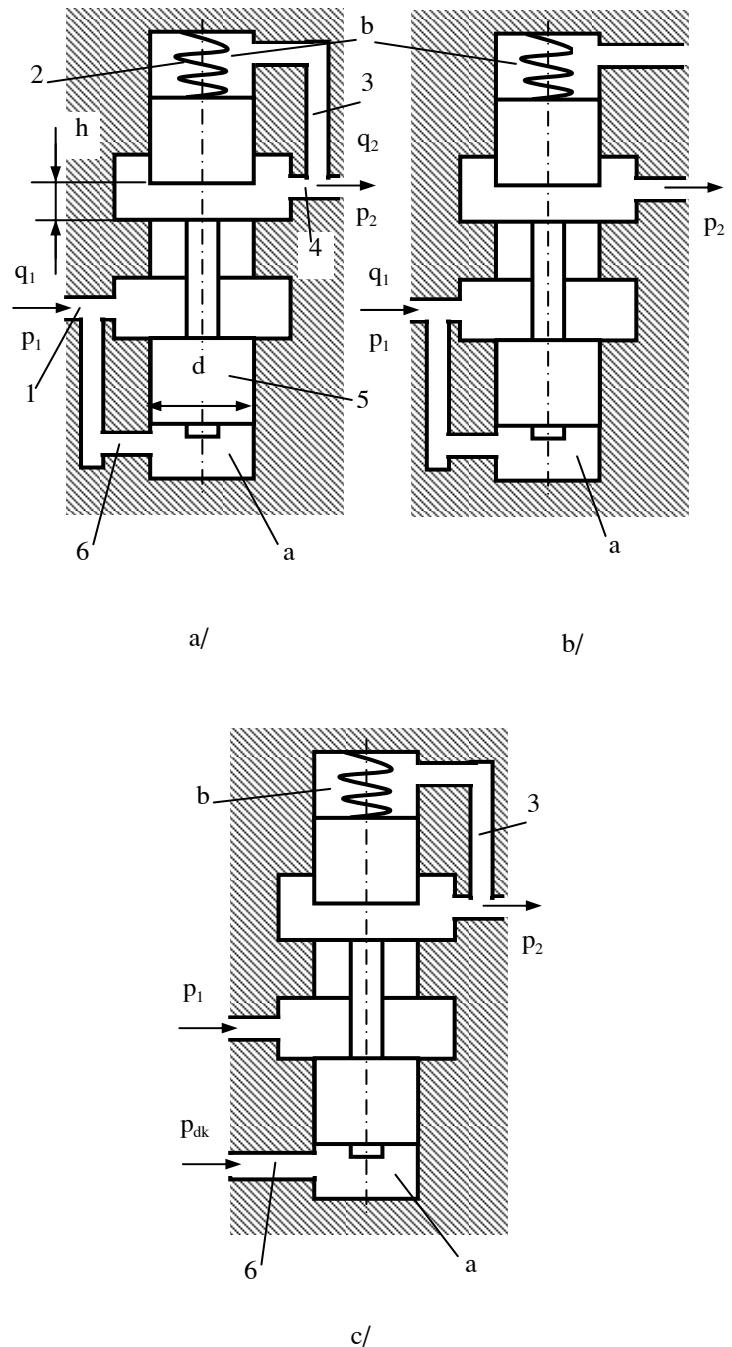
c_1 - độ cứng của lò xo,

c_2 - độ cứng của phản lực động lực học (II.3.73)

$$c_2 = \mu \pi d_{ct} (p_{10} - p_{20}) \cos \theta \quad (\text{II.3.104})$$

θ - góc tạo bởi hướng của lực động lực học và trực con trượt,

S - diện tích tiết diện ngang của con trượt,



Hình II.3.10. Sơ đồ cấu trúc của van con trượt tác dụng trực tiếp.

a - Khoang lò xo được nối với đường xả.

b - Khoang lò xo được nối với không khí.

c - Điều khiển từ ngoài.

- 1. Đường cấp vào; 2. Lò xo; 3. Đường ống liên kết;
- 4. Đường ống ra; 5. Con trượt; 6. Khe giảm chấn.

x_0 - sự nén căng sơ bộ của lò xo khi $h_0 = 0$.

Tương tự sẽ có phương trình lực tác dụng lên con trượt theo sơ đồ II.3.18b là:

$$c_1(h_0 + x_0) + c_2 h_0 = S p_{10} \quad (\text{II.3.105})$$

Tương ứng với sơ đồ II.3.10c sẽ có dạng:

$$c_1(h_0 + x_0) + c_2 h_0 = S(p_{dk} - p_{20}) \quad (\text{II.3.106})$$

trong đó:

p_{dk} - áp suất điều khiển.

Nếu trong sơ đồ II.3.10c mà ngắt khoang đòn hồi khỏi mạch xả thì vé phải của biểu thức (II.3.106) sẽ loại bỏ giá trị p_{20} ($p_{20} = 0$).

Các phương trình (II.3.102) \div (II.3.106) sẽ cho phép xác định các đặc tính tĩnh học của van trượt tác dụng trực tiếp khi đã biết hệ số lưu lượng μ và góc dòng chảy θ .

Phản lực của lực động lực học dòng chảy có ảnh hưởng rất lớn đến đặc tính tĩnh học của van.

II.3.3.2. Xây dựng phương trình hàm truyền

Trong quá trình khảo sát và thực nghiệm thì tại các tần số gần với tần số dao động riêng của van và gần với tần số có thể của các tác động (lưu lượng không đều của bơm) thì lực ma sát khô sẽ có thể tự tuyến tính hóa.

Cụm van con trượt tác dụng trực tiếp có thể được khảo sát như một hệ thống tuyến tính khi có độ lệch rất nhỏ so với giá trị toạ độ xác định. Khi đó động lực học của van con trượt tác dụng trực tiếp có thể biểu diễn bởi các phương trình:

- Phương trình lưu lượng dòng chảy qua con trượt.
- Phương trình liên tục của dòng chảy tại lối vào và lối ra của van.
- Phương trình cân bằng con trượt .

Khi thiết diện thông dòng hình tròn thì phương trình tính lưu lượng dòng chảy qua con trượt sẽ được xác định

$$\bar{q}_{ct} = \bar{h} + b \bar{p}_1 - c \bar{p}_2 \quad (\text{II.3.107})$$

trong đó:

\bar{h} - sự thay đổi tương đối độ dịch chuyển của con trượt

$$\bar{h} = \bar{S} \quad (\text{II.3.108})$$

\bar{S} - sự thay đổi tương đối diện tích thiết diện thông dòng,

b, c - các hệ số, được xác định:

$$b = \frac{P_{10}}{n(p_{10} - p_{20})},$$

$$c = \frac{p_{20}}{n(p_{10} - p_{20})} \quad (\text{II.3.109})$$

Sử dụng biến đổi Laplace tại điều kiện không ban đầu thì biểu thức (II.3.109) sẽ có dạng:

$$Q_{ct} = H + b P_1 - c P_2 \quad (\text{II.3.110})$$

trong đó:

$$\begin{aligned} Q_{ct} &= L[\bar{q}_{ct}(t)] , \\ H &= L[\bar{h}(t)] , \\ P_1 &= L[\bar{p}_1(t)] , \\ P_2 &= L[\bar{p}_2(t)] \end{aligned} \quad (\text{II.3.111})$$

Phương trình liên tục của dòng chảy tại lối vào và lối ra của van được xác định:

$$\begin{aligned} q_{ct} &= q_1 - S \frac{dh}{dt} , \\ q_2 &= q_{ct} + S \frac{dh}{dt} \end{aligned} \quad (\text{II.3.112})$$

Đối với trường hợp của hình II.3.10a khi sử dụng biến đổi Laplace đối với biểu thức (II.3.112), sẽ nhận được:

$$\begin{aligned} Q_{ct} &= Q_1 - T_s s H , \\ Q_2 &= Q_{ct} + T_s s H \end{aligned} \quad (\text{II.3.113})$$

trong đó:

T_s - hằng số thời gian đặc trưng sự ảnh hưởng tương đối của việc thay đổi lưu lượng khi con trượt chuyển động

$$T_s = \frac{Sh_0}{q_{10}} \quad (\text{II.3.114})$$

Q_1, Q_2 - lưu lượng tại lối vào và lối ra của van theo biến đổi Laplace

$$\begin{aligned} Q_1 &= L\left[\frac{\Delta q_1(t)}{q_{10}}\right] , \\ Q_2 &= L\left[\frac{\Delta q_2(t)}{q_{20}}\right] \end{aligned} \quad (\text{II.3.115})$$

$q_{10} = q_{20}$ - lưu lượng xác định tại lối vào và lối ra của van.

Đối với trường hợp khoang lò xo nối với không khí (hình II.3.10b) thì biểu thức (II.3.112) sẽ được chuyển thành

$$\begin{aligned} Q_{ct} &= Q_2 , \\ Q_2 &= Q_1 - T_s s H \end{aligned} \quad (\text{II.3.116})$$

Đối với van có sự điều khiển từ bên ngoài thì khi nối khoang lò xo với đường xả (hình II.3.10c) thì biểu thức (II.3.112) sẽ có dạng:

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_1 + T_s s H , \\ Q_1 &= Q_{ct} \end{aligned} \quad (\text{II.3.117})$$

Nếu trong sơ đồ (hình II.3.10c) nối khoang lò xo với không khí sẽ nhận được:

$$Q_1 = Q_2 = Q_{ct} \quad (\text{II.3.118})$$

Phương trình cân bằng của các lực tác dụng lên con trượt được xác định:

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} + N_2 + N_3 = N_1 \quad (\text{II.3.119})$$

trong đó:

m - khối lượng của phần chuyển động trong van

$$m = m_{ct} + \frac{m_{lx}}{3} \quad (\text{II.3.120})$$

m_{ct} - khối lượng của con trượt,

m_{lx} - khối lượng của lò xo,

N_1 - áp lực đầu tác dụng lên con trượt

$$N_1 = S(p_a - p_b) \quad (\text{II.3.121})$$

p_a - áp suất trong khoang a (hình II.3.10), được xác định từ phương trình dòng chảy không dừng $\left(\frac{d}{dt} \neq 0 \right)$ tác dụng lên mặt mút của con trượt

$$p_a = p_1 - R_3 S \frac{dh}{dt} - L_3 S \frac{d^2 h}{dt^2} \quad (\text{II.3.122})$$

R_3, L_3 - hệ số tổn thất do ma sát nhót và hệ số cột áp quán tính trong đường dẫn 3.

p_b - áp suất trong khoang b (hình II.3.10a, c)

$$p_b = p_2 + R_6 S \frac{dh}{dt} + L_6 S \frac{d^2 h}{dt^2} \quad (\text{II.3.123})$$

R_6, L_6 - hệ số tổn thất do ma sát nhót và hệ số cột áp quán tính trong đường dẫn 6.

$$\begin{aligned} R_i &= \sum \frac{128\mu l_i}{\pi d_i^4} , \\ L_i &= \sum \frac{\rho l_i}{S_i} \end{aligned} \quad (\text{II.3.124})$$

l_i, d_i, S_i - độ dài, đường kính và thiết diện của đoạn ống thứ i,

N_2 - lực đàn hồi của lò xo

$$N_2 = c_1 (x_0 + h) \quad (\text{II.3.125})$$

c_1 - độ cứng của lò xo,

x_0 - độ căng sơ bộ của lò xo khi $h_0 = 0$.

h - độ dịch chuyển của con trượt so với vị trí $h_0 = 0$.

N_3 - lực động lực học của dòng chất lỏng

$$N_3 = c_2 h \quad (\text{II.3.126})$$

c_2 - độ cứng của phản lực động lực học.

Kết hợp các biểu thức (II.3.119) ÷ (II.3.126) sẽ nhận được biểu thức theo gia số

$$(m + L_3 S^2 + L_6 S^2) \frac{d^2 h}{dt^2} + (R_3 S^2 + R_6 S^2) \frac{dh}{dt} + (c_1 + c_2) \Delta h = S(\Delta p_1 - \Delta p_2) \quad (\text{II.3.127})$$

Đối với hình II.3.10a khi biến đổi biểu thức (II.3.127) theo Laplace, sẽ nhận được biểu thức:

$$(T_{ct}^2 s^2 + T_{gc} s + 1) H = K_{ct1} P_1 - K_{ct2} P_2 \quad (\text{II.3.128})$$

trong đó:

T_{ct} - hằng số thời gian của van theo hình II.3.18a

$$T_{ct} = \sqrt{\frac{m + (L_3 + L_6)S^2}{c_\Sigma}} \quad (\text{II.3.129})$$

c_Σ - độ cứng tổng cộng

$$c_\Sigma = c_1 + c_2 \quad (\text{II.3.130})$$

T_{gc} - hằng số thời gian giảm chấn của van con trượt theo hình II.3.10c

$$T_{gc} = \frac{(R_3 + R_6)S^2}{c_\Sigma} \quad (\text{II.3.131})$$

K_{ct1}, K_{ct2} - các hệ số khuếch đại theo độ dịch chuyển

$$\begin{aligned} K_{ct1} &= \frac{S p_{10}}{c_\Sigma h_0} , \\ K_{ct2} &= \frac{S p_{20}}{c_\Sigma h_0} \end{aligned} \quad (\text{II.3.132})$$

Đối với van con trượt làm việc theo sơ đồ ở hình II.3.10b thì khi khoang lò xo nối với không khí thì phương trình cân bằng của con trượt sẽ có dạng:

$$[(T_{ct}')^2 s^2 + T_{gc}' s + 1] H = K_{ct1} P_1 \quad (\text{II.3.133})$$

trong đó:

T_{ct}' - hằng số thời gian của theo hình II.3.10 b

$$T_{ct}' = \sqrt{\frac{m + L_3 S^2}{c_\Sigma}} \quad (\text{II.3.134})$$

T_{gc}' - hằng số thời gian giảm chấn của con trượt theo hình II.3.10b

$$T_{gc}' = \frac{R_3 S^2}{c_\Sigma} \quad (II.3.135)$$

Đối với van làm việc theo sơ đồ trên hình II.3.10c với lực điều khiển từ bên ngoài thì $N_1 = S(p_{dk} - p_b)$ và khi khoang lò xo được nối với kênh xả, thì phương trình cân bằng con trượt có dạng:

$$(T_{ct}^2 s^2 + T_{gc}' s + 1)H = K_{dk} P_{dk} - K_{dk} P_2 \quad (II.3.136)$$

trong đó:

K_{dk} - hệ số khuếch đại điều khiển

$$K_{dk} = \frac{Sp_{dko}}{c_\Sigma h_0} \quad (II.3.137)$$

Đối với van làm việc theo sơ đồ trên hình II.3.10c khi khoang lò xo được nối với không khí và $N_1 = Sp_{dk}$ thì phương trình cân bằng con trượt sẽ được xác định:

$$[(T_{ct}')^2 s^2 + T_{gc}' s + 1]H = K_{dk} P_{dk} \quad (II.3.138)$$

Trong phần lớn các trường hợp sử dụng van con trượt tác dụng một chiều thì lối ra của nó được nối với đường ống xả.

Trong một số trường hợp thì có sự nối khoang xả của van với các thiết bị khác hoặc với cơ cấu chấp hành. Trong trường hợp tổng quát thì phương trình hàm truyền của phần tử tại lối ra sẽ được xác định:

$$W_2(s) = \frac{P_2}{Q_2} \quad (II.3.139)$$

P_2, Q_2 - áp suất và lưu lượng tại lối ra của van được biến đổi theo Laplace.

Trên sơ đồ các biểu thức (II.3.102) ÷ (II.3.139) có thể thiết lập sơ đồ cấu trúc của van con trượt tác dụng trực tiếp (hình II.3.11).

Sơ đồ cấu trúc của van khí khoang lò xo được nối với kênh xả (hình II.3.11a) không thuận lợi đối với việc khảo sát tiếp theo vì trong sơ đồ này có chứa sự liên hệ cắt chéo nhau. Tuy nhiên sơ đồ này thể hiện rõ quá trình vật lý xảy ra trong van và sự kế tiếp của việc xuất hiện các tín hiệu.

Khi có sự thay đổi lưu lượng Q_1 tại lối vào của van thì sẽ đồng thời có sự thay đổi lưu lượng Q_2 tại lối ra ($Q_2 = Q_1$) và sự thay đổi áp suất P_1 tại lối vào.

Sự thay đổi áp suất P_2 tại lối ra của van và áp suất tương ứng trong khoang lò xo sẽ được xác định bởi đặc tính động lực học của đường ống xả hoặc phần tử khác tại lối ra của van.

Độ chênh của áp lực tác dụng lên các mặt mút của van con trượt sẽ được xác

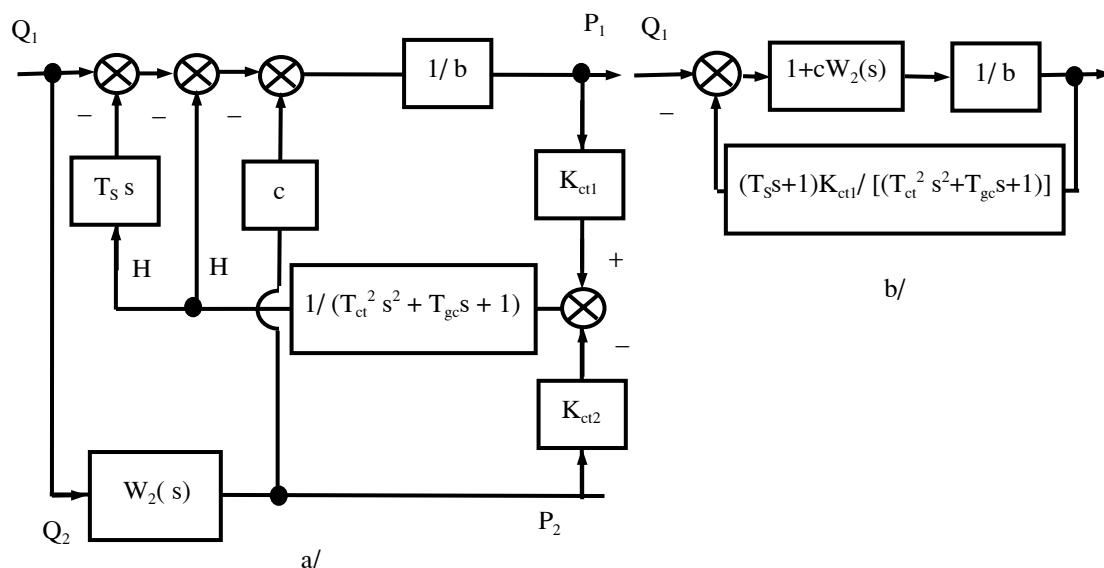
định độ trượt pha giữa các áp suất p_1 , p_2 và giá trị các hệ số khuếch đại K_{ct1} , K_{ct2} .

Phá vỡ sự cân bằng của con trượt sẽ gây nên sự di chuyển H tương ứng với đặc tính động lực học của nó $\frac{1}{T_{ct}^2 s^2 + T_{gc} + 1}$.

Sự thay đổi áp suất p_2 cũng sẽ ảnh hưởng đến áp suất p_1 tương ứng với các hệ số c và $\frac{1}{b}$ trong phương trình lưu lượng chảy qua con trượt. Sự di chuyển H của con trượt sẽ gây nên không chỉ sự thay đổi thiết diện thông dòng mà còn kèm theo sự thay đổi thể tích dầu trong khoang a của van. Tương ứng với đặc tính của khâu T_s thì sự thay đổi lưu lượng qua con trượt sẽ cũng ảnh hưởng đến sự thay đổi của áp suất p_1 .

Như vậy đặc tính động lực học của van sẽ được xác định bởi các phần tử của mạch phản hồi để phục hồi sự lệch khỏi giá trị áp suất p_1 cho trước.

Sự ảnh hưởng của đường ống hoặc thiết bị tại lối ra sẽ là tác động bổ xung lên con trượt $[K_{ct2} W_2(s)]$ trên hình II.3.11a và tác động bổ xung lên lưu lượng trong mạch $[1+cW_2(s)]$ trên hình II.3.11b. Sơ đồ cấu trúc của bản thân van sẽ được tạo thành bởi mạch liên hệ bên trong. Trong mạch thẳng của vòng liên hệ này sẽ tìm được hệ số đặc trưng cho sự chảy trong rãnh của con trượt là $\frac{1}{b}$, còn trong mạch phản hồi là khâu tích phân – vi phân có đặc trưng là quán tính của con trượt và lưu lượng bổ xung, được đẩy ra bởi con trượt khi có sự dịch chuyển của con trượt.



Hình II.3.11. Sơ đồ cấu trúc của van con trượt tác dụng trực tiếp.

- Khi khoang lò xo được nối với kênh xả.
- Khi khoang lò xo được nối với không khí.

Từ sơ đồ cấu trúc của van có khoang lò xo nối với không khí (hình II.3.11b) thì đặc tính của thiết bị hoặc đường ống tại lối ra sẽ được xác định bởi phương trình hàm truyền $c W_2(s)$. Đặc tính này sẽ ở bên trong của mạch phản hồi, thậm chí áp suất p_2 sẽ không ảnh hưởng trực tiếp đến sự dịch chuyển của con trượt.

Trong trường hợp khoang lò xo nối với đường xả, mà áp suất tại lối ra là $p_2 = 0$ thì phương trình hàm truyền của bản thân van sẽ được xác định:

$$W(s) = \frac{\frac{1}{b}}{1 + \frac{H_{ct1}(T_s s + 1)}{b(T_{ct}^2 s^2 + T_{gc} s + 1)}} \quad (\text{II.3.140})$$

Kết hợp các biểu thức (II.3.110) ÷ (II.3.139) hoặc trực tiếp từ sơ đồ cấu trúc có thể xác định được phương trình hàm truyền của hệ thống kín có cơ cấu từ van và các thiết bị hoặc đường ống tại lối ra của van

$$W_0(s) = W(s) + \frac{p_{20}}{p_{10}} W_2(s) \quad (\text{II.3.141})$$

trong đó:

$$\begin{aligned} \frac{b K_{ct2}}{K_{ct1}} &= c , \\ \frac{K_{ct2}}{K_{ct1}} &= \frac{p_{20}}{p_{10}} \end{aligned} \quad (\text{II.3.142})$$

Đối với trường hợp khi khoang lò xo nối thông với không khí mà áp suất tại lối ra $p_2 = 0$ thì phương trình hàm truyền của bản thân van sẽ có dạng:

$$W'(s) = \frac{\frac{1}{b}}{1 + \frac{K_{ct1}[1 + c W_2(s)](T_s s + 1)}{b[(T_{ct}')^2 s^2 + T_{gc}' s + 1]}} \quad (\text{II.3.143})$$

Sẽ không nhận được biểu thức đơn giản của $W_0(s)$ biểu diễn mối liên kết của $W(s)$ và $W_2(s)$.

Trong trường hợp này thì phương trình hàm truyền $W_2(s)$ của phần tử tại lối ra sẽ nằm ở bên trong mạch khép kín (hình II.3.11b).

Khi đó phương trình hàm truyền của van cùng với các phần tử tại lối ra của nó sẽ được xác định

$$W_0'(s) = \frac{\frac{1}{b}[1 + c W_2(s)]}{1 + \frac{K_{ct1}[1 + c W_2(s)](T_s s + 1)}{b[(T_{ct})^2 s^2 + T_{gc}' s + 1]}} \quad (II.3.144)$$

Phương trình hàm truyền của bản thân van theo biểu thức (II.3.140) có thể được chuyển thành dạng:

$$W(s) = \frac{1}{b + K_{ct1}} \frac{T_{ct}^2 s^2 + 2\xi_{ct} T_{ct} s + 1}{T_0^2 s^2 + 2\xi_0 T_0 s + 1} \quad (II.3.145)$$

trong đó:

ξ_{ct} - hệ số giảm chấn tương đối của con trượt

$$\xi_{ct} = \frac{T_{gc}}{2T_{ct}} \quad (II.3.146)$$

T_0 - hằng số thời gian của bản thân van

$$T_0 = T_{ct} \sqrt{\frac{b}{b + K_{ct1}}} \quad (II.3.147)$$

ξ_0 - hệ số giảm chấn tương đối của ban thân van

$$\xi_0 = \frac{b T_{gc} + K_{ct1} T_s}{2(b + K_{ct1}) T_0} \quad (II.3.148)$$

Tần số dao động riêng của van mà không tính đến đặc tính động lực học của đường xá có thể xác định theo phương trình hàm truyền (II.3.145). Khi đó tần số dao động riêng có dạng:

$$f_{ct} = \frac{1}{2\pi T_0} = \frac{1}{2\pi T_{ct}} \sqrt{\frac{b + K_{ct1}}{b}} \quad (II.3.149)$$

Tần số dao động riêng của van thông thường sẽ lớn hơn tần số $f = \frac{1}{2\pi T_{ct}}$ một số

lần và sẽ được xác định không chỉ bởi cấu trúc của van mà còn bởi các thông số của chế độ xác định p_{10} và p_{20} vì các hệ số b và K_{ct1} phụ thuộc vào các thông số này.

Phân tích phương trình hàm truyền của bản thân van theo biểu thức (II.3.145) khi không tính đến các phần tử còn lại của hệ thống thuỷ lực thì van con trượt tác dụng trực tiếp luôn luôn ổn định.

Điều này được rút ra từ phương trình đặc tính của hệ thống van có vi phân bậc 2 và các hệ số dương. Khi có sự nối thông giữa khoang lò xo của conn trượt với khen xá thì các phần tử nằm tại lối ra của van sẽ không thể chuyển đến trạng thái không ổn định nếu bản thân nó đã được ổn định.

BÀI 6
ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ
TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC
(Tiếp theo)

II.3.4. Tiết lưu thuỷ lực.	
II.3.4.1. Van tiết lưu.	81
II.3.4.2. Cơ cấu điều chỉnh dòng (Van tiết lưu và cơ cấu điều chỉnh).	84

BÀI 6. ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC (Tiếp theo)

II.3.4. Tiết lưu thuỷ lực

Trong các hệ thống thuỷ lực có điều chỉnh vận tốc cơ cấu công tác dùng van tiết lưu thì sự điều chỉnh lưu lượng chất lỏng đi qua xilanh thuỷ lực hoặc động cơ thuỷ lực sẽ được thực hiện bởi sự thay đổi sức cản của dòng chất lỏng.

Để điều chỉnh sức cản sẽ sử dụng tiết lưu thuỷ lực. Trong trường hợp tổng quát thì đặc tính tĩnh của tiết lưu thuỷ lực sẽ xác định bởi mối liên hệ phi tuyến

$$p = k q^n \quad (\text{II.3.150})$$

trong đó:

p - độ giảm áp tại thiết diện thông dòng,

q - lưu lượng,

k - hằng số phụ thuộc vào kích thước hình học của thiết diện thông dòng,

n - chỉ số đặc trưng cho dòng chảy ($1 < n < 2$).

Từ biểu thức (II.3.150) nhận thấy lưu lượng qua tiết lưu sẽ phụ thuộc vào độ giảm áp.

Tiết lưu được sử dụng để điều chỉnh vận tốc cơ cấu công tác của máy công cụ mà cơ cấu này chịu sự thay đổi không lớn của tải trọng.

Trong trường hợp này để đảm bảo sự không đổi của lưu lượng chảy qua tiết lưu thì cần thiết phải làm ổn định độ giảm áp tại tiết lưu để sao cho sự thay đổi tải trọng cơ cấu công tác sẽ không gây nên sự thay đổi của độ giảm áp tại tiết lưu.

Để thực hiện được mục đích này sẽ sử dụng tiết lưu điều chỉnh được (bộ điều chỉnh dòng).

II.3.4.1. Van tiết lưu

Cấu trúc của van tiết lưu được đặc trưng bởi biến dạng của thiết diện thông dòng. Biến dạng của thiết diện thông dòng có thể là:

- Thiết diện hình tròn.
- Thiết diện khe hở hoặc thiết diện cắt được tạo bởi bề mặt xoắn ốc với các rãnh hình trụ.
- Thiết diện cắt của mặt mút con trượt với các lỗ cắt ngang hoặc với các bề mặt hình học khác.

Yêu cầu chủ yếu đối với van tiết lưu được xác định khi lựa chọn biên dạng hình học của thiết diện thông dòng sẽ là sự đảm bảo mối phụ thuộc nhỏ nhất giữa lưu lượng qua tiết lưu với nhiệt độ của dầu.

Do đó trong các van tiết lưu bình thường sẽ đảm bảo tỉ số nhỏ nhất giữa độ dài khe hở tiết lưu và diện tích thiết diện của nó để sao cho đặc tính của dòng chảy sẽ gần với dòng chảy rối.

Tuy nhiên trong một số trường hợp khi yêu cầu mối liên hệ tuyến tính giữa độ giảm áp và lưu lượng thì khe hở tiết lưu sẽ có cấu tạo sao cho tỷ số giữa độ dài và diện tích thiết diện là lớn.

Sơ đồ tính toán để xác định đặc tính động lực học của van tiết lưu trong trường hợp tổng quát được biểu diễn trên hình II.3.12.

Nếu van tiết lưu có đặc tính tuyến tính thì cần phải tính đến cột áp quán tính tại thiết diện thông dòng.

Còn nếu giữa lưu lượng và độ giảm áp có mối liên hệ bậc hai thì có thể bỏ qua cột áp quán tính tại thiết diện thông dòng.

Cột áp quán tính tại đoạn ống l_1 có thể được xác định

$$\Delta p_1 = \frac{l_1 \rho}{S_1} \frac{dq_{tl}}{dt} \quad (\text{II.3.151})$$

trong đó:

l_1, S_1 - độ dài và diện tích thiết diện của đoạn ống l_1 trong tiết lưu,

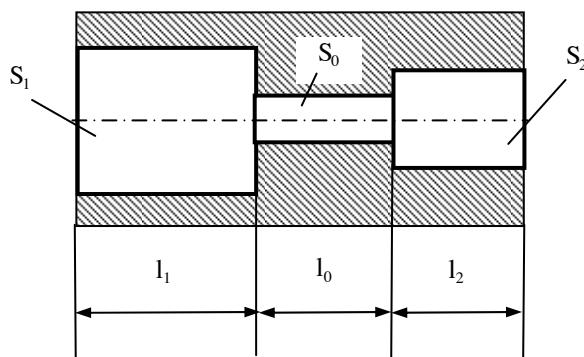
q_{tl} - lưu lượng chảy qua tiết lưu.

Cột áp quán tính tại đoạn ống l_2 tương ứng sẽ có dạng:

$$\Delta p_2 = \frac{l_2 \rho}{S_2} \frac{dq_{tl}}{dt} \quad (\text{II.3.152})$$

Tổn thất áp suất tại khe hở tiết lưu được quy ước là cột áp quán tính và cột áp vận tốc.

Kết hợp với (II.3.150) có thể xây dựng biểu thức theo giá số:



Hình II.3.12. Sơ đồ tính toán của van tiết lưu.

$$\Delta p_0 = \frac{l_0 \rho}{S_0} \frac{dq_{tl}}{dt} + k (\Delta q_{tl})^n \quad (II.3.153)$$

Độ giảm áp tổng cộng trong van tiết lưu sẽ được xác định bằng tổng của các tổn thất

$$\Delta p_\Sigma = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_0 \quad (II.3.154)$$

Phương trình được tuyển tính hoá theo toạ độ tương đối sẽ có dạng

$$\Delta \bar{p}_\Sigma = \rho \sum \frac{l_i}{S_i} \frac{q_{tl0}}{p_{\Sigma 0}} s \bar{q}_{tl} + n \bar{q}_{tl} \quad (II.3.155)$$

Trong phương trình hàm truyền của van tiết lưu thì tác động lối vào sẽ là sự thay đổi độ giảm áp, còn tác động lối ra sẽ là sự thay đổi lưu lượng.

Sau khi thực hiện biến đổi Laplace thì biểu thức (II.3.155) có thể đưa đến phương trình hàm truyền:

$$W(s) = \frac{Q_{tl}}{P_\Sigma} = \frac{1}{n(T_{tl}s + 1)} \quad (II.3.156)$$

trong đó:

T_{tl} - hằng số thời gian của van tiết lưu

$$T_{tl} = \frac{\rho}{n} \sum \frac{l_i}{S_i} \frac{q_{tl0}}{p_{\Sigma 0}} \quad (II.3.157)$$

Độ giảm áp tại van tiết lưu sẽ được xác định

$$\Delta p_\Sigma = \frac{\Delta p_1 - \Delta p_2}{p_{10} - p_{20}} \quad (II.3.158)$$

trong đó:

p_1 - áp suất tại lối vào của van tiết lưu,

p_2 - áp suất tại lối ra của van tiết lưu.

Khi đó phương trình van tiết lưu sau khi biến đổi Laplace sẽ có dạng:

$$Q_{tl} = W(s)(r_I P_1 - r_{II} P_2) \quad (II.3.159)$$

trong đó:

$$r_I = \frac{P_{10}}{P_{10} - P_{20}} = n b \quad , \quad (II.3.160)$$

$$r_{II} = \frac{P_{20}}{P_{10} - P_{20}} = n c$$

b, c - hệ số phương trình được tuyển tính hóa của con trượt có khe hở tiết lưu.

Sự nén được của dầu trong van tiết lưu có thể không tính đến vì thể tích chất lỏng trong các rãnh của van tiết lưu không thể so sánh nhỏ hơn thể tích của chất lỏng

trong các đường ống và các phần tử khác của hệ thống thuỷ lực.

Phương trình hàm truyền của van tiết lưu phù hợp với khâu không tuân hoán với hệ số khuếch đại $\frac{1}{n}$ và hằng số thời gian T_u được xác định bởi quán tính của dòng chảy.

II.3.4.2. Cơ cấu điều chỉnh dòng (van tiết lưu và cơ cấu điều chỉnh)

Có nhiều sơ đồ khác nhau để đặt cơ cấu điều chỉnh dòng trong hệ thống truyền động thuỷ lực.

Để tự động duy trì độ giảm áp không đổi tại van tiết lưu sẽ dùng cơ cấu điều chỉnh dòng đặt tại lối ra (hình II.3.10a).

Khoang xả của động cơ thuỷ lực được nối với đường dẫn 1 của cơ cấu điều chỉnh dòng.

Do đó dầu được tháo ra từ khoang xả của động cơ thuỷ lực sẽ được đưa qua thiết diện thông dòng của con trượt trong cơ cấu điều chỉnh dòng và van tiết lưu đến chỗ xả.

Áp suất ở phía trước tiết lưu sẽ tác dụng lên phía bên phải các mặt 2, 3 của con trượt trong cơ cấu điều chỉnh, còn áp suất ở phía sau van tiết lưu sẽ được truyền đến mặt mút bên trái của con trượt.

Tại mặt mút bên trái này thì ngoài áp suất dẫn còn có lực đàn hồi của đàn hồi của lò xo 4.

Khi có sự cân bằng của con trượt trong cơ cấu điều chỉnh thì sẽ tạo nên thiết diện thông dòng xác định và độ giảm áp tại van tiết lưu sẽ được xác định lớn bởi lực đàn hồi của lò xo.

Khi có sự thay đổi độ giảm áp tại van tiết lưu sẽ gây nên sự thay đổi lưu lượng của van thì lực tác dụng lên con trượt sẽ thay đổi.

Do đó con trượt sẽ dịch chuyển từ vị trí trước đó và sẽ làm thay đổi thiết diện thông dòng cho đến khi phục hồi lại được độ giảm áp tại van tiết lưu.

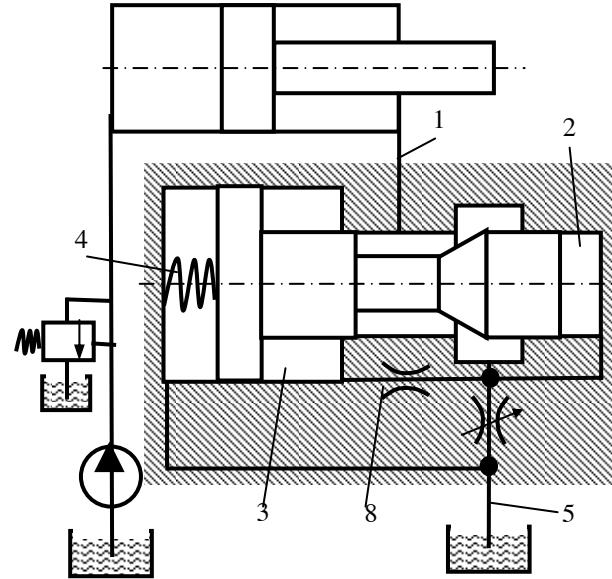
Như vậy cơ cấu điều chỉnh dòng sẽ đảm bảo ổn định độ giảm áp tại van tiết lưu, do đó sẽ đảm bảo ổn định lưu lượng qua van tiết lưu.

Để biểu diễn các đặc tính động lực học cơ cấu chiỉnh dòng sẽ thiết lập phương trình hàm truyền

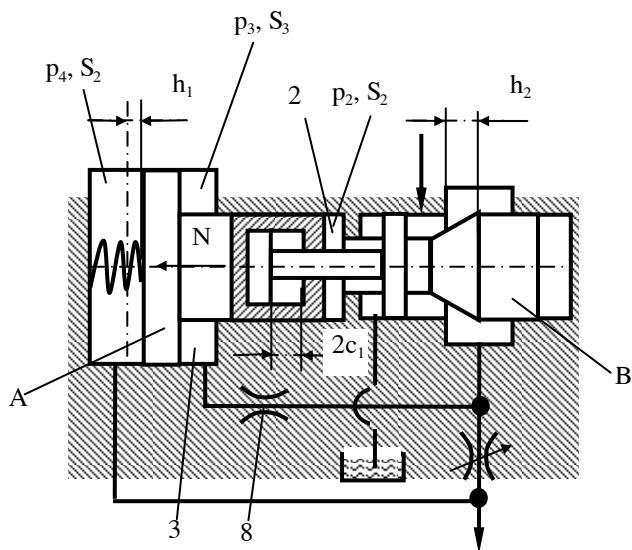
$$W_u(s) = \frac{Q_i}{P_i} \quad (\text{III.3.161})$$

trong đó:

P_i - biến đổi theo Laplace của sự thay đổi áp suất tại điểm nối cơ cấu điều chỉnh dòng đến khoang được điều chỉnh của xilanh hoặc động cơ thuỷ lực.
 Q_i - biến đổi theo Laplace của sự thay đổi lưu lượng tại điểm này.



a/



b/

Hình III.3.13. Cơ cấu điều chỉnh dòng.

- a. Sơ đồ nguyên lý.
- b. Sơ đồ tính toán.

- 1, 5 - Đường dẫn;
- 2, 3 - Các mặt mút của con trượt;
- 4 - Lò xo;
- 8 - Van gián chấn.

Trên sơ đồ tính toán (hình III.3.13b) thì thành phần dọc trực của lực thuỷ động lực học sẽ luôn được hướng theo một phương mặc dù trong thực tế nó sẽ được tạo thành tại thiết diện thông dòng của con trượt.

Thành phần quán tính của con trượt có thể biểu diễn thành phương trình vi phân

$$m \frac{d^2 h_1}{dt^2} = N_2 + p_4 S_4 - (p_3 S_3 + p_2 S_2) - N_{tdl} \quad (\text{III.3.162})$$

trong đó:

m - khối lượng quy dẫn của con trượt,

h_1 - độ dịch chuyên phần quán tính A của con trượt,

N_2 - lực căng của lò xo,

p_4, S_4 - áp suất và diện tích mặt mút của con trượt tại khoang 4,

p_3, S_3 - áp suất và diện tích thiết diện của con trượt tại khoang 3,

p_2, S_2 - áp suất và diện tích mặt mút của con trượt tại khoang 2,

N_{tdl} - thành phần dọc trực của lực thuỷ động lực học.

Có thể bỏ qua ma sát chất lỏng của con trượt vì lực của ma sát này nhỏ hơn rất nhiều so với lực cản thuỷ lực của lỗ giảm chấn 8. Lưu lượng qua lỗ giảm chấn này được xác định:

$$q_8 = K_8 (p_3 - p_2) = S_3 \frac{dh_1}{dt} \quad (\text{III.3.163})$$

trong đó:

K_8 - hệ số phụ thuộc vào kích thước hình học của lỗ giảm chấn 8 và độ nhớt của dầu.

Suy ra:

$$p_3 = p_2 + \frac{S_3}{K_8} \frac{dh_1}{dt} \quad (\text{III.3.164})$$

Biết rằng:

$$S_4 = S_3 + S_2$$

Đặt (III.3.164) vào (III.3.162), sẽ nhận được:

$$m \frac{d^2 h_1}{dt^2} + \frac{S_3^2}{K_8} \frac{dh_1}{dt} = N_2 + S_4 (p_4 - p_2) - N_{tdl} \quad (\text{III.3.165})$$

Khi chuyển sang số gia, sẽ có:

$$\begin{aligned} \Delta N_2 &= -c_1 \Delta h_1, \\ \Delta N_{tdl} &= c_2 \Delta h_1 \end{aligned} \quad (\text{III.3.166})$$

trong đó:

c_1 - độ cứng của lò xo,

c_2 - độ cứng do lực thuỷ động gây nên theo biểu thức (III.3.54).

Đặt biểu thức (III.3.166) vào (III.3.165) thì phương trình con trượt sẽ có dạng

$$m \frac{d^2 h_1}{dt^2} + \frac{S_3^2}{K_8} \frac{dh_1}{dt} + (c_1 + c_2) \Delta h_1 = S_4 (\Delta p_4 - \Delta p_2) \quad (III.3.167)$$

Ký hiệu:

$$\begin{aligned} \Delta p_2 - \Delta p_4 &= \Delta p_{tdl}, \\ p_{20} - p_{40} &= p_{tdl0} \end{aligned} \quad (III.3.168)$$

Biến đổi theo Laplace thì phương trình con trượt được xác định

$$(T^2 s^2 + T_1 s + 1) H_1 = -K_{ct} P_{tdl} \quad (III.3.169)$$

trong đó:

T - hằng số thời gian của con trượt

$$T = \sqrt{\frac{m}{c_1 + c_2}} \quad (III.3.170)$$

T_1 - hằng số thời gian của giảm chấn

$$T_1 = \frac{S_3^2}{K_8 (c_1 + c_2)} \quad (III.3.171)$$

K_{ct} - hệ số khuếch đại của con trượt

$$K_{ct} = \frac{S_4 p_{tdl0}}{(c_1 + c_2) h_{10}} \quad (III.3.172)$$

H_1 - biến đổi Laplace của độ dịch chuyển h_1 của con trượt

$$H_1 = L \left[\frac{\Delta h_1(t)}{h_{10}} \right] \quad (III.3.173)$$

P_{tdl} - biến đổi Laplace của áp suất lực thuỷ động

$$P_{tdl} = L \left[\frac{\Delta p_{tdl}(t)}{p_{tdl0}} \right] \quad (III.3.174)$$

Phương trình hàm truyền của con trượt sẽ có dạng

$$W_{ct}(s) = \frac{H_1}{P_{tdl}} = \frac{-K_{ct}}{T^2 s^2 + T_1 s + 1} \quad (III.3.175)$$

Ý nghĩa vật lý của dấu (-) trong phương trình hàm truyền của con trượt là khi tăng độ giảm áp trong phasing trinh hukm truyon cua con trit lu khi tang ng giup , p p_{tdl} thi thiết diện thông dòng của con trượt giảm và ngược lại.

Mỗi liên hệ giữa diện tích thiết diện thông dòng và độ dịch chuyển của con trượt là phi tuyến. Thường thì thiết diện thông dòng sẽ tạo thành thân hình tròn và hai chỗ bẹt phẳng trên con trượt (hình III.3.6a).

Mỗi liên hệ này được xác định bởi phương trình phi tuyến (III.3.31) và được

tuyến tính hoà theo chuỗi Taylo.

Mối liên hệ này theo biến đổi Laplace sẽ có dạng

$$S = \frac{3}{2} H_2 \quad (\text{III.3.176})$$

trong đó:

S - sự thay đổi tương đối diện tích thiết diện thông dòng theo biến đổi Laplace.

Phương trình liên tục sẽ biểu diễn lưu lượng tại các điểm khác nhau của cơ cấu điều chỉnh dòng có tính đến sự nén của chất lỏng và các lưu lượng bổ xung của chất lỏng do quá trình di chuyển của con trượt gây nên

$$q_8 = q_{ct} + S_4 \frac{dh_2}{dt} - \left(\frac{V_2}{E_0} \frac{dp_2}{dt} + \frac{V_3}{E_0} \frac{dp_3}{dt} \right) \quad (\text{III.3.177})$$

trong đó:

V_2, V_3 - thể tích dầu trong các khoang 2, 3 và kênh dẫn nối thiết diện thông dòng của con trượt với van tiết lưu (hình III.3.13a),
 q_8, q_{ct} - lưu lượng qua van tiết lưu 8 và con trượt.

Kết hợp (III.3.177) với (III.3.168), sẽ nhận được:

$$q_8 = q_{ct} - \frac{V_2 + V_3}{E_0} \frac{dp_2}{dt} - \frac{V_3 S_3}{K_8 E_0} \frac{d^2 h_2}{dt^2} + S_4 \frac{dh_2}{dt} \quad (\text{III.3.178})$$

Theo biến đổi Laplace thì biểu thức (III.3.178) sẽ có dạng:

$$Q_8 = Q_{ct} - T_c P_2 - T_{*1} s (T_{*2} s - 1) H_2 \quad (\text{III.3.179})$$

trong đó:

T_c - hằng số thời gian sự nén được của dầu trong các khoang và đường dẫn của cơ cấu điều chỉnh dòng

$$T_c = \frac{(V_2 + V_3) p_{20}}{E_0 q_{80}} \quad (\text{III.3.180})$$

T_{*1} - hằng số thời gian đặc trưng cho lưu lượng bổ xung do sự dịch chuyển của con trượt gây nên

$$T_{*1} = \frac{S_4 h_0}{q_{80}} \quad (\text{III.3.181})$$

T_{*2} - hệ số được xác định:

$$T_{*2} = \frac{V_3}{K_8 E_0} \quad (\text{III.3.182})$$

Vì hằng số T_{*2} nhỏ hơn rất nhiều so với các hằng số thời gian còn lại nên có thể bỏ qua. Suy ra biểu thức (III.3.179) sẽ có dạng

$$Q_8 = Q_{ct} - T_C s P_2 + T_{*1} s H_2 \quad (\text{III.3.183})$$

Trong cơ cấu điều chỉnh dòng thì tại lối vào, cũng như tại lối ra và tại các nhánh khi đường ống xả dài thì cần thiết phải tính lưu lượng chất lỏng tại lối thoát của thiết bị (điểm 5).

$$q_5 = q_8 - S_4 \frac{dh_2}{dt} \quad (\text{III.3.184})$$

Theo biến đổi Laplace thì sẽ có dạng

$$Q_5 = Q_8 - T_{*1} H_2 \quad (\text{III.3.185})$$

Do đó cần thiết phải tính phương trình hàm truyền của đường ống xả

$$W_x(s) = \frac{P_5}{Q_5} \quad (\text{III.3.186})$$

Sơ đồ cấu trúc của cơ cấu điều chỉnh dòng được đặt tại lối ra của động cơ thuỷ lực và tại các nhánh được biểu diễn trên hình II.3.14.

Tín hiệu lối vào là sự thay đổi áp suất P_1 . Toạ độ lối ra là sự thay đổi lưu lượng Q_1 bằng sự thay đổi lưu lượng qua con trượt Q_{ct} . Áp suất P_2 và diện tích diện thông dòng của con trượt sẽ chỉ thay đổi sau khi thay đổi lưu lượng dầu qua con trượt. Các đại lượng P_2 và diện tích này là toạ độ của mạch phản hồi.

Khi có sự thay đổi lưu lượng dầu Q_{ct} chảy qua con trượt thì sẽ có sự thay đổi lưu lượng dầu Q_8 qua van tiết lưu. Tuy nhiên sẽ có những tác động ảnh hưởng đến lưu lượng dầu Q_8 qua van tiết lưu:

- Tính nén được của dầu trong các kênh dẫn nối giữa con trượt và van tiết lưu, được thể hiện bởi $(T_C s P_2)$.
- Lưu lượng được tạo nên do sự nén của thể tích bổ xung của dầu khi có sự di chuyển của con trượt $(T_{*1} s H_2)$.

Sự thay đổi lưu lượng dầu Q_8 qua van tiết lưu sẽ gây nên sự thay đổi độ giảm áp P_* trong sự tương ứng với đại lượng nghịch đảo của phương trình hàm truyền đối với van tiết lưu $\frac{1}{W_u(s)}$. Sự thay đổi độ giảm áp P_* sẽ gây nên:

- Sự dịch chuyển H_2 của con trượt phù hợp với phương trình hàm truyền $W_{ct}(s)$ của con trượt.
- Sự thay đổi áp suất P_2 ở phía trước van tiết lưu.

Van tiết lưu này ngoài việc chịu ảnh hưởng của sự thay đổi áp suất do sự giảm P_* gây nên, còn chịu sự ảnh hưởng của sự thay đổi áp suất P_4 phụ thuộc vào lưu lượng dầu qua van tiết lưu phù hợp với phương trình hàm truyền của đường ống xả $W_x(s)$.

Như vậy một trong các mạch phản hồi sẽ được khép kín.

Mạch phản hồi thứ hai sẽ được khép kín khi có sự di chuyển con trượt H_2 và thay đổi thiết điện thông dòng của con trượt.

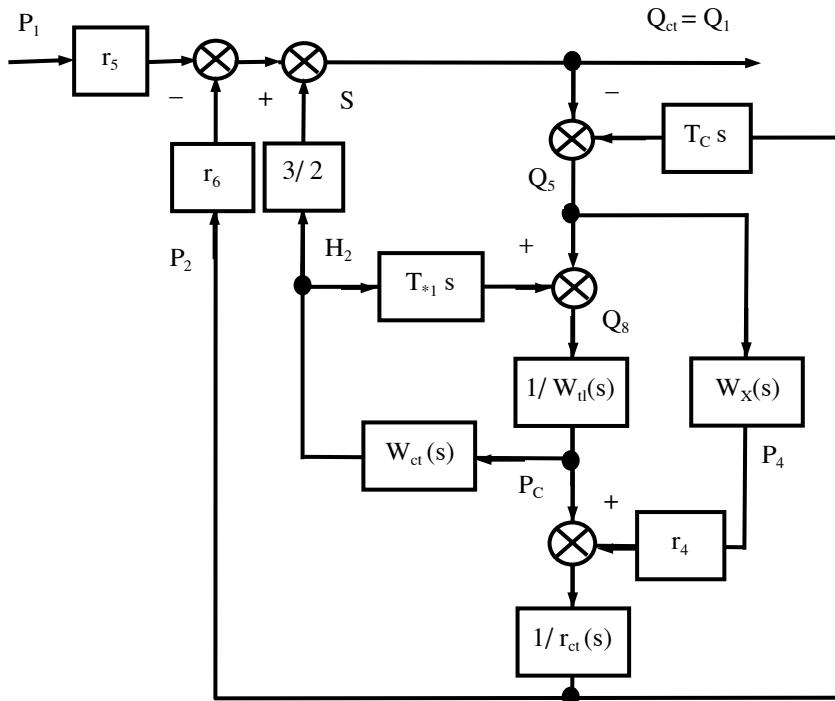
Sơ đồ cấu trúc của cơ cấu điều chỉnh dòng trên hình III.3.13b đã biểu diễn tính liên tục thông qua của các tín hiệu. Tuy nhiên để khảo sát động lực học của cơ cấu thì sơ đồ này không thuận tiện vì nó bao gồm số lượng lớn các mối liên kết.

Để nhận được phương trình hàm truyền hệ thống khép kín của cơ cấu điều chỉnh dòng thì chỉ cần thiết lập ma trận hàm truyền hoặc đồng thời giải hệ phương trình với sự loại bỏ các biến ngoài các tác động và toạ độ lối ra.

Để khảo sát độ ổn định của thiết bị, cũng như khi phân tích và tổng hợp các thông số cấu trúc thì cần phải có phương trình hàm truyền và đặc tính tàn số của hệ thống hở. Đối với mục đích này thì sơ đồ cấu trúc có thể chuyển về sơ đồ cấu trúc tương đương (hình III.3.15).

Trong sơ đồ cấu trúc trên hình III.3.14 thì mạch chính thông qua tín hiệu sẽ không chứa các hệ số, không chứa phương trình hàm truyền bởi vì phương trình hàm truyền của mạch chính bằng đơn vị.

Phương trình hàm truyền mạch phản hồi của hệ thống này có tính đến toạ độ lối ra (r_6 , P_2 , S) của mạch phản hồi sẽ có thể được xác định:



Hình II.3.14. Sơ đồ cấu trúc của cơ cấu điều chỉnh dòng được đặt tại lối ra và tại các nhánh.

$$W_{ph}(s) = \frac{P_2}{Q_{ct}} \left[\frac{3}{2} W_{ct}(s) \frac{P_*}{P_2} + r_6 \right] \quad (III.3.187)$$

trong đó:

$$r_6 = \frac{P_{20}}{2(P_{10} - P_{20})}$$

Trong hệ thống này giá trị của r_6 nhỏ hơn rất nhiều so với số hạng thứ nhất trong ngoặc tại biểu thức (II.3.20), nên phương trình hàm truyền của mạch phản hồi sẽ có dạng:

$$W_{ph}(s) = \frac{3}{2} W_{ct}(s) \frac{P_2}{Q_{ct}} \frac{P_*}{P_2} \quad (III.3.188)$$

Ý nghĩa vật lý của sự bù qua này là khi $P_2 \ll P_1$ thì sự thay đổi của áp suất P_2 sẽ ảnh hưởng rất ít đến sự thay đổi lưu lượng q_{ct} của con trượt.

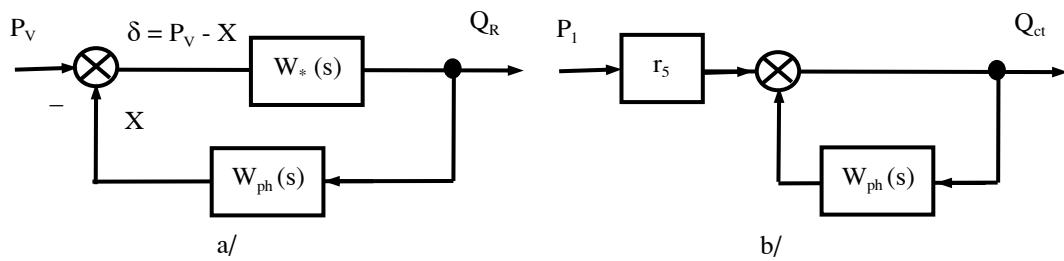
Phương trình hàm truyền $\frac{P_2}{Q_{ct}}$ và $\frac{P_*}{P_2}$ có thể nhận được từ sơ đồ cấu trúc trên

hình II.3.22 hoặc theo phương pháp giải tích

$$\frac{P_2}{Q_{ct}} = \frac{r_4 W_x(s) W_{tl}(s) \left[1 - \frac{W_{ct}(s)}{W_{tl}(s)} T_{*1} s \right] + 1}{T_c \left\{ \frac{r_3 W_{tl}(s)}{T_c s} \left[1 - \frac{W_{ct}(s)}{W_{tl}(s)} T_{*1} s \right] \left[1 + \frac{r_4 W_x(s)}{r_3} T_c s \right] + 1 \right\}} , \quad (III.3.189)$$

$$\frac{P_*}{P_2} = \frac{r_3}{r_4 W_x(s) W_{tl}(s) \left[1 - \frac{W_{ct}(s)}{W_{tl}(s)} T_{*1} s \right] + 1}$$

Kết hợp các biểu thức (III.3.188) và (III.3.189), sẽ nhận được:



Hình II.3.15. Sơ đồ cấu trúc tương đương.

a - Sơ đồ tổng quát.

b - Khi đặt tiết lưu tại lối ra và tại các nhánh.

P_V - Sự thay đổi áp suất là tín hiệu lối vào; Q_R - Sự thay đổi lưu lượng là toạ độ lối ra;

X - Toạ độ của mạch phản hồi chính; δ - Sự mất thích ứng của hệ thống ($\delta = P_V - X$);

$W_*(s)$ - Phương trình hàm truyền của mạch chính;

$W_{ph}(s)$ - Phương trình hàm truyền của mạch phản hồi.

$$W_{ph}(s) = \frac{3r_3 W_{ct}(s)}{2T_c s \left\{ \frac{r_3 W_{ct}(s)}{T_c s} \left[1 - \frac{W_{ct}(s) T_{*1}}{W_{tl}(s)} \right] \left[1 + \frac{r_4 W_x(s) T_c}{r_3} \right] + 1 \right\}} \quad (III.3.190)$$

Phương trình hàm truyền của hệ thống hở được xác định

$$W_{hh}(s) = W_{ph}(s) \quad (III.3.191)$$

Phương trình hàm truyền của hệ thống kín sẽ có dạng

$$W_{hk}(s) = \frac{r_s}{1 + W_{hh}(s)} \quad (III.3.192)$$

trong đó:

$$r_s = \frac{p_{10}}{2(p_{10} - p_{20})}$$

Trong trường hợp đường ống xả ngắn, có thể bỏ qua sự cản của nó ($r_4 = 0; r_3 = 1$) thì biểu thức (III.3.181) sẽ được chuyển thành

$$W_{hh}(s) = \frac{3 W_{ct}(s)}{2 T_c s \left\{ \frac{W_{tl}(s)}{T_c s} \left[1 - \frac{W_{ct}(s) T_{*1}}{W_{tl}(s)} \right] + 1 \right\}} \quad (III.3.193)$$

Bảng II.3.1

Các thông số chủ yếu của cơ cấu điều chỉnh dòng

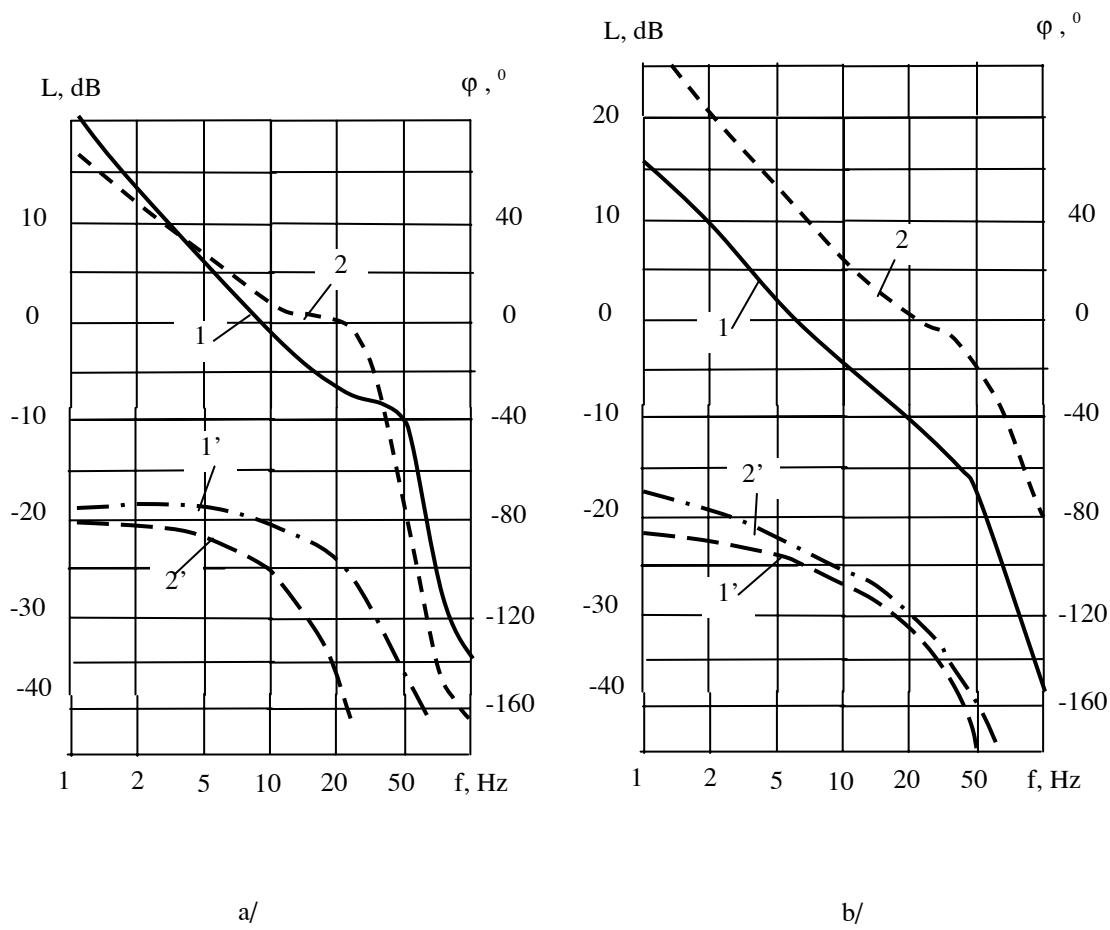
$q_0, \frac{1}{\text{phút}}(s)$	$p_{10}, \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$	h_0, cm	K_{ct}	T_c, s	T_{*1}, s	T_{tl}, s
0,2	300	0,015	26,5	$2 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
	150	0,018	22,2			
2	300	0,03	13,3	$2 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
	150	0,035	11,4			
Ghi chú	$C = 340 \text{ N/cm}; T = 2,42 \cdot 10^{-2} \text{ s}; T_1 = 0,165 \text{ s}$					

Đặt các giá phương trình hàm truyền $W_{tl}(s)$ và $W_{ct}(s)$ của các phần tử, sẽ nhận được phương trình hàm truyền dưới dạng thuận tiện cho việc xây dựng các đặc tính tần số lôga:

$$W_{hh}(s) = \frac{3}{2 T_{*1} s \left[\frac{(T^2 s^2 + T_1 s + 1)(2 T_c T_{tl} s^2 + 2 T_c s + 1)}{2 K_{ct} T_{*1} s (T_{tl} s + 1)} + 1 \right]} \quad (III.3.194)$$

Các thông số chủ yếu của hệ thống hở cơ cấu điều chỉnh dòng theo hình II.3.13 được nêu trên bảng II.3.1. Các đặc tính tần số của hệ thống hở cơ cấu điều chỉnh dòng

được biểu diễn trên hình II.3.16. Đồ thị 1 và 1' trên hình II.3.16a tương ứng với khi không tính đến sự phi tuyến thì miền không nhạy cảm của con trượt sẽ được tạo nên do lực ma sát khô. Các đồ thị 2 và 2' là đặc tính biên độ và đặc tính pha có tính đến miền không nhạy cảm của con trượt $\frac{a}{c_1} = 1,5$ khi $g_1 = 0,4$ và $\varphi = -45^\circ$.



Hình II.3.16. Đặc tính của hệ thống hở.

a - Đặc tính lý thuyết khi $q_0 = 0,2 \frac{1}{\text{phút}}$, $p_{10} = 30 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$.

1, 1' - Biên độ và pha của hệ thống tuyến tính.

2, 2' - Biên độ và pha khi $\frac{a}{c_1} = 1,5$, $(g_1 = 0,4, \varphi = -45^\circ)$.

b - Đặc tính tần số của hệ thống hở cơ cấu điều chỉnh dòng.

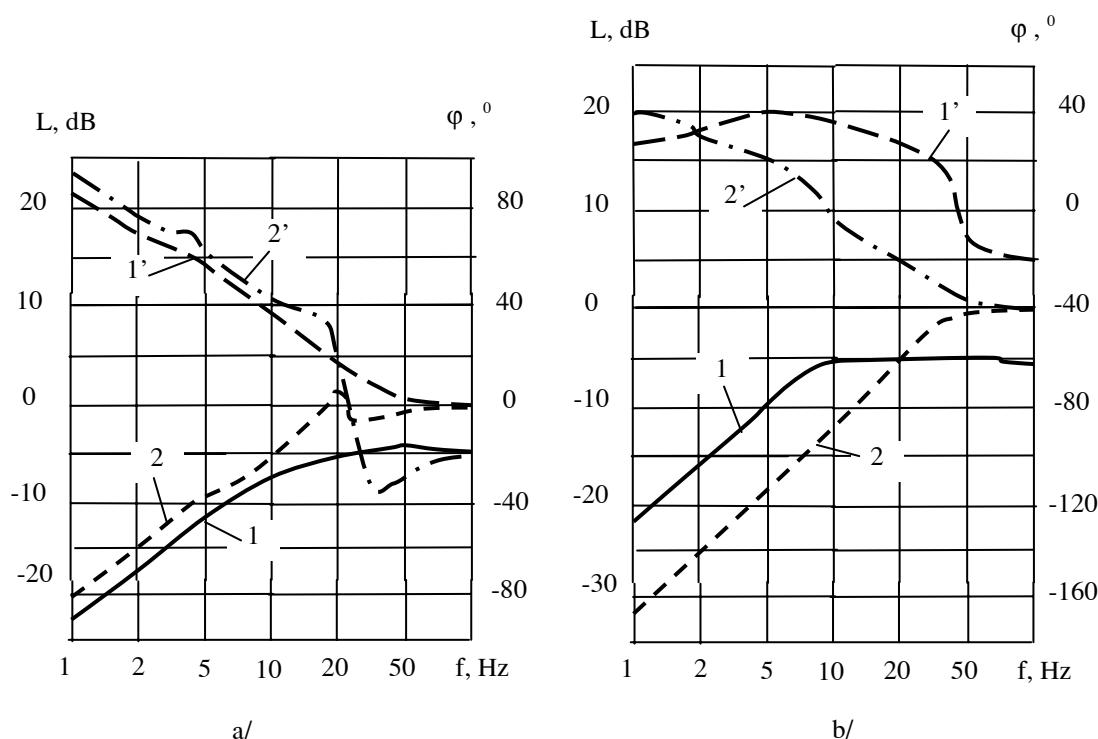
1, 1' - Biên độ và pha khi $q_0 = 0,2 \frac{1}{\text{phút}}$, $p_{10} = 30 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$.

2, 2' - Biên độ và pha khi $q_0 = 2 \frac{1}{\text{phút}}$, $p_{10} = 30 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$.

Phân tích các đặc tính này và đặc tính tương tự đối với các lưu lượng và áp suất khác đã nhận thấy cơ cấu điều chỉnh dòng ổn định trong toàn bộ phạm vi lưu lượng và áp suất.

Ma sát khô tại con trượt sẽ làm giảm dự trữ ổn định của thiết bị và khi lực ma sát lớn sẽ gây nên hiện tượng tự dao động.

Dự trữ ổn định theo pha khi không tính đến miền không nhạy cảm (đồ thị 1 và 1') bằng 90° , còn khi có tính đến miền không nhạy cảm $\frac{a}{c_1} = 1,5$ (đồ thị 2 và 2') bằng 65° .



Hình II.3.17. Đặc tính của hệ thống khép kín.

a - Đặc tính lý thuyết khi $q_0 = 0,2 \frac{1}{\text{phút}}$, $p_{10} = 30 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$.

1, 1' - Biên độ và pha của hệ thống tuyến tính.

2, 2' - Biên độ và pha khi $\frac{a}{c_1} = 1,5$.

b - Đặc tính tần số của hệ thống khép kín cơ cấu điều chỉnh dòng.

1, 1' - Biên độ và pha khi $q_0 = 0,2 \frac{1}{\text{phút}}$, $p_{10} = 30 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$.

2, 2' - Biên độ và pha khi $q_0 = 2 \frac{1}{\text{phút}}$, $p_{10} = 30 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$.

Dự trữ ổn định theo biên độ cũng bị giảm tương ứng. Như vậy lực ma sát trên con trượt sẽ làm giảm độ ổn định của nó trong phạm vi hoạt động.

Các đồ thị trên hình II.3.16b đã chỉ ra khi tăng lưu lượng sẽ làm giảm dự trữ ổn định:

- Dự trữ theo pha giảm 30° .
- Dự trữ theo biên độ giảm 10 dB.

Khi làm tăng lưu lượng sẽ làm tăng tần số giới hạn do đó sẽ tương ứng mở rộng dải thông.

Phân tích đặc tính tần số của hệ thống hở nhận thấy khi thay đổi áp suất p_{10} tại lối vào của cơ cấu điều chỉnh dòng thì ảnh hưởng rất ít đến đặc tính tần số và ảnh hưởng không đáng kể đến điều kiện ổn định của cơ cấu.

Ảnh hưởng chủ yếu lên độ ổn định của cơ cấu là sự giảm chấn (được đặc trưng bởi T_1) và lưu lượng bô xung được nén bởi con trượt khi nó dịch chuyển (được đặc trưng bởi T_{*1}).

Khi lưu lượng nhỏ thì giảm chấn của con trượt sẽ được xác định chủ yếu bởi hằng số thời gian T_{*1} . Khi tăng lưu lượng thì sự ảnh hưởng của hằng số này sẽ giảm xuống, còn hằng số thời gian T_1 sẽ ảnh hưởng chủ yếu đến độ ổn định. Do đó các thông số của lỗ giảm chấn, kéo theo là hằng số thời gian T_1 sẽ được lựa chọn từ điều kiện ổn định của cơ cấu tại lưu lượng lớn nhất.

Phân tích phương trình hàm truyền của hệ thống hở theo biểu thức (II.3.191), sẽ có nhận xét: sự ổn định của hệ thống có liên quan rất phức tạp với hệ số khuếch đại K_{ct} của con trượt vì hệ số khuếch đại K_{ct} là một thừa số trong hằng số thời gian T_{*1} . Do đó khi tăng hệ số khuếch đại K_{ct} thì bên cạnh việc tăng hệ số khuếch đại của hệ thống hở, thì cũng sẽ tăng giảm chấn của hệ thống, đặc biệt tại lưu lượng nhỏ.

Các đặc tính tần số của hệ thống khép kín cơ cấu điều chỉnh dòng được biểu diễn trên hình II.3.17.

Trên hình II.3.17a thì các đồ thị 1 và 1' tương ứng với đặc tính biên độ và đặc tính pha của hệ thống tuyến tính khi không có ma sát khô tại con trượt. Các đồ thị 2 và 2' tương ứng với đặc tính biên độ và đặc tính pha khi có tính đến ma sát khô tại con trượt $\frac{a}{c_1} = 1,5$. Ảnh hưởng của ma sát trên con trượt tác động lên đặc tính tần số của hệ

thống kín được thể hiện là biên độ của sự thay đổi lưu lượng q_1 sẽ được tăng lên khi có sự thay đổi của áp suất p_1 (tương ứng với sự tăng lên của đường đặc tính biên độ). Như vậy khả năng ổn định lưu lượng của cơ cấu điều chỉnh dòng sẽ kém đi. Ngoài ra trên đồ

thị đặc tính biên độ của hệ thống phi tuyến sẽ khác so với hệ thống tuyến tính là sự xuất hiện của đỉnh cộng hưởng tại tần số $f = 22\text{ Hz}$. Tại các tần số thấp hơn tần số cộng hưởng thì có hiện tượng vượt pha cao hơn so với hệ thống tuyến tính, sau đó sẽ giảm xuống rất mạnh và tiến về vị trí "0".

Trên hình II.3.17b nhận thấy: Khi tăng lưu lượng và trong hệ thống tuyến tính sẽ xuất hiện đỉnh cộng hưởng tại tần số $f = 60\text{ Hz}$. Trong toàn bộ phạm vi tần số sẽ có vượt pha và tại tần số dao động cộng hưởng của cơ cấu điều chỉnh dòng thì sự vượt pha này sẽ tiến đến vị trí "0". Nếu lưu lượng càng lớn thì tần số cộng hưởng càng cao.

Tại các tần số cao hơn tần số cộng hưởng thì trên thực tế con trượt sẽ ngừng sự dịch chuyển và hệ thống hoạt động giống như 2 van tiết lưu mắc nối tiếp với nhau.

- Van tiết lưu thứ nhất có sự cản tương ứng với thiết diện thông dòng của con trượt trong cơ cấu điều chỉnh tại chế độ đặt trước khi độ giảm áp là $p_{*0} = p_{10} - p_{20}$.
- Sự cản của van thứ hai phù hợp với độ giảm áp tại van tiết lưu bằng p_{20} .

Do độ giảm áp chủ yếu xảy ra chủ yếu tại thiết diện thông dòng của con trượt, còn áp suất $p_{20} \ll p_{10}$ nên hệ thống hoạt động tại các tần số lớn hơn tần số cộng hưởng giống như hệ thống có van tiết lưu (không có sự điều chỉnh) tại lối ra.

Việc xác định bằng thực nghiệm các đặc tính tần số của hệ thống khép kín của cơ cấu điều chỉnh dòng rất khó khăn vì không tồn tại các cảm biến lưu lượng không quán tính. Do đó chỉ có thể xác định theo áp suất. Đặc tính tần số thực nghiệm được xác định

$$W_m(j\omega) = \frac{P_2(j\omega)}{P_1(j\omega)} \quad (\text{II.3.195})$$

Để xác định phương trình hàm truyền của cơ cấu điều chỉnh dòng theo đặc tính tần số thực nghiệm của cơ cấu thì cần phải tính toán lại hoặc xây dựng đồ thị để sao cho nhận được đặc tính tần số với toạ đối lối ra theo yêu cầu. Để có được điều này thì cần phải tính tỷ số của các toạ độ tương ứng.

Tỷ số này có thể nhận được bằng giải tích theo biểu thức (II.3.189) hoặc bằng phương pháp biến đổi sơ đồ cấu trúc.

Trong trường hợp đường ống xả ngắn ($r_4 = 0, r_3 = 1$) thì tỉ số này có dạng:

$$\frac{W_m(j\omega)}{W_{htk}(j\omega)} = \frac{P_2}{Q_3} = \frac{1}{T_c s \left\{ 1 + \frac{W_t(s)}{T_c s} \left[1 - \frac{W_{ct}(s) T_{*1} s}{W_t(s)} \right] \right\}} \quad (\text{II.3.196})$$

Đặc tính tĩnh chủ yếu của cơ cấu điều chỉnh dòng là mối liên hệ giữa lưu lượng xác định với áp suất (hình II.3.18).

Hệ số khuếch đại hệ thống kín của cơ cấu điều chỉnh dòng sẽ được xác định theo phương pháp thực nghiệm

$$K_{h.k} = \frac{P_{10}}{q_0} \operatorname{tg} \alpha \quad (\text{II.3.197})$$

trong đó:

α - góc nghiêng của đặc tính tĩnh thực nghiệm.

Hệ số khuếch đại hệ thống kín của cơ cấu điều chỉnh dòng theo phương pháp giải tích có thể nhận được từ biểu thức phương trình hàm truyền của hệ thống kín khi toán tử Laplace $s = 0$

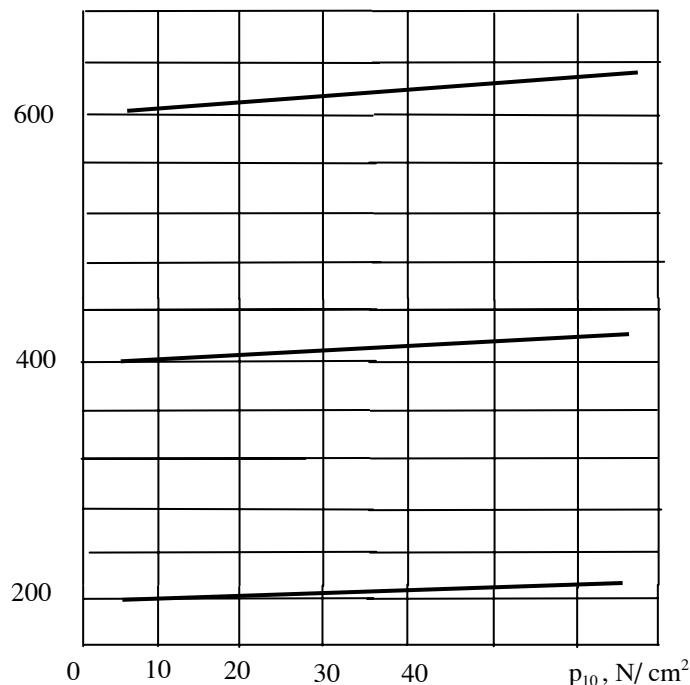
$$K_{h.k} = \frac{r_s}{1 + K_{p.h}} = \frac{r_s}{1 + 3K_{c.t}} \quad (\text{II.3.198})$$

trong đó:

$K_{p.h}$ - hệ số khuếch đại của mạch phản hồi

$$K_{p.k} = 3K_{c.t} \quad (\text{II.3.199})$$

q_0 , $\text{cm}^3/\text{phút}$



Hình II.3.18. Đặc tính tĩnh của cơ cấu điều chỉnh dòng.

Trên hình II.3.18 nhận thấy góc nghiêng α rất nhỏ bởi vì đặc tính tĩnh thực nghiệm rất nhỏ.

Do đó việc xác định hệ số khuếch đại theo đặc tính tĩnh thực nghiệm của hệ thống kín đi đôi với sai số lớn vì cần phải đo lưu lượng rất chính xác.

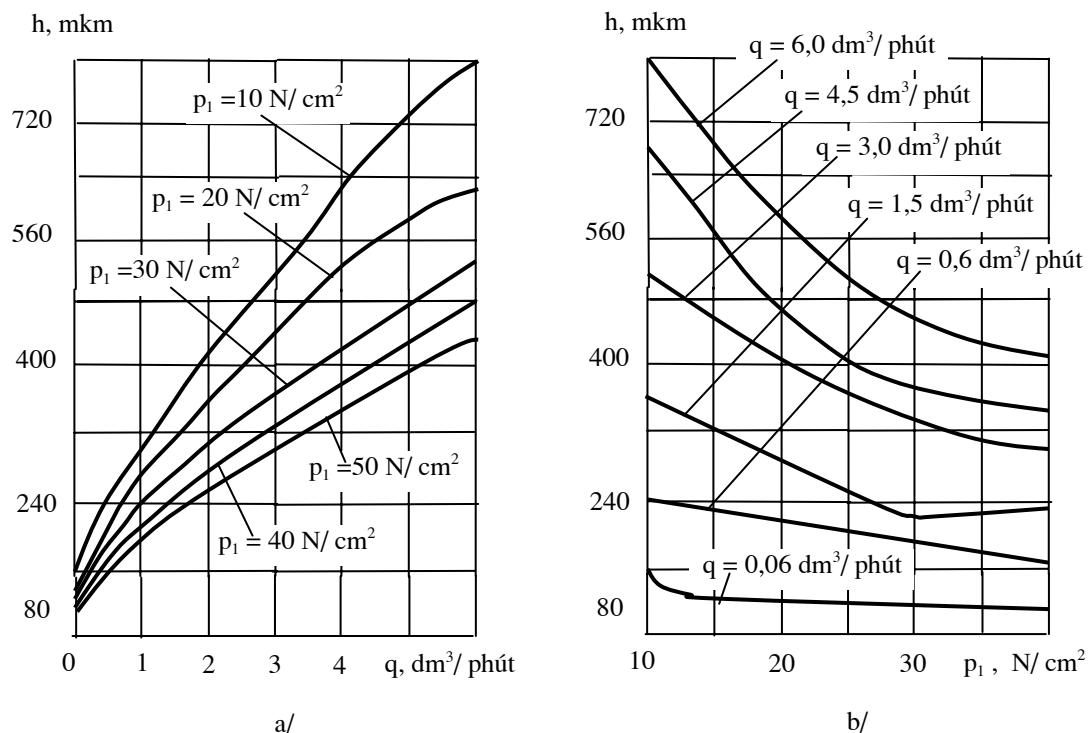
Sẽ thuận tiện hơn khi thực hiện việc xác định thực nghiệm hệ số khuếch đại và các thông số khác tại trạng thái xác định bằng cách huỷ bỏ các đặc tính tĩnh

$$\begin{aligned} h &= f_1(p_{10})_{q_0} = \text{const} , \\ h &= f_2(p_{10})_{q_0} = \text{const} , \\ p_{20} &= f_3(p_{10})_{q_0} = \text{const} \end{aligned} \quad (\text{II.3.200})$$

Các đặc tính này được biểu diễn trên hình II.3.19

Qua đồ thị trên hình II.3.19 nhận thấy:

- Lưu lượng càng lớn thì mối liên hệ giữa độ dịch chuyển của con trượt và áp suất càng mạnh.
- Áp suất càng nhỏ thì mối liên hệ giữa độ dịch chuyển con trượt và áp suất càng mạnh.



Hình II.3.19.

a - Liên hệ giữa độ dịch chuyển h_0 của con trượt và lưu lượng q_0 tại các áp suất p_1 khác nhau tại lối vào.

b - Liên hệ giữa độ dịch chuyển h_0 của con trượt với áp suất p_{10} tại các lưu lượng q_0 khác nhau tại lối vào.

Qua đồ thị có thể xác định giá trị các toạ độ nhất định tại các giá trị khác nhau của lưu lượng và áp suất tại lối vào của cơ cấu điều chỉnh dòng.

Để xác định các thông số $K_{c,t}$, T và T_1 thì cần phải biết độ cứng tổng cộng của con trượt. Độ cứng tổng cộng bằng tổng các độ cứng của lò xo và độ cứng phụ thuộc vào lực thuỷ động lực học. Độ cứng này có thể được xác định theo đặc tính tĩnh thực nghiệm $p_{20} = f(h_0)$ tại lưu lượng xác định q_0 (hình II.3.20).

Áp suất p_{20} phù hợp với tung độ của các đường cong và tỉ lệ thuận với lực tổng cộng tác động lên con trượt

$$p_{20} = \frac{N}{S} \quad (\text{II.3.201})$$

trong đó:

S - diện tích thiết diện ngang của con trượt,

N - lực tổng cộng tác động lên con trượt

$$N = N_{tdl} + N_2 \quad (\text{II.3.202})$$

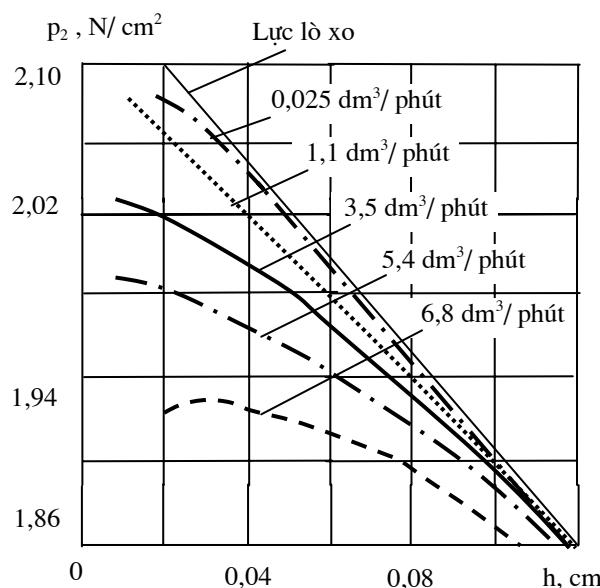
trong đó:

N_{tdl} - phản lực của lực thuỷ động lực học,

N_2 - lực đàn hồi của lò xo.

Lấy đạo hàm biểu thức (II.3.202) theo độ dịch chuyển h của con trượt, sẽ có

$$C_2 = \frac{dN}{dh} - C_1 \quad (\text{II.3.203})$$



Hình II.3.20. Xác định phản lực của lực thuỷ động lực học theo đặc tính tĩnh thực nghiệm.

trong đó:

C_2 - độ cứng phụ thuộc vào lực thủy lực động lực học

$$C_2 = \frac{dN_{tdl}}{dh} \quad (\text{II.3.204})$$

C_1 - độ cứng của lò xo

$$C_1 = -\frac{dN_2}{dh} \quad (\text{II.3.205})$$

Biết rằng $\frac{dN}{dh} < 0$ và $\left| \frac{dN}{dh} \right| \leq C_1$ nên $C_2 > 0$. Như vậy cùng với sự mở thiết diện

thông dòng của con trượt thì phản lực của lực thủy lực động lực học sẽ tăng lên.

PHẦN II. TỰ ĐỘNG KHÍ NÉN
CHƯƠNG III
GIỚI THIỆU CHUNG VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN
BÀI 7
KHÁI NIỆM CHUNG

III.1.1. Các yêu cầu đối với khí.	102
III.1.2. Các quá trình nhiệt động lực học chủ yếu.	
III.1.2.1. Phương trình trạng thái khi số lượng chất khí không đổi (cân bằng).	103
III.1.2.1.1. Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$) .	106
III.1.2.1.2. Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$) .	
III.1.2.1.3. Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$) .	108
III.1.2.1.4. Quá trình đoạn nhiệt (đẳng Entropi).	
III.1.2.1.5. Quá trình đa hướng.	110
III.1.2.2. Quá trình nhiệt động lực học khi số lượng chất khí biến đổi.	111
III.1.3. Những điểm đặc biệt trong chuyển động của chất khí.	114

PHẦN II. TỰ ĐỘNG KHÍ NÉN

CHƯƠNG III

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN

BÀI 7. KHÁI NIỆM CHUNG

Các phương tiện kỹ thuật nhằm giải quyết các vấn đề tự động hóa hiện nay rất đa dạng. Trong lĩnh vực tự động điều khiển đã phát triển khá mạnh mẽ các thiết bị tự động khí nén. Tự động khí nén hiện đại cho phép giải quyết rất hiệu quả phần lớn các vấn đề thực tế điều khiển các quá trình sản xuất.

So với tự động thuỷ lực thì tự động khí nén có các ưu điểm hơn:

- Khả năng xả khí từ điểm bất kỳ của hệ thống khí nén vào môi trường.
- Không tồn tại đường trớ về bình chứa.
- Không nguy hiểm khi rò rỉ không khí.

Nhược điểm của tự động khí nén bao gồm:

- Độ tác động nhanh tương đối thấp.
- Khoảng cách tác động ngắn.

Vận tốc truyền các tín hiệu khí nén được giới hạn bởi vận tốc âm thanh. Khoảng cách tác động của các hệ thống khí nén được giới hạn bởi quãng đường dài vài trăm mét. Khi khoảng cách quá lớn thì cần phải có bộ khuếch đại trung gian.

Trong giai đoạn phát triển ban đầu của tự động khí nén thì cơ cấu điều chỉnh khí nén được xây dựng theo nguyên lý bù trừ các độ dịch chuyển. Sau đó đã chuyển từ nguyên lý bù trừ các độ dịch chuyển sang nguyên lý bù trừ lực, được áp dụng không chỉ với miền áp suất làm việc bình thường ($0,14 \text{ MPa}$) mà cả ở miền làm việc áp suất thấp ($0,002 \text{ MPa}$).

Ngoài ra còn ứng dụng nguyên lý phân tử để xây dựng các hệ thống tự động khí nén. Cũng như ứng dụng hiệu ứng của sự tương tác các dòng phun với tín hiệu âm thanh. Hiện nay tự động thuỷ khí đã được phát triển khá mạnh mẽ và trên cơ sở của tự động khí nén thực tế có thể xây dựng bất kỳ cơ cấu điều khiển tác động liên tục, sơ đồ dạng rôle và cơ cấu điều khiển tác động liên tiếp - ngắt quãng. Điều hạn chế là độ tác động nhanh của hệ thống tự động khí nén còn thấp.

Khí trong hệ thống khí nén là phần tử mang năng lượng và phần tử mang tín hiệu thông tin. Khí sẽ điền đầy các kênh dẫn, các bình chứa của hệ thống, sẽ chảy qua các khe hẹp của cơ cấu tiết lưu và sẽ tác dụng lên các phần tử đàn hồi. Do đó chất lượng khí sẽ là yếu tố chủ yếu đánh giá độ tin cậy hoạt động của hệ thống tự động khí nén.

III.1.1. Các yêu cầu đối với khí

Trong các hệ thống tự động khí nén công nghiệp sẽ chia thành 3 phạm vi của áp suất nguồn cấp:

- Áp suất thấp: $0,0012 \div 0,005 \text{ MPa}$.
- Áp suất trung bình: $0,118 \div 0,175 \text{ MPa}$.
- Áp suất cao: $0,4 \div 0,98 \text{ MPa}$.

Áp suất của phạm vi thấp được dùng để cấp cho các thiết bị tính toán dạng màng. Vì tại áp suất thấp có thể dễ dàng nhận được độ cản khí nén tuyến tính. Điều này cần thiết để xây dựng các thiết bị tính toán trên cơ sở các bộ khuếch đại quan trọng nhất và để làm giảm lưu lượng khí trong trường hợp áp dụng cơ cấu tự động khí nén phun tia. Các thiết được chuyển sang làm việc tại phạm vi áp suất thấp sẽ làm giảm lưu lượng khí 150 lần ở trạng thái chảy tầng, và giảm 10 lần ở trạng thái chảy rối.

Do việc tồn tại các phạm vi áp suất nguồn cấp khác nhau nên trong tự động khí nén sẽ tồn tại các yêu cầu khác nhau đối với các tham số của khí nguồn cấp và đối với các thiết bị chuẩn bị khí.

- Đối với các thiết bị phun tia có thiết diện lỗ tiết lưu tương đối lớn và được cấp từ quạt gió thì khí được cấp đến thiết bị không được lẩn dầu. Việc làm sạch bụi của khí bởi các bộ lọc tinh là không cần thiết. Còn nếu thiết diện lỗ tiết lưu của các phần tử phun tia là nhỏ ($\leq 0,5 \text{ mm}$) thì cần phải có bộ lọc tinh để làm sạch bụi của khí.
- Khí được cấp cho các thiết bị làm việc tại phạm vi áp suất trung bình và áp suất cao sẽ phải chịu sự nén đáng kể. Do đó độ ẩm của khí sẽ tăng lên.

Độ ẩm của khí bao gồm:

- + Độ ẩm tuyệt đối: là khối lượng của hơi nước chứa trong 1m^3 khí.
- + Độ ẩm tương đối φ : là tỉ số giữa khối lượng hơi nước chứa trong 1m^3 khí đối với khối lượng hơi nước lớn nhất có thể trong 1m^3 khí tại cùng điều kiện đó (có cùng nhiệt độ và cùng áp suất)

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{hoi}}}{\rho_{\text{max}}} \quad (\text{III.1.1})$$

Nếu áp suất khí tăng từ $0,098 \text{ MPa}$ đến $0,236 \text{ MPa}$ sau đó làm nguội đến nhiệt độ trước đó thì độ ẩm tuyệt đối của khí sẽ tăng lên 2,4 lần.

- Nếu độ ẩm tương đối tăng lớn hơn 100% thì từ khí sẽ có hiện tượng ngưng tụ. Hơi nước lẩn trong khí sẽ ảnh hưởng có hại đến hoạt động của cơ cấu khí nén. Khi ngưng tụ trên các chi tiết thì hơi nước sẽ gây nên hiện tượng ăn mòn, còn nếu nhiệt độ của các chi

tiết này là âm thì có thể xuất hiện các nút điểm nước bị đông lạnh làm cản trở sự cấp khí và xuất hiện sự đông kết các chi tiết chuyển động. Do đó trong hệ thống chuẩn bị khí được cấp cho các thiết bị làm việc tại phạm vi áp suất trung bình và áp suất cao với nhiệt độ thấp hơn 0°C thì phải có thiết bị sấy khí. Đối với các thiết bị làm việc tại phạm vi áp suất thấp thì không yêu cầu sấy khí vì việc tăng độ ẩm của khí sau khi đã ép nén khí thì không có tác dụng gì.

- Nếu nguồn khí được cấp cho máy nén khí dạng piston thì do piston phải có dầu bôi trơn nên trong khí được cấp đến cơ cấu khí nén sẽ có hơi dầu. Hơi dầu này sẽ ảnh hưởng xấu đến hoạt động của thiết bị khí nén, nếu kéo dài thời gian hoạt động như vậy sẽ làm hỏng thiết bị. Dầu bị lắng lại tại bề mặt bên trong của thiết bị khí nén sẽ không chỉ làm tắc cơ cấu tiết lưu mà còn phá huỷ màng đàn hồi bằng caosu. Do đó để tránh xuất hiện các hơi dầu thì thiết bị cấp khí nguồn cho các thiết bị khí nén sẽ không dùng máy nén khí dạng piston

III.1.2. Các quá trình nhiệt động lực học chủ yếu

Trong các cơ cấu và hệ thống tự động khí nén thì khí nén tuân theo đầy đủ các quy luật chuyển động của chất lỏng. Tuy nhiên giữa trạng thái lỏng và trạng thái khí thì vật chất có những sự khác biệt đáng kể do tính chất nén được của chất khí dưới tác dụng của áp suất bên ngoài. Điều này có ý nghĩa là khối lượng riêng ρ của chất khí sẽ không cố định khi ở nhiệt độ cho trước:

- Nếu tăng áp suất thì khối lượng riêng của khí sẽ tăng lên.
- Nếu giảm áp suất thì khối lượng riêng của khí sẽ giảm đi.

Có sự ảnh hưởng đáng kể của nhiệt độ đến khối lượng riêng của chất khí. Trong điều kiện không tồn tại sự tương tác về nhiệt độ với môi trường xung quanh thì:

- Nếu nén chất khí thì nó sẽ bị nóng lên.
- Nếu làm giảm sự nén (nới rộng thể tích) thì chất khí sẽ bị lạnh đi.

III.1.2.1. Phương trình trạng thái khí số lượng chất khí không đổi (cân bằng)

Mối liên hệ giữa các tham số đặc trưng cho sự ảnh hưởng này được biểu diễn bởi phương trình trạng thái của chất khí

$$f(\rho, p, T) = 0 \quad (\text{III.1.2})$$

trong đó:

- ρ - khối lượng riêng của chất khí, kg/m^3 ,
- p - áp suất tuyệt đối của chất khí, N/m^2 ,

Bảng III.1.1

Giá trị hằng số khí của một số chất khí.

Loại khí	Hidro	Heli	Metan	Hơi nước	Nito	Ôxy	Cacbonic	Không khí
R, kg.K	4124,5	2077,3	518,3	461,5	296,8	259,9	188,9	287,0

T - nhiệt độ Kenvil của chất khí ($T = t + 273$), $^{\circ}\text{K}$,

t - nhiệt độ của chất khí, $^{\circ}\text{C}$,

Trong quá trình phân tích cơ cấu và hệ thống tự động khí nén thì khí nén chịu tác dụng của áp suất dư được coi như là khí lý tưởng. Trong khí lý tưởng thì sẽ không tồn tại lực tương tác giữa các phân tử và bản thân các phân tử là các chất điểm không có thể tích.

Phương trình trạng thái của chất khí lý tưởng được đặc trưng bởi phương trình Klpeiron - Mendeleep

$$pV = m R T \quad (\text{III.1.3})$$

trong đó:

V, m - thể tích và khối lượng của chất khí,

R - hằng số chất khí (bảng III.1.1).

Phương trình trạng thái của chất khí lý tưởng chỉ đúng đối với các hệ thống tự động khí nén có áp suất trong hệ thống $\leq 1\text{ MPa}$.

Nếu áp suất nguồn cấp $\geq 10\text{ MPa}$ thì phương trình trạng thái (III.1.3) của chất khí lý tưởng sẽ có sai số đáng kể. Do đó cần phải khảo sát mô hình chất khí thực. Chất khí thực khác với chất khí lý tưởng là sự tồn tại lực ma sát bên trong. Khi áp suất tăng lên thì khối lượng riêng của chất khí sẽ thay đổi. Khối lượng riêng của chất khí thực càng cao thì chất khí thực sẽ càng khác chất khí lý tưởng.

Phương trình trạng thái của chất khí thực được đặc trưng bởi phương trình Van - der - Valls

$$\left(p + \beta_1 \frac{m^2}{V^2} \right) (V - \alpha m) = m R T \quad (\text{III.1.4})$$

trong đó:

β_1, α - các hệ số hiệu chỉnh.

Khi $\alpha = \beta_1 = 0$ thì phương trình Van - der - Valls (III.1.4) sẽ được chuyển thành phương trình Klpeiron - Mendeleep (III.1.3).

Gọi V_* là đại lượng nghịch đảo của khối lượng riêng ρ , thì biểu thức (III.1.4) sẽ có thể được biểu diễn

$$\left(p + \beta_1 \frac{1}{V_*^2} \right) (V_* - \alpha) = R T ,$$

$$V_* = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} , \quad (\text{III.1.5})$$

$$p = \frac{R T}{V_* - \alpha} - \frac{\beta_1}{V_*^2}$$

Nếu chất khí chịu áp suất $p = 20 \div 300 \text{ MPa}$ tại nhiệt độ $T = (1 \div 3) \cdot 10^3 \text{ K}$ thì hệ số $\beta_1 = 0$ và nhận được phương trình Diupre - Abely

$$p = \frac{R T}{V_* - \alpha} \quad (\text{III.1.6})$$

Trong khi khảo sát các quá trình nhiệt động lực học thường sử dụng các khái niệm:

- Nhiệt dung và nhiệt dung riêng.
- NỘI NĂNG CỦA KHÍ.

Nhiệt dung là số lượng nhiệt cần thiết để làm tăng nhiệt độ của khí lên $1^\circ\text{C}, [\text{J/K}]$.

Nhiệt dung riêng là số lượng nhiệt cần thiết để làm tăng nhiệt độ của 1 kg khí lên $1^\circ\text{C}, [\text{J}/(\text{kg K})]$. Trong đó có:

- Nhiệt dung riêng tại thể tích không đổi C_v .
- Nhiệt dung riêng tại áp suất không đổi C_p .

Tổng thể năng và động năng của các phần tử khí tạo nên năng lượng trong của khí. Phương trình vi phân của định luật nhiệt động lực học thứ nhất được xác định

$$dQ_T = dW + dA \quad (\text{III.1.7})$$

trong đó:

Q_T - nhiệt lượng của một đơn vị khối lượng khí,

W - nội năng của khí,

A - công bên ngoài.

Khi khối lượng khí là $m = 1 \text{ kg}$ thì biểu thức (III.1.7) sẽ có dạng

$$dq = d\omega + dA_* \quad (\text{III.1.8})$$

trong đó:

dq - số gia nhiệt lượng đổi với 1 kg khí (số gia nhiệt lượng riêng),

$d\omega$ - sự thay đổi nội năng của khí đổi với 1 kg khí,

dA_* - sự thay đổi công bên ngoài đổi với 1 kg khí,

III.1.2.1.1. Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$)

Công bên ngoài A được sinh ra khi có sự thay đổi thể tích chất khí. Nếu thể tích chất khí không đổi ($V = \text{const}$) thì $dA_* = 0$. Do đó biểu thức (III.1.8) sẽ được biểu diễn

$$dq_v = d\omega \quad (\text{III.1.9})$$

trong đó:

dq_v - sự thay đổi nhiệt lượng riêng khi thể tích không đổi.

Quá trình nhiệt khi thể tích chất khí không đổi ($V = \text{const}$) được gọi là quá trình đẳng tích. Khi đó năng lượng nhiệt được cung cấp sẽ làm thay đổi năng lượng trong của chất khí.

Đối với chất khí lý tưởng thì nội năng chỉ được đặc trưng bởi động năng của các phân tử và được xác định bởi nhiệt độ của chất khí

$$d\omega = C_v dT = dq_v \quad (\text{III.1.10})$$

Suy ra:

$$C_v = \frac{dq_v}{dT} \quad (\text{III.1.11})$$

Kết hợp các phương trình của quá trình đẳng tích và phương trình Klpeiron - Mendeleev (III.1.3) sẽ nhận được

$$pV_* = RT = \frac{p}{\rho} \quad (\text{III.1.12})$$

Định luật Sarly đối với chất khí trong quá trình đẳng tích

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (\text{III.1.13})$$

III.1.2.1.2. Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$)

Giả thiết có ngoại lực tác dụng lên piston trong một xilanh kín chứa khí (hình III.1.1) sẽ duy trì áp suất không đổi.

Khi đốt nóng thể tích khí trên thì chất khí nở ra sẽ đẩy piston dịch chuyển một đoạn $d x$ tạo nên một công.

Quá trình nhiệt động lực học xảy ra khi áp suất không đổi được gọi là quá trình đẳng áp

$$dq_p = d\omega + dA_{*p} \quad (\text{III.1.14})$$

trong đó:

dq_p - sự thay đổi nhiệt lượng được cấp đến thể tích chất khí chịu áp suất không đổi.

dA_{*p} - sự thay đổi của công bên ngoài khi áp suất không đổi.

$$dA_{*p} = p dV_* \quad (\text{III.1.15})$$

dV_* - sự thay đổi thể tích riêng của chất khí.

Kết hợp (III.1.15) với (III.1.12), sẽ nhận được sự thay đổi của công bên ngoài khi có áp suất khí không đổi

$$dA_{*p} = R dT \quad (\text{III.1.16})$$

Lấy tích phân biểu thức (III.1.16) theo sự thay đổi nhiệt độ T_1, T_2

$$\begin{aligned} A_{*p} &= R \int_{T_1}^{T_2} dT = R(T_2 - T_1), \\ R &= \frac{A_{*p}}{T_2 - T_1} \end{aligned} \quad (\text{III.1.17})$$

Như vậy hằng số chất khí R là công bên ngoài cần để làm nóng 1 kg chất khí lên 1°C khi áp suất của chất khí không đổi.

Định luật Gei - Lusac đối với chất khí trong quá trình đẳng áp được xác định

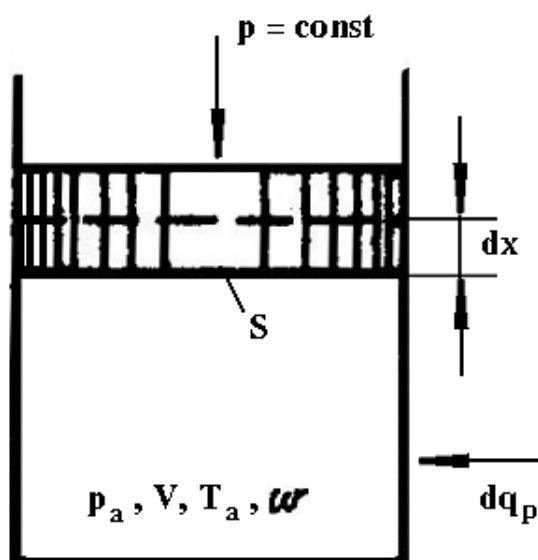
$$\frac{V_*}{T} = \text{const} \quad (\text{III.1.18})$$

Tương tự như biểu thức (III.1.11), sẽ có

$$dq_p = C_p dT \quad (\text{III.1.19})$$

trong đó:

C_p - nhiệt dung riêng của chất khí tại áp suất không đổi.



Hình III.1.1. Quá trình nhiệt động lực học khi số lượng chất khí không đổi.

Kết hợp (III.1.11), (III.1.14) và (III.1.16) sẽ nhận được mối liên hệ giữa nhiệt dung riêng của chất khí tại áp suất không đổi C_p , nhiệt dung riêng của chất khí tại thể tích không đổi C_v và hằng số khí R

$$C_p = C_v + R \quad (\text{III.1.20})$$

III.1.2.1.3. Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)

Quá trình đẳng nhiệt xảy ra trong trường hợp (hình III.1.1) khi nội năng của chất khí lý tưởng không thay đổi ($d\omega = 0$) và nhiệt lượng được cấp cho chất khí sẽ sinh ra công

$$\begin{aligned} dq_T &= dA_* = p dV_* , \\ d\omega &= C_v dT = 0 \end{aligned} \quad (\text{III.1.21})$$

Lấy tích phân đẳng thức thứ nhất trong biểu thức (III.1.21), sẽ nhận được công sinh ra khi có sự thay đổi thể tích riêng của chất khí từ V_{*1} đến V_{*2}

$$A_* = \int_{V_{*1}}^{V_{*2}} p dV_* = R T \int_{V_{*1}}^{V_{*2}} \frac{dV_*}{V_*} = R T \ln \frac{V_{*2}}{V_{*1}} \quad (\text{III.1.22})$$

Định luật Boily - Mariot đối với chất khí trong quá trình đẳng nhiệt được xác định

$$pV_* = \text{const} = \frac{p}{\rho} \quad (\text{III.1.23})$$

III.1.2.1.4. Quá trình đoạn nhiệt (đẳng Entropi)

Quá trình diễn ra sự thay đổi thể tích của chất khí mà không có sự trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh được gọi là quá trình đoạn nhiệt (đẳng Entropi).

Có thể coi rằng các quá trình nhiệt xảy ra rất chậm so với sự trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh nên nhiệt độ không kịp thay đổi đáng kể.

Các quá trình tiệm cận rất nhanh đến đoạn nhiệt sao cho sự trao đổi nhiệt không theo kịp các quá trình đó, còn nhiệt độ của chất khí sẽ thay đổi một cách rõ rệt.

Định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng đối với quá trình đoạn nhiệt sẽ có dạng

$$dA_* = -d\omega \quad (\text{III.1.24})$$

Như vậy công được sinh ra do sự thay đổi nội năng của chất khí sẽ là

$$pV_* = -C_v dT \quad (\text{III.1.25})$$

Dấu $(-)$ cho thấy khi chất khí nở ra và sinh công thì nhiệt độ của khí sẽ giảm xuống. Ngược lại khi ép chất khí thì nhiệt độ của chất khí sẽ tăng lên.

Lấy đạo hàm hai về của biểu thức (III.1.12) với điều kiện trong quá trình đoạn

nhiệt thì áp suất và thể tích riêng là các đại lượng biến đổi ($p = \text{var}$, $V_* = \text{var}$)

$$\frac{dT}{R} = \frac{d(pV_*)}{R} = \frac{pdV_* + V_*dp}{R} \quad (\text{III.1.26})$$

Kết hợp (III.1.25) và (III.1.26) sẽ nhận được

$$(C_V + R)p dV_* + C_V V_* dp = 0 \quad (\text{III.1.27})$$

Kết hợp (III.1.27) và (III.1.20), nhận được đẳng thức vi phân

$$\frac{C_p}{C_V} \frac{dV_*}{V_*} + \frac{dp}{p} = 0 \quad (\text{III.1.28})$$

Suy ra:

$$K \frac{dV_*}{V_*} = -\frac{dp}{p} \quad (\text{III.1.29})$$

trong đó:

K - chỉ số đoạn nhiệt (đẳng Entropi) là hằng số với mỗi loại khí

$$K = \frac{C_p}{C_V} \quad (\text{III.1.30})$$

Lấy tích phân biểu thức (III.1.29), sẽ có

$$K \int_{V_{*1}}^{V_{*2}} \frac{dV_*}{V_*} = K(\ln V_{*2} - \ln V_{*1}) = - \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = -(\ln p_2 - \ln p_1) \quad (\text{III.1.31})$$

Phương trình của quá trình đoạn nhiệt sẽ được biểu diễn

$$\ln \left(\frac{V_{*2}^K p_2}{V_{*1}^K p_1} \right) = 0 \Leftrightarrow p V_*^K = \text{const} \quad (\text{III.1.32})$$

Trong quá trình đoạn nhiệt thì ảnh hưởng của việc nóng lên hoặc lạnh đi của chất khí sẽ làm giảm tỉ số giữa khối lượng riêng ρ và áp suất chất khí so với quá trình đẳng tích

$$\frac{p}{\rho^K} = \text{const} \quad (\text{III.1.33})$$

So sánh các biểu thức (III.1.32) với (III.1.12) tại hai thời điểm T_1 và T_2 trong quá trình đoạn nhiệt, sẽ nhận được

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} = \left(\frac{V_{*1}}{V_{*2}} \right)^{1-K} \quad (\text{III.1.34})$$

Khi đó công bên ngoài được sinh ra

$$A_* = - \int_{T_1}^{T_2} C_V dT = \frac{C_V (p_1 V_{*1} - p_2 V_{*2})}{R} \quad (\text{III.1.35})$$

Bảng III.1.2

Tham số không thứ nguyên của các quá trình nhiệt động lực học.

N ⁰	Tên các quá trình nhiệt động lực học	φ	ψ	n
1	Quá trình đẳng tích	1	±∞	±∞
2	Quá trình đẳng áp	K	$\frac{K}{K-1}$	0
3	Quá trình đẳng nhiệt	∞	1	1
4	Quá trình đoạn nhiệt	0	0	K

Các quá trình nhiệt động lực học được biểu diễn thông qua các tham số không thứ nguyên (bảng III.1.2), trong đó:

φ - tỉ số giữa sự thay đổi của nhiệt lượng riêng dq và nội năng riêng dω của chất khí

$$\varphi = \frac{dq}{d\omega} \quad (\text{III.1.36})$$

ψ - tỉ số giữa sự thay đổi của nhiệt lượng riêng dq và công riêng bên ngoài sinh ra dA* của chất khí

$$\psi = \frac{dq}{dA_*} \quad (\text{III.1.37})$$

III.1.2.1.5. Quá trình đa hướng

Trong thực tế các quá trình giãn nở và co lại của chất khí trong các cơ cấu tự động khí nén xảy ra không thể cô lập đối với môi trường xung quanh. Do đó các tham số không thứ nguyên φ, ψ của các quá trình nhiệt động lực học có thể có các giá trị trung gian.

Quá trình xảy ra khi nhiệt dung riêng không đổi ($dq = CdT$) được gọi là quá trình đa hướng. Các tham số không thứ nguyên φ, ψ của các quá trình nhiệt động lực học có thể bất kỳ, thậm chí có thể là hằng số đối với mỗi trường hợp cụ thể.

Phương trình (III.1.8) lúc này có thể được biểu diễn

$$CdT = C_VdT + p dV_* \quad (\text{III.1.38})$$

trong đó:

C - nhiệt dung riêng của quá trình đa hướng.

Kết hợp các biểu thức (III.1.38), (III.1.26) và (III.1.20) sẽ nhận được

$$n \frac{dV_*}{V_*} = - \frac{dp}{p} \quad (\text{III.1.39})$$

trong đó:

n - chỉ số của quá trình đa hướng

$$n = \frac{C_p - C}{C_v - C} \quad (\text{III.1.40})$$

Suy ra phương trình của quá trình đa hướng sẽ được biểu diễn

$$p V^n = \frac{p}{\rho^n} = \text{const} \quad (\text{III.1.41})$$

Kết hợp các biểu thức (III.1.40) và (III.1.30) sẽ nhận được mối liên hệ

$$n = K - \psi(K - 1) \quad (\text{III.1.42})$$

Chỉ số đa hướng n trong quá trình đoạn nhiệt trùng với chỉ số đoạn nhiệt.

Trong điều kiện thực tế thì giá trị của chỉ số đa hướng n được xác định bằng thực nghiệm. Nó phụ thuộc vào áp suất, vào các tính chất vật lý của chất khí và môi trường xung quanh như cường độ trao đổi nhiệt của chất khí với môi trường.

Tất cả các quá trình nhiệt động lực học nêu trên chỉ đúng đối với các chất khí ở trạng thái cân bằng.

III.1.2.2. Quá trình nhiệt động lực học khi số lượng chất khí biến đổi

Các cơ cấu tự động khí nén hoạt động với khối lượng khí thay đổi (hình III.1.2). Giá trị áp suất p , khối lượng riêng ρ và nhiệt độ T của chất khí sẽ khác nhau tại tất cả các điểm trong thể tích khí tham gia chuyển động.

Do đó các liên hệ nêu trên giữa các tham số không thể áp dụng đối với tất cả chất khí chuyển động trong hệ thống. Tuy nhiên có thể áp dụng cho từng phần của ống dòng mà tại tất cả các điểm của nó có thể coi sự phân bố các tham số của chất khí là như nhau.

Khi đó các liên hệ nhận được sẽ thỏa mãn quy ước về thể tích bị cô lập, trọng lượng chất khí trong thể tích đó sẽ không thay đổi trong quá trình chuyển động. Chọn thể tích khí đủ nhỏ để sao cho các tham số của chất khí tại điểm đã cho đảm bảo phân bố đều.

Trong trường hợp số lượng chất khí thay đổi thì các quá trình nhiệt động lực học sẽ phụ thuộc vào thời gian thì phương trình bảo toàn năng lượng (III.1.42) sẽ được chuyển thành

$$dQ_T + q dm_0 = dW + dA + q_R dm_R \quad (\text{III.1.43})$$

trong đó:

dQ_T - số lượng nhiệt năng được cấp đến toàn bộ thể tích khí trong khoảng thời gian dt , q_0, q_R - nhiệt lượng riêng của chất khí được cấp vào và thoát ra khỏi thể tích khí đã cho, dm_0, dm_R - khối lượng khí tương ứng được cấp vào và thoát ra khỏi thể tích khí đã cho, dW - sự thay đổi nội năng của m kg chất khí tại thời điểm đã cho trong thể tích này,

dA - sự thay đổi công bên ngoài được tạo nên bởi $m \text{ kg}$ chất khí trong thể tích đã cho.

Suy ra:

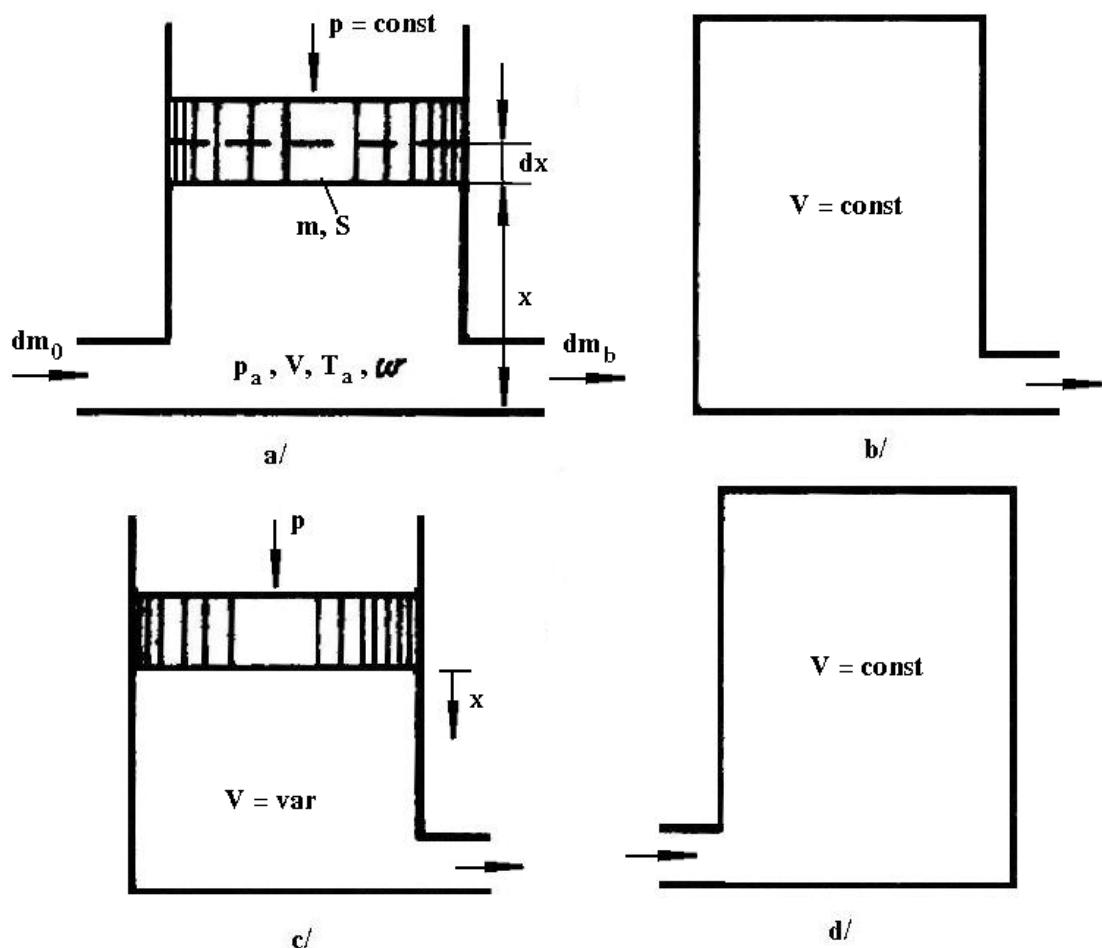
$$dq = d\omega + dA_* = dq + (i_0 - K\omega) \frac{dm_0}{m} \quad (\text{III.1.44})$$

trong đó:

dA_* - sự thay đổi công bên ngoài của chất khí sau thời gian dt ,

$d\omega$ - sự thay đổi nội năng riêng của chất khí sau thời gian dt ,

dq - sự thay đổi nhiệt năng của chất khí khi số lượng chất khí không đổi,



Hình III.1.2. Quá trình nhiệt động lực học khi số lượng chất khí biến đổi.

- a. Chất khí đồng thời được cấp vào và thoát ra.
- b. Chất khí chỉ thoát ra ($M_0 = 0$) với $V = \text{const}$.
- c. Chất khí chỉ thoát ra với $V = \text{var}$.
- d. Chất khí được cấp vào ($M_R = 0$) với $V = \text{const}$.

i_0 - nhiệt hàm riêng (Entanpi) của chất khí được cấp vào.

$$\begin{aligned} i &= \omega + p V_* , \\ di &= d\omega + d(p V_*) \end{aligned} \quad (\text{III.1.45})$$

Tham số không thứ nguyên ψ' trong các quá trình nhiệt động lực học khi số lượng chất khí thay đổi được xác định

$$\psi' = \frac{dq'}{dA_*} = \frac{dq'}{p dV_*} = \frac{\frac{dQ_T}{dt} + (i_0 - K\omega) M_0}{\frac{dA}{dt} - \omega(K-1)(M_0 - M_R)} \quad (\text{III.1.46})$$

trong đó:

M_0, M_R - lưu lượng khói của chất khí được cấp vào và thoát ra khỏi thể tích khí đã cho

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{dm_0}{dt}, \\ M_R &= \frac{dm_R}{dt} \end{aligned} \quad (\text{III.1.47})$$

dQ_T - số lượng nhiệt năng được cấp đến thể tích khí trong khoảng thời gian dt ,

$$dQ_T = m dq \quad (\text{III.1.48})$$

dA - sự thay đổi của công bên ngoài

$$dA = p S dx \quad (\text{III.1.49})$$

S - diện tích hiệu dụng của piston

$$S = \frac{V_* m}{x} \quad (\text{III.1.50})$$

dV_* - sự thay đổi thể tích riêng của chất khí

$$dV_* = \frac{S dx}{m} - V_* \frac{dm}{m} \quad (\text{III.1.51})$$

dm - sự thay đổi khối lượng chất khí trong khoang chứa

$$dm = dm_0 - dm_R \quad (\text{III.1.52})$$

Trên hình III.1.2b khi chất khí chỉ thoát ra từ thể tích chứa ($M_0 = 0$) với thể tích không đổi ($dA = 0 \Leftrightarrow V = \text{const}$) mà không có sự trao đổi nhiệt với môi trường bên ngoài ($dQ_T = 0$) thì tham số ψ' có giá trị $\psi' = 0$. Chỉ số đa hướng sẽ là $n = K$ tương ứng với quá trình đoạn nhiệt.

Trong trường hợp như hình III.1.2c khi tháo hết thể tích chứa ($M_0 = 0$) với thể tích thay đổi ($V = \text{var}$) nên công bên ngoài sinh ra cũng thay đổi ($dA \neq 0$) mà không có sự trao đổi nhiệt với môi trường bên ngoài ($dQ_T = 0$) thì cũng sẽ xảy ra quá trình đoạn nhiệt ($\psi' = 0, n = K$).

Theo hình III.1.2d thì nếu thể tích chúa không đổi ($dA = 0 \Leftrightarrow V = \text{const}$) chỉ được cấp khí vào ($M_R = 0$) mà không có sự trao đổi nhiệt với môi trường bên ngoài ($dQ_T = 0$) thì sẽ xảy ra quá trình khác hẳn so với quá trình đoạn nhiệt. Khi đó tham số ψ' được xác định

$$\psi' = \frac{i_0 - K\omega}{\omega(K-1)} \neq 0 \quad (\text{III.1.53})$$

III.1.3. Những điểm đặc biệt trong chuyển động của chất khí

Các biểu thức liên hệ đối với các quá trình nhiệt động lực học được xem xét trong các mối tương quan khi khối lượng riêng của chất khí lý tưởng thay đổi với điều kiện:

- Có sự thay đổi nhiệt độ khi áp suất cố định.
- Cả áp suất và nhiệt độ đồng thời thay đổi.

Chất khí thực khác chất khí lý tưởng vì tồn tại lực ma sát khi có sự dịch chuyển tương đối giữa các lớp chất khí. Nói cách khác là tồn tại độ nhớt. Nó là nguyên nhân gây nên tổn thất dọc đường và tổn thất cục bộ. Nếu áp suất nguồn cấp càng lớn (khối lượng riêng của chất khí càng lớn) thì sự khác nhau giữa chất khí thực và chất khí lý tưởng càng lớn. Còn trong trường hợp áp suất chất khí rất cao thì phải sử dụng các biểu thức (III.1.4) ÷ (III.1.6) biểu diễn trạng thái của chất khí thực.

Độ nhớt của không khí và các chất khí khác sẽ tăng khi có sự tăng nhiệt độ theo biểu thức

$$\mu = \mu_0 \sqrt[4]{\left(\frac{T - 273}{273} \right)^3} \quad (\text{III.1.53})$$

trong đó:

μ, μ_0 - hệ số nhớt động lực học của không khí tại nhiệt độ $T^0\text{K}$ và 273^0K .

Hệ số nhớt động lực học của không khí phụ thuộc vào áp suất và nhiệt độ được biểu diễn theo bảng III.1.3.

Khi nhiệt độ tăng thì hệ số nhớt động lực học của chất khí sẽ tăng. Sự thay đổi của nhiệt độ ảnh hưởng đến hệ số nhớt động học v nhiều hơn so với hệ số nhớt động lực học μ .

Phương trình liên tục đối với chất khí được xác định

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2 \quad (\text{III.1.54})$$

Trong trường hợp áp suất và nhiệt độ tại các thiết diện là không đổi ($\rho_1 = \text{const}, \rho_2 = \text{const}$) thì vận tốc trung bình của dòng khí sẽ tỉ lệ nghịch với các thiết

Bảng III.1.3

Sự phụ thuộc của hệ số nhót động lực học vào áp suất và nhiệt độ.

Áp suất p, MPa	Hệ số nhót động lực học $\mu \cdot 10^{-7}$ Pa.s tại nhiệt độ t °C						
	0	14	16	25	50	90	100
0,1	171,0	178,6	179,5	183,7	195,5	213,5	218,0
2,0	-	181,6	182,5	-	198,0	217,0	-
5,0	181,5	187,5	188,5	192,2	203,2	220,0	224,0
10,0	197,0	201,8	202,5	206,0	215,0	229,8	233,5

diện tương ứng.

Trong trường hợp khi có tính đến sự thay đổi của khối lượng riêng ($\rho = \text{var}$) thì phương trình trạng thái có tính đến đặc tính của quá trình nhiệt động lực học.

Sẽ khảo sát chuyển động dừng ($\rho = \text{var}$) của dòng chất khí. Giả thiết tồn thắt do ma sát được đặc trưng bởi nhiệt lượng khi không có sự trao đổi nhiệt với môi trường.

Khảo sát chuyển động của dòng chất khí từ một khoang chứa qua tiết lưu sang một khoang chứa khác hoặc ra ngoài không khí (hình III.1.3a).

Hệ số tồn thắt trong quá trình đa hướng được xác định thông qua chỉ số đa hướng và chỉ số đoạn nhiệt

$$\xi = \frac{K-n}{K(n-1)} \quad (\text{III.1.55})$$

Công riêng của lực ma sát được xác định

$$dh_{ms} = \lambda \frac{dx}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{III.1.56})$$

trong đó:

λ - hệ số ma sát dọc đường của chất khí trong đường ống,

x - toạ độ thiết diện đường ống,

D - đường kính ống.

Phương trình Bernoulli dưới dạng vi phân được xác định

$$d\left(\frac{v^2}{2}\right) + \frac{dp}{\rho} + \xi d\left(\frac{v^2}{2}\right) = v dv + \frac{dp}{\rho} + \frac{K-n}{K(n-1)} v dv = 0 \quad (\text{III.1.57})$$

Suy ra:

$$\frac{n(K-1)}{K(n-1)} v dv = - \frac{dp}{\rho} \quad (\text{III.1.58})$$

Tích phân biểu thức (III.1.58) tại các thiết diện (v_0, p_0, ρ_0) và (v, p, ρ) đối với quá trình đa hướng khi

$$\rho = \rho_0 \sqrt[n]{\frac{p}{p_0}} = \rho_0 \sqrt[n]{\sigma} \quad (\text{III.1.59})$$

nhận được biểu thức xác định vận tốc trung bình của dòng chất khí tại thiết diện bất kỳ

$$v = \sqrt{v_0^2 + \frac{2K}{K-1} R T_0 \left(1 - \sqrt[n]{\sigma^{n-1}}\right)} \quad (\text{III.1.60})$$

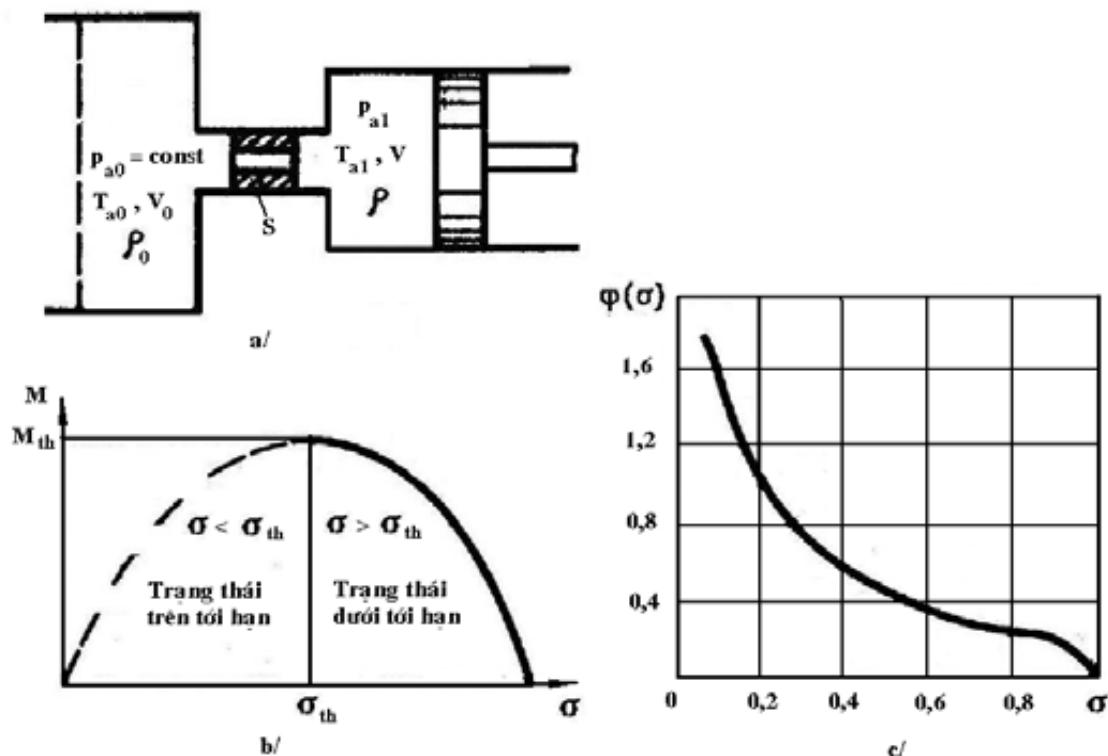
Nếu thể tích bình chứa rất lớn, có thể coi vận tốc chất khí trong bình rất nhỏ ($v_0 \approx 0$) thì biểu thức (III.1.60) sẽ có dạng

$$v = \sqrt{\frac{2K}{K-1} R T_0 \left(1 - \sqrt[n]{\sigma^{n-1}}\right)} \quad (\text{III.1.61})$$

Kết hợp các biểu thức (III.1.3) và (III.1.59), sẽ nhận được

$$\rho = \rho_0 \sqrt[n]{\sigma} = \frac{p_0}{R T_0} \sqrt[n]{\sigma} \quad (\text{III.1.62})$$

Lưu lượng khói của dòng chất khí tại thiết diện bất kỳ sẽ được xác định



Hình III.1.3.

- a. Dòng chất khí chảy từ khoang qua tiết lưu.
- b. Biểu đồ liên hệ giữa lưu lượng khói M và tỉ số áp suất $\sigma = p/p_0$.
- c. Biểu đồ liên hệ giữa $\varphi(\sigma)$ và σ .

$$M = \rho v S = S \rho_0 \sqrt{\frac{2K R T_0}{K-1} \left(\sqrt[n]{\sigma^2} - \sqrt[n]{\sigma^{n+1}} \right)}$$

$$= S p_0 \sqrt{\frac{2K}{(K-1) R T_0} \left(\sqrt[n]{\sigma^2} - \sqrt[n]{\sigma^{n+1}} \right)} \quad (\text{III.1.63})$$

Tuy nhiên trong biểu thức (III.1.63) thì tổn thất do ma sát biểu thị qua chỉ số đa hướng n được xác định bằng thực nghiệm và có giá trị không đổi đối với các điều kiện đã cho của sự chảy. Để thuận tiện hơn thường giả thiết rằng quá trình chuyển động của chất khí là đoạn nhiệt khi $n = K$, còn sai số trong xác định lưu lượng khói của dòng chất khí thực được tính đến bởi hệ số lưu lượng μ_Q . Khi đó biểu thức được chuyên thành công thức Sen - Vanan và Vansel

$$M = \mu_Q S p_0 \sqrt{\frac{2K}{(K-1) R T_0} \left(\sqrt[K]{\sigma^2} - \sqrt[K]{\sigma^{K+1}} \right)} \quad (\text{III.1.64})$$

Hệ số lưu lượng $\mu_Q < 1$ sẽ đặc trưng:

- Tổn thất do ma sát.
- Sự co thắt (mở rộng) của dòng khí khi có sự thay đổi thiết diện đường dẫn.
- Sự trao đổi nhiệt.
- Các yếu tố khác chưa được tính đến.

Cho nên hệ số lưu lượng μ_Q là tỉ số giữa lưu lượng khói thực tế đối với lưu lượng khói lý thuyết của chất khí. Hệ số lưu lượng μ_Q cũng được xác định bằng thực nghiệm nhưng đơn giản hơn rất nhiều so với xác định chỉ số đa biến.

- Lưu lượng khói M của dòng chất khí là hàm của tỉ số áp suất $\sigma = p/p_0$ (hình III.1.3b), tuy nhiên cũng có sự sai khác giữa thực nghiệm và lý thuyết như sau:
- Khi $\sigma = \sigma_{th}$ thì tại lối ra của vòi phun ngắn nên vận tốc chuyển động của chất khí bằng vận tốc của âm thanh. Lưu lượng bằng lưu lượng tới hạn M_{th} , tương ứng với tỉ số áp suất tới hạn σ_{th} .
 - Nếu $\sigma < \sigma_{th}$ thì sẽ xảy ra sự giảm áp suất trong môi trường mà chất khí đi qua. Sự thay đổi này của áp suất sẽ không thể truyền được qua vòi phun vì vòi phun sẽ gây nên dòng chất khí với vận tốc phân bố nhiễu loạn (với vận tốc âm thanh).

Do đó vận tốc dòng chất khí khi có sự giảm áp suất bên ngoài sẽ không thể vượt quá vận tốc âm thanh và lưu lượng sẽ bằng lưu lượng tới hạn luôn không đổi (đường thẳng liền nét trên hình III.1.3b).

- Khi $\sigma = 0$ thì sẽ tương ứng với dòng chất khí trong chân không tuyệt đối (môi trường không có không khí).

-
- Khi $\sigma_{th} < \sigma \leq 1$ thì đồ thị thực nghiệm trùng với tính toán lý thuyết (biểu thức III.1.64).

Như vậy trạng thái chuyển động của chất khí bao gồm:

- Trạng thái trên tới hạn ($\sigma < \sigma_{th}$).
- Trạng thái dưới tới hạn ($\sigma > \sigma_{th}$).

Từ biểu thức (III.1.64) sẽ tính được giá trị tỉ số tới hạn của áp suất

$$\sigma_{th} = \sqrt[K-1]{\left(\frac{2}{K+1}\right)^K} \quad (\text{III.1.65})$$

Lưu lượng khói tại trạng thái trên tới hạn ($\sigma < \sigma_{th}$) là không đổi và được xác định

$$\begin{aligned} M_{th} &= \mu_Q S p_0 \sqrt{\frac{2K}{(K-1)R T_0} \left(\sqrt[K]{\sigma_{th}^2} - \sqrt[K]{\sigma_{th}^{K-1}} \right)} \\ &= \mu_Q S p_0 \frac{B \varphi(\sigma_{th})}{\sqrt{T_0}} \end{aligned} \quad (\text{III.1.66})$$

trong đó:

B - hằng số được xác định

$$B = \sqrt{\frac{2K}{(K-1)R}} \quad (\text{III.1.67})$$

$\varphi(\sigma)$ - hàm số phụ thuộc vào tỉ số áp suất σ (hình III.1.3c)

$$\begin{aligned} \varphi(\sigma) &= \sqrt[K]{\sigma^2} - \sqrt[K]{\sigma^{K-1}}, \\ \varphi(\sigma_{th}) &= \sqrt[K]{\sigma_{th}^2} - \sqrt[K]{\sigma_{th}^{K-1}} \end{aligned} \quad (\text{III.1.68})$$

Lưu lượng khói tại trạng thái dưới tới hạn ($\sigma > \sigma_{th}$) được xác định

$$M = \mu_Q S p_0 \frac{B \varphi(\sigma)}{\sqrt{T_0}} \quad (\text{III.1.69})$$

trong đó:

μ_Q - hệ số lưu lượng được xác định bằng thực nghiệm tại trạng thái dưới tới hạn

$$\mu_Q = \frac{M \sqrt{T_0}}{S p_0 B \varphi(\sigma)} \quad (\text{III.1.70})$$

Trong chuyển động của chất khí cũng có 2 trạng thái chảy tầng và chảy rối như của chất lỏng. Nhưng có khác biệt là sự đột biến đáng kể sẽ xảy ra khi có sự thay đổi vận tốc từ dưới âm (trạng thái chảy dưới tới hạn) sang vận tốc âm thanh (trạng thái chảy trên tới hạn). Trạng thái chảy tầng chỉ xảy ra trong phạm vi của trạng chảy dưới tới hạn,

còn trạng thái chảy rói có thể xảy ra trong phạm vi của trạng thái chảy dưới lí giới tới hạn và trạng thái chảy trên giới hạn.

CHƯƠNG IV
CÁC PHẦN TỬ CỦA HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG KHÍ NÉN
BÀI 8
TIẾT LUU KHÍ NÉN

IV.1.1. Khái niệm chung.	
IV.1.1.1. Tần số áp suất.	119
IV.1.1.2. Phân loại tiết lưu khí nén.	
IV.1.1.2.1. Cấu trúc và chức năng.	120
IV.1.1.2.2. Đặc tính chảy của dòng khí.	
IV.1.1.2.3. Đặc tính lưu lượng.	121
IV.1.2. Tính toán một số loại tiết lưu.	122
IV.1.2.1. Ống tiết chế.	124
IV.1.2.2. Ống mao dẫn.	
IV.1.2.2.1. Ống mao dẫn có thiết diện ống tròn (hoặc tương đương).	128
IV.1.2.2.2. Ống mao dẫn có thiết diện khe hở giữa hai bản phẳng song song.	131
IV.1.2.2.3. Ống mao dẫn có thiết diện giữa ống lót và piston.	133
IV.1.2.3. Tiết lưu dạng hình côn - trụ, hình côn - hình côn và tiết lưu khe hở trụ.	134
IV.1.2.4. Tiết lưu dạng vòi phun - tâm chấn.	135
IV.1.2.5. Tiết lưu dạng đé - bi cầu.	141

CHƯƠNG IV

CÁC PHẦN TỬ CỦA HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG KHÍ NÉN

BÀI 8. TIẾT LƯU KHÍ NÉN

Bất kỳ hệ thống tự động khí nén nào sẽ bao gồm các phần tử cơ bản như: tiết lưu, vòi phun, bình chứa, đường ống dẫn, các phần tử đòn hồi (màng đòn hồi, màng xiphông), các phần tử phân phối và các phần tử điều khiển...

Các phần tử có thể đơn giản, có thể là sự kết hợp tạo thành cụm để thực hiện một chức năng nhất định nào đó. Trong chương này chỉ khảo sát những phần tử đơn giản nhất. Còn các cụm chức năng sẽ khảo sát ở chương tiếp theo.

Tiết lưu khí nén là một trong các phần tử có cấu trúc cơ bản của hệ thống tự động khí nén. Tiết lưu này có nhiệm vụ tạo nên sự cản dòng chảy của khí và tạo nên sự giảm áp suất.

IV.1.1. Khái niệm chung

Để khảo sát cụ thể về tiết lưu khí nén sẽ đưa ra một số khái niệm chung .

IV.1.1.1. Tồn thát áp suất

Trong tiết lưu khí nén bất kỳ thì sự giảm áp suất tổng cộng sẽ bằng tổng sự giảm áp tại từng đoạn dòng chảy riêng biệt. Tồn thát áp suất sẽ được tính bởi hệ số tồn thát

$$\xi = \xi_v + \xi_{ms} + \xi_r \quad (\text{IV.1.1})$$

trong đó:

ξ_v - hệ số tồn thát tại lối vào,

ξ_r - hệ số tồn thát tại lối ra,

ξ_{ms} - hệ số tồn thát do ma sát dọc trực theo rãnh của tiết lưu

$$\xi_{ms} = \lambda \frac{l}{d} \quad (\text{IV.1.2})$$

λ - hệ số ma sát (Xác định bằng thực nghiệm),

l, d - độ dài và đường kính của rãnh dẫn.

Tồn thát áp suất tổng cộng trong tiết lưu sẽ tỉ lệ thuận với bình phương vận tốc

$$\Delta p = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{IV.1.3})$$

trong đó:

v - vận tốc trung bình của dòng khí sau vật cản,

ρ - khối lượng riêng của khí.

Đặc tính quan trọng nhất của tiết lưu khí nén là đặc tính lưu lượng. Đặc tính này biểu diễn mối liên hệ giữa lưu lượng khí đi qua tiết lưu và độ chênh áp suất tại tiết lưu

(hiệu của áp suất phía trước và phía sau tiết lưu).

IV.1.1.2. Phân loại tiết lưu khí nén

Tiết lưu khí nén có thể được phân chia theo các đặc điểm:

- Cấu trúc và chức năng.
- Đặc tính chảy của dòng khí.
- Dạng đặc tính lưu lượng.

IV.1.1.2.1. Cấu trúc và chức năng

Theo chức năng của mình thì tiết lưu được chia thành:

- Tiết lưu không đổi.
- Tiết lưu điều chỉnh được.
- Tiết lưu biến đổi.

Đối với tiết lưu không đổi thì lực cản khí nén sẽ không thay đổi trong quá trình làm việc của tiết lưu.

Lực cản khí nén của tiết lưu điều chỉnh được có thể được thiết lập bất kỳ trong một phạm vi nhất định đáp ứng được cấu trúc và diện tích thiết diện chảy của tiết lưu. Việc điều chỉnh được thực hiện bằng tay.

Đối với tiết lưu biến đổi thì lực cản khí nén sẽ thay đổi trong quá trình hoạt động của tiết lưu.

IV.1.1.2.2. Đặc tính chảy của dòng khí

Theo đặc tính chảy của dòng khí trong các khe dẫn của mình thì tiết lưu được phân chia thành:

- Tiết lưu chảy rói.
- Tiết lưu chảy tầng.

Tiết lưu chảy rói được đặc trưng bởi tỉ số giữa độ dài l với đường kính d của rãnh dẫn thì nhỏ ($l/d \leq 10$) và trạng thái chảy rói của dòng khí trong rãnh của tiết lưu.

Do độ dài của rãnh nhỏ, vận tốc của dòng khí lớn nên dòng khí chảy qua tiết lưu không kịp trao đổi nhiệt với thành rãnh nên quá trình nhiệt trong tiết lưu được coi như quá trình đoạn nhiệt.

Vận tốc dòng khí trong tiết lưu có thể là vận tốc dưới âm hoặc vận tốc âm thanh (tương ứng với chế độ chảy dưới tối hạn và chế độ chảy trên tối hạn). Nếu không có các biện pháp đặc biệt thì vận tốc dòng chảy của khí trong rãnh dẫn và tại thiết diện lối ra của tiết lưu chảy rói sẽ không thể vượt quá vận tốc âm thanh.

Chế độ chảy của dòng khí qua tiết lưu chảy rói sẽ được xác định bởi tỉ số giữa áp

suất lối vào p_1 và áp suất lối ra p_2 của tiết lưu. Tỉ số áp suất mà tại đó xảy ra sự chuyển từ vận tốc dưới âm sang vận tốc âm thanh sẽ được gọi là tỉ số tới hạn $\left(\frac{p_2}{p_1} \right)_{t.h}$.

Độ giảm áp suất cũng như tổn thất chính trong tiết lưu chảy rồi được biểu thị bởi sự nén dòng chảy tại lối vào và sự giãn rộng dòng chảy tại lối ra của tiết lưu. Tổn thất áp suất do ma sát (theo độ dài của tiết lưu) rất nhỏ và thường được bỏ qua.

Trong tiết lưu chảy tầng thì tỉ số giữa độ dài l với đường kính d của rãnh dẫn khá lớn ($l/d \geq 10$). Trong các rãnh dẫn dài và hẹp sẽ hình thành trạng thái chảy tầng của dòng khí. Chế độ chảy trong tiết lưu chảy tầng chỉ có thể là chế độ chảy dưới tối hạn.

Sự xuất hiện chế độ chảy tới hạn chỉ có thể xảy ra khi có vận tốc cao của dòng chảy rồi. Do độ dài của rãnh dẫn trong tiết lưu chảy tầng khá lớn nên khí có thể trao đổi nhiệt với thành của rãnh dẫn. Do đó quá trình nhiệt động học thay đổi trạng thái khí trong tiết lưu sẽ là quá trình đanding nhiệt.

Tổn thất áp suất trong tiết lưu chảy tầng sẽ xảy ra do lực ma sát nhót được phân bố theo chiều dài. Tổn thất cục bộ tại lối vào và tại lối ra của tiết lưu khá nhỏ so với tổn thất dọc đường, cho nên thường được bỏ qua.

IV.1.1.2.3. Đặc tính lưu lượng

Theo đặc tính lưu lượng thì tiết lưu có thể được phân chia thành:

- Tiết lưu tuyến tính.
- Tiết lưu phi tuyến.

Trong các tiết lưu tuyến tính thì lưu lượng khói của khí phụ thuộc tuyến tính vào độ giảm áp suất tại tiết lưu

$$G = \alpha(p_1 - p_2) \quad (\text{IV.1.4})$$

trong đó:

α - độ dẫn của tiết lưu.

Trong các tiết lưu phi tuyến tính thì lưu lượng khói của khí phụ thuộc phi tuyến vào độ giảm áp suất tại tiết lưu

$$G = \beta \sqrt{p_1 - p_2} \quad (\text{IV.1.5})$$

trong đó:

β - hệ số không đổi.

Trong khi tính toán lưu lượng khí đi qua tiết lưu chảy rồi cần thiết phải tính đến tổn thất do sự co thắt dòng chảy tại lối vào và sự giãn rộng dòng chảy tại lối ra của tiết lưu. Tổn thất này được đặc trưng bởi hệ số lưu lượng μ .

Hệ số lưu lượng μ là hàm số của các biến mà các biến này là các tham số hình học của tiết lưu và các tiêu chuẩn đồng dạng. Trong trường hợp tổng quát thì hệ số lưu lượng μ có thể biểu diễn bởi tỉ số giữa lưu lượng thực tế $G_{t,t}$ và lưu lượng lý thuyết G_{lt}

$$\mu = \frac{G_{t,t}}{G_{lt}} \quad (\text{IV.1.6})$$

Trong quá trình nghiên cứu thì hệ số lưu lượng μ có thể được xác định bằng thực nghiệm và cũng có thể được xác định bằng giải tích.

Hệ số lưu lượng μ khi có dòng chảy qua lỗ có thành mỏng sẽ được xác định

$$\mu = \chi \varphi \quad (\text{IV.1.7})$$

trong đó:

χ - hệ số thắt của dòng chảy

$$\chi = \frac{S^*}{S} \quad (\text{IV.1.8})$$

S^* - diện tích thiết diện thắt nhỏ nhất của dòng chảy,

S - diện tích của lỗ,

φ - hệ số vận tốc.

Trong cùng một điều kiện chảy thì hệ số nén đổi với dòng chảy của chất khí không nén được sẽ nhỏ hơn hệ số nén của dòng khí nén được.

Tiết lưu khí nén của các kiểu khác nhau sẽ được phân biệt bởi đặc tính dòng chảy trong rãnh dẫn và lực cản tại lối vào và tại lối ra của tiết lưu. Đổi với mỗi trường hợp cụ thể của dòng chảy và mỗi kiểu tiết lưu thì sẽ có công thức tính toán khác nhau.

IV.1.2. Tính toán một số loại tiết lưu

Tiết lưu khí nén có các loại khác nhau được biểu diễn trên hình IV.1.1.

Đối với tiết lưu không đổi bao gồm ống mao dẫn (a), ống tiết chế (b), tiết lưu khe hở trụ (c).

Đối với tiết lưu điều chỉnh được sẽ có các dạng hình côn - hình côn (d), hình côn - trụ (e), hình cầu - hình côn (i), hình cầu - trụ (k).

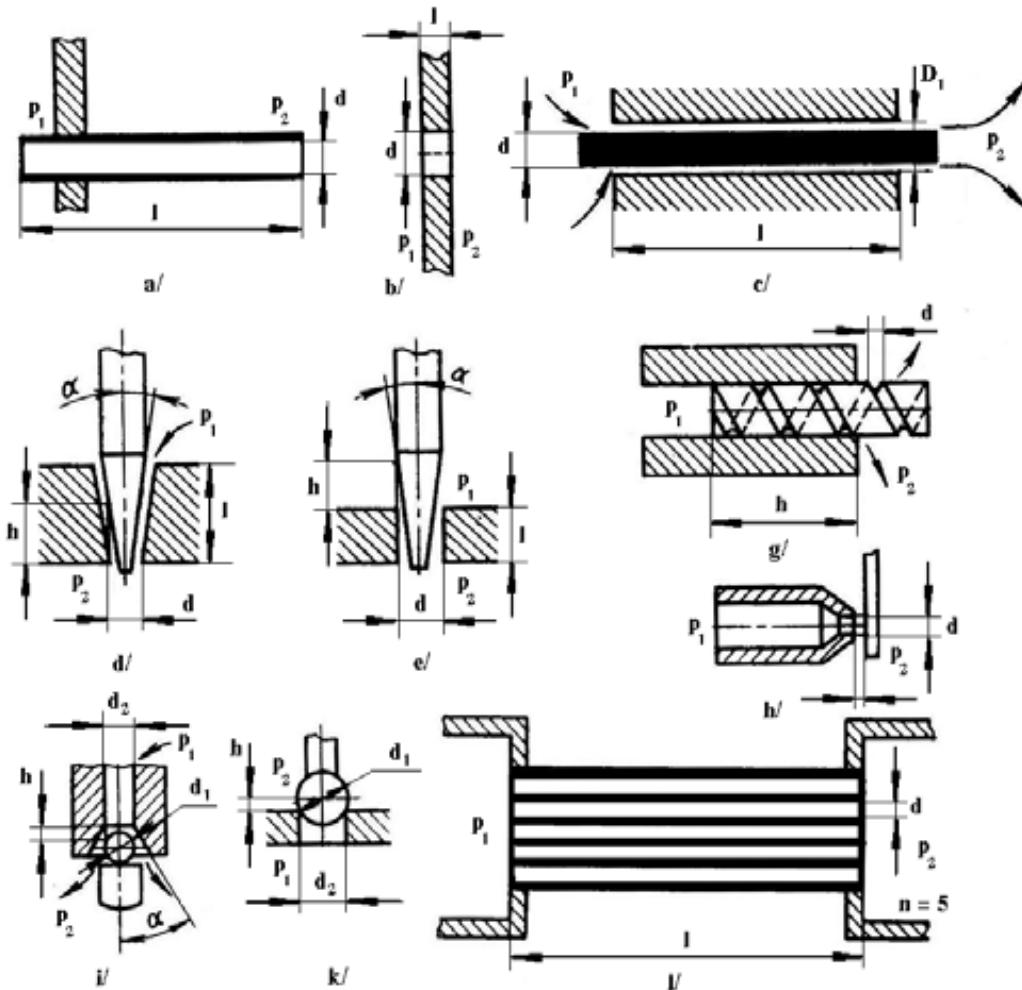
Trong tiết lưu chảy rói sẽ bao gồm các loại như vòi phun - tám chấn, hình côn - trụ (e), hình cầu - hình côn (i), ống tiết chế (b), hình cầu - trụ (k).

Đối với tiết lưu chảy tầng sẽ có các loại như hình côn - hình côn (d), ống mao dẫn (a), tiết lưu có độ dài rãnh thay đổi (g), tiết lưu khe hở trụ (c).

Nếu yêu cầu đảm bảo lưu lượng lớn khi dòng chảy tầng thì sẽ sử dụng tiết lưu dạng lưới (l). Tiết lưu này có cấu tạo từ một số các ống mao dẫn được mắc song song. Lưu lượng qua tiết lưu dạng lưới sẽ bằng tổng các lưu lượng qua từng ống mao dẫn.

Trong cấu tạo của tiết lưu điều chỉnh được sẽ có cần hiệu chỉnh nhằm mục đích thay đổi sức cản bằng các biện pháp (hình IV.1.1g):

- Làm thay đổi diện tích thiết diện chảy trong tiết lưu chảy rói. Lưu lượng tỉ lệ thuận với diện tích thiết diện.
- Làm thay đổi độ dài rãnh dẫn trong tiết lưu chảy tầng. Lưu lượng tỉ lệ bậc bốn với đường kính và tỉ lệ nghịch với độ dài của rãnh.



Hình IV.1.1. Các dạng khác nhau của tiết lưu khí nén.

- a. ống mao dẫn; b. ống tiết chế (jiclo); c. Tiết lưu khe hở trụ;
- d. Tiết lưu hình côn - hình côn; e. Tiết lưu hình côn - trụ;
- g. Tiết lưu có độ dài rãnh thay đổi; h. Tiết lưu hình côn - tám chắn;
- i. Tiết lưu hình cầu - hình côn; k. Tiết lưu hình cầu - trụ; l. Tiết lưu dạng lưới.

Khi xoay cần hiệu chỉnh sẽ làm piston có khoét rãnh dạng lò xo dịch chuyển tương đối so với thân hình trụ của tiết lưu. Do đó sẽ làm thay đổi độ dài công tác của rãnh, có nghĩa là làm thay đổi sức cản.

IV.1.2.1. Ống tiết chế

Ống tiết chế là tiết lưu khí nén có cấu tạo là lỗ hình trụ trên thành mỏng (hình IV.1.1b) sao cho tỉ số giữa độ dài l với đường kính d của lỗ sẽ nhỏ ($l/d \leq 2 \div 3$). Được sử dụng rộng rãi trong hệ thống tự động khí nén như tiết lưu cố định để đường kính d đảm bảo sự giảm áp suất cần thiết.

Trong bộ khuếch đại điều khiển dạng vòi phun - tấm chắn thì đặc tính chảy trong ống tiết chế là chảy rối. Quá trình nhiệt động lực học là quá trình đoán nhiệt bởi vì vận tốc dòng khí rất lớn, còn độ dài l của rãnh dẫn so sánh được với đường kính d của lỗ và sự troa đổi nhiệt giữa khí và thành rãnh dẫn thực tế không xảy ra.

Giả thiết rằng dòng khí chảy qua ống tiết chế là dòng khí chảy từ bình chứa có dung tích lớn qua lỗ thành mỏng. Do đó vận tốc của khí phía trước lỗ có thể bỏ qua ($v_1 \approx 0$). Khi đó phương trình Bernoulli của dòng khí sẽ có dạng

$$\frac{v_2^2}{2} + \frac{k}{k-1} \left(\frac{p_2}{\rho_2} - \frac{p_1}{\rho_1} \right) = -\xi \frac{v_2^2}{2} \quad (\text{IV.1.9})$$

trong đó:

k - chỉ số đoán nhiệt (đối với không khí thì $k = 1,4$)

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

C_p, C_v - nhiệt dung riêng tương ứng khi áp suất không đổi ($p = \text{const}$) và thể tích không đổi ($V = \text{const}$),

v_i, p_i, ρ_i ($i = 1, 2$) - vận tốc, áp suất và khối lượng riêng của khí tại lối vào và lối ra của ống tiết chế,

ξ - hệ số cản cục bộ.

Đối với quá trình đoán nhiệt thì $\rho_1 = \rho_2 \sqrt[k]{p_1/p_2}$ nên biểu thức xác định vận tốc dòng khí tại lối ra của ống tiết chế

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left(\frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2} \right)} = \varphi \sqrt{\frac{2R T_1 k}{k-1} \left[1 - \sqrt[k]{\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{k-1}} \right]} \quad (\text{IV.1.10})$$

trong đó:

φ - hệ số vận tốc

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}}$$

T_1 - nhiệt độ tuyệt đối tại lối vào của ống tiết chế, 0K .

Lưu lượng khói của khí đối với chế độ trước tới hạn sẽ được xác định

$$G = v_2 \rho_2 S = \mu S p_1 \sqrt{\frac{2k}{R T_1 (k-1)} \left[\sqrt[k]{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2} - \sqrt[k]{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{k+1}} \right]}, \quad (IV.1.11)$$

$$p_2/p_1 \geq 0,528$$

Nếu giảm dần áp suất p_2 và giữ nguyên áp suất p_1 thì lưu lượng khói G của khí lúc đầu sẽ bắt đầu tăng, sau khi đã đạt giá trị tới hạn nào đó thì lưu lượng khói G sẽ trở nên không đổi mặc dù áp suất p_2 vẫn giảm. Hiện tượng đã nêu được giải thích rằng giá trị vận tốc tới hạn tương ứng với giá trị áp suất tới hạn $\beta_{t.h} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)_{t.h}$ tại lối ra của ống tiết chế. Vận tốc tới hạn bằng vận tốc âm thanh và là vận tốc lớn nhất tại điều kiện đã cho.

Để nhận được dòng khí có vận tốc lớn hơn vận tốc vận tốc âm thanh thì cần phải sử dụng các vòi phun đặc biệt (vòi phun Laval). Vấn đề này không được khảo sát ở đây.

Chú ý rằng nhiều trong không khí được lan truyền với vận tốc âm thanh. Tuy nhiên tại dòng chảy trên tới hạn thì vận tốc âm thanh của dòng chảy xuất hiện tại vòi phun sẽ không cho phép nhiều từ bên ngoài lọt vào bên trong bình chứa và ở một chừng mực nào đó làm ảnh hưởng đến chế độ của bản thân dòng chảy.

Từ biểu thức (IV.1.11) thì biểu thức liên hệ giữa đại lượng không thứ nguyên của lưu lượng $\left(\frac{G}{G_{t.h}} \right)$ đối với tỉ số áp suất p_2/p_1 khi có sự thay đổi của áp suất p_2 ở phía sau tiết lưu và không đổi của áp suất p_1 sẽ là đường parabol mà nhánh bên trái của nó không tương ứng với bản chất vật lý của hiện tượng. Khi tăng áp suất p_1 ở phía trước tiết lưu sẽ dẫn đến việc làm tăng lưu lượng và sẽ thiết lập vận tốc âm thanh trong tiết lưu. Khi đó vận tốc âm thanh sẽ không cản trở sự xâm nhập của nhiều đến tiết lưu mà từ đó sẽ xảy ra sự thoát ra của không khí.

Công thức đối với sự thoát ra trên tới hạn sẽ nhận được từ biểu thức (IV.1.11) bằng cách đặt giá trị $\beta_{t.h}$. Để xác định $\beta_{t.h}$ thì lấy đạo hàm biểu thức trong ngoặc của công thức (IV.1.11) và cho đạo hàm đó bằng không. Giá trị của hệ số lưu lượng là không đổi ($\mu = \text{const}$). Khi đó

$$\frac{2}{k} \sqrt[k]{\beta^{2-k}} - \frac{k+1}{k} \sqrt[k]{\beta} = 0 \quad (\text{IV.1.12})$$

Suy ra

$$\beta_{t,h} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)_{t,h} = \sqrt[k-1]{\left(\frac{2}{k+1} \right)^k} \quad (\text{IV.1.13})$$

Khi đó lưu lượng khí sẽ đạt giá trị lớn nhất $G_{t,h}$.

Đối với không khí thì $k = 1,4$, $\beta_{t,h} = 0,528$.

Công thức để tính toán sự thoát ra trên tới hạn của khí sẽ nhận được từ biểu thức (IV.1.11) bằng cách thay giá trị $\beta_{t,h}$ vào vị trí của p_2/p_1 và sẽ nhận được

$$G = \mu S p_1 \sqrt{\frac{2k}{R T_1 (k+1)}} \sqrt[k-1]{\left(\frac{2}{k+1} \right)^2}, \quad (\text{IV.1.14})$$

$$p_2/p_1 \leq 0,528$$

Các biểu thức (IV.1.11) và (IV.1.14) được gọi là công thức Sen - Venan Vansel.

Từ biểu thức (IV.1.14) nhận thấy lưu lượng tại sự thoát ra trên tới hạn sẽ phụ thuộc vào áp suất p_1 ở trước tiết lưu và không phụ thuộc vào áp suất p_2 ở sau tiết lưu.

Giá trị của $\beta_{t,h}$ đối với các quá trình khác nhau (đẳng nhiệt, đẳng áp...) là khác nhau. Tương tự sẽ xác định được công thức tính lưu lượng khí đối với các quá trình khác nhau.

Thông thường áp dụng công thức đơn giản để xác định lưu lượng khí đối với sự thoát ra trước tới hạn khi $p_2/p_1 \geq 0,5$

$$G = \mu S p_1 \sqrt{\frac{2}{R T_2} \left[\frac{p_2}{p_1} \left(1 - \frac{p_2}{p_1} \right) \right]} \quad (\text{IV.1.15})$$

Đối với sự thoát ra trên tới hạn khi $p_2/p_1 \leq 0,5$ thì lưu lượng khói được xác định

$$G = \mu S p_1 \sqrt{\frac{1}{2R T_2}} \quad (\text{IV.1.16})$$

Công thức quy dẫn (IV.1.15), (IV.1.16) xác định gần đúng tương đối chính xác các biểu thức (IV.1.11), (IV.1.14). Sai số tương đối lớn nhất khi xác định lưu lượng khói của khí theo công thức gần đúng sẽ không vượt quá 3,4%.

Trong trường hợp khi độ chênh áp suất tại ống tiết chế nhỏ, có thể bỏ qua sự thay đổi của khói lượng riêng thì có thể sử dụng công thức tính lưu lượng cho dòng chảy của chất khí không nén được

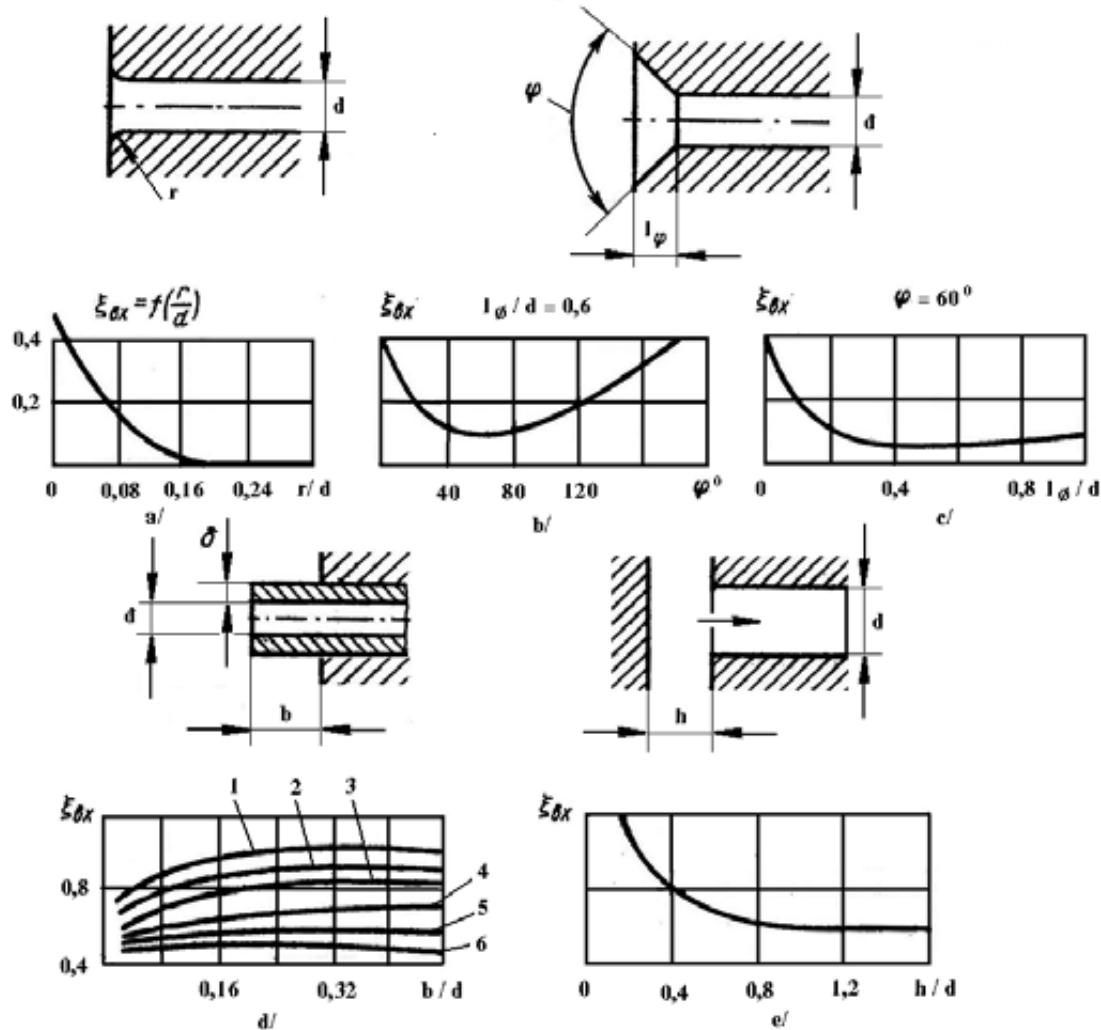
$$G = \mu S \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad (\text{IV.1.17})$$

trong đó:

μ - hệ số lưu lượng của ống tiết chế

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_v}} \quad (\text{IV.1.18})$$

ξ_v - hệ số cản cục bộ tại lối vào phụ thuộc vào điều kiện lối vào của dòng chảy tại ống tiết chế (hình IV.1.2).



Hình IV.1.2. Đồ thị hệ số cản cục bộ phụ thuộc vào điều kiện lối vào.

- Ống tiết chế có cạnh lối vào được mài tròn.
- Ống tiết chế có mép vát và $l_\phi/d = 0,6$.
- Ống tiết chế có mép vát và $\varphi = 60^\circ$.
- Tiết lưu dạng ống có thành dày.
- Ống tiết chế với lối vào bị chấn.
- $\delta/d = 0$; 2. $\delta/d = 0,005$; 3. $\delta/d = 0,01$;
- $\delta/d = 0,019$; 5. $\delta/d = 0,035$; 6. $\delta/d \geq 0,05$.

Khi bán kính mài tròn mép lồi vào tương đối lớn thì hệ số cản cục bộ ξ_v sẽ giảm đến giá trị bằng 0 (hình IV.1.2a). Hệ số cản cục bộ ξ_v có thể thay đổi trong phạm vi khá rộng bằng cách chọn góc φ và độ sâu l_φ của mép vát (hình IV.1.2b, c).

Hệ số cản cục bộ ξ_v của ống tiết chế phụ thuộc vào tỉ số giữa độ dày δ của thành và đường kính trong d , vào tỉ số giữa khoảng cách b từ mặt bích của ống đến thành và đường kính trong d (hình IV.1.2d), vào tỉ số giữa khoảng cách h từ thành chấn đến mặt bích của lỗ và đường kính trong d (hình IV.1.2e).

Đối với lỗ thành mỏng thì hệ số lưu lượng μ có thể được xác định

$$\mu = 0,8\chi \quad (\text{IV.1.19})$$

trong đó:

χ - hệ số thắt dòng.

Hệ số thắt dòng xác định sự giảm lưu lượng do có sự thay đổi biên dạng vận tốc tại lối ra của tiết lưu.

IV.1.2.2. Ống mao dẫn

Tiết lưu khí nén kiểu ống mao dẫn có thể được thực hiện dưới dạng đường ống hoặc kênh dẫn dài có thiết diện cắt hình vuông, hình tròn hoặc hình dạng bất kỳ sao cho tỉ số giữa độ dài và đường kính ống hoặc bánh kính thuỷ lực có giá trị lớn. Dòng chảy của khí trong đường ống của tiết lưu này có trạng thái chảy tầng.

IV.1.2.2.1. Ống mao dẫn có thiết diện ống tròn (hoặc tương đương)

Nếu độ giảm áp tại ống mao dẫn thay đổi đáng kể so với giá trị tuyệt đối của áp suất thì dòng chất khí có thể được coi như dòng chảy của chất lỏng không nén được ($\rho = \text{const}$). Khi đó lưu lượng dòng khí phụ thuộc tuyến tính vào độ giảm áp

$$G = \alpha(p_1 - p_2) \quad (\text{IV.1.20})$$

trong đó:

α - độ dẫn của ống mao dẫn (đại lượng tỉ lệ nghịch với sức cản).

Hệ số cản tronh ống mao dẫn có thể tính gần đúng

$$\xi_{ms} = \frac{\lambda l}{d} \quad (\text{IV.1.21})$$

Theo độ dài của ống mao dẫn trong quá trình khí chuyển động thì biên dạng vận tốc có dạng parabol. Tại đoạn ống xảy ra sự hình thành biên dạng vận tốc thì đoạn ống đó được gọi là đoạn ống bắt đầu. Độ dài l_H của đoạn ống bắt đầu có trạng thái chảy tầng sẽ phụ thuộc vào đường kính của ống mao dẫn và số Reinol

$$l_H = 0,029dRe \quad (\text{IV.1.22})$$

Quá trình chuyển động của dòng khí trong ống mao dẫn có thể coi như đẳng nhiệt ($T = \text{const}$). Coi rằng biên dạng vận tốc hình parabol đã được thiết lập. Khi coi chất khí không nén được ($\rho = \text{const}$) thì biên dạng vận tốc hình parabol là như nhau tại mọi thiết diện dòng chảy. Nếu khói lượng riêng thay đổi ($\rho = \text{var}$) thì biên dạng vận tốc hình parabol sẽ thay đổi tại các thiết diện khác nhau.

Khảo sát chuyển động dừng của chất khí trong ống mao dẫn có thiết diện tròn giữa các mặt cắt A - A và B - B (hình IV.1.3).

Do khí là chất nén được nên khói lượng riêng ρ thay đổi tại các thiết diện khác nhau. Giả thiết chọn phân tố dòng khí hình trụ có độ dài dx , cách thiết diện B - B một khoảng x , khói lượng riêng ρ bên trong phần tử coi như không đổi. Thiết lập biểu thức cân bằng tất cả các lực tác dụng lên phân tố dòng khí hình trụ có độ dài dx , bán kính y :

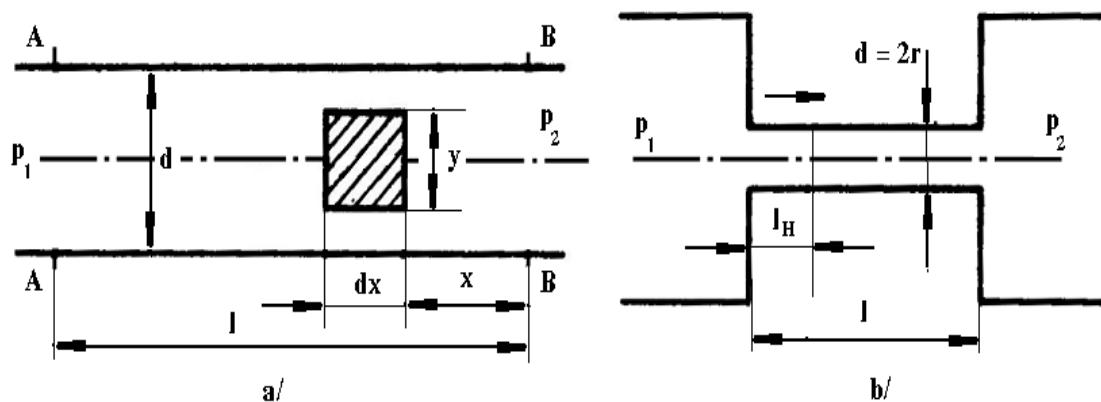
- Áp lực thuỷ động lực học tác dụng lên mặt mút của phân tố hình trụ khi có độ chênh áp suất dp , hướng dọc trực của ống mao dẫn và được xác định là $\pi y^2 dp$.

- Lực ma sát xuất hiện trên mặt bên của phân tố hình trụ khi nó chuyển động được xác định $2\pi y \tau dx$. Ứng suất tiếp tuyến (ứng suất ma sát) τ xuất hiện trong chất lỏng nhớt được xác định theo công thức Niuton

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy} \quad (\text{IV.1.23})$$

trong đó:

μ - hệ số nhớt động lực học, đối với không khí được xác định



Hình IV.1.3. Biểu đồ tính toán dòng khí chuyển động trong ống mao dẫn.

- Phần tử của dòng khí chuyển động.
- Sơ đồ của ống mao dẫn

$$\mu = 1,71 \cdot 10^{-5} + 4,94 \cdot 10^{-8} t^0 C \left[\frac{\text{kg}}{\text{s m}} \right] \quad (\text{IV.1.24})$$

Dấu (-) biểu thị rằng đạo hàm của vận tốc dòng khí theo bán kính là giá trị âm, còn ứng suất ma sát là giá trị dương.

Điều kiện cân bằng lực tác dụng lên phân tử dòng khí hình trụ có dạng

$$dv = -\frac{dp}{dx} \frac{y dy}{2\mu} \quad (\text{IV.1.25})$$

Biết rằng áp suất p không phụ thuộc vào y vì áp suất p không thay đổi trong mỗi thiết diện dòng chảy. Ngoài ra x cũng không phụ thuộc vào y nên tỉ số dp/dx không phụ thuộc vào y . Do đó khi lấy tích phân biểu thức (IV.1.25), sẽ nhận được

$$v = -\frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} \int y dy + C = -\frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dx} y^2 + C \quad (\text{IV.1.26})$$

Tại thành ống thì vận tốc dòng khí bằng không ($v = 0$ khi $y = r$). Nên

$$v = \frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dx} (r^2 - y^2) \quad (\text{IV.1.27})$$

Nếu theo ống mao dẫn là dòng khí không nén được thì biên dạng vận tốc tại mọi thiết diện là không đổi, do đó vận tốc v không phụ thuộc vào x . Có thể tích phân biểu thức (IV.1.27) lần thứ hai, sẽ nhận được

$$v \int_0^r dx = \frac{1}{4\mu} (r^2 - y^2) \int_{p_2}^{p_1} dp$$

Suy ra:

$$v = \frac{(p_1 - p_2)(r^2 - y^2)}{4\mu l} \quad (\text{IV.1.28})$$

Lưu lượng thể tích của dòng khí được xác định

$$Q = 2\pi \int_0^r v y dy = \frac{dp}{dx} \frac{\pi r^4}{8\mu} \quad (\text{IV.1.29})$$

Nếu dòng khí trong ống mao dẫn là không nén được thì biểu thức (IV.1.29) có thể tích phân lần nữa, khi đó

$$Q \int_0^l dx = \frac{\pi r^4}{8\mu} \int_{p_2}^{p_1} dp$$

Suy ra:

$$Q = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2)}{8\mu l} \quad (\text{IV.1.30})$$

Lưu lượng khói của dòng chất khí được xác định

$$G = Q\rho = \frac{dp}{dx} \frac{p\pi r^4}{R T 8\mu} \quad (\text{IV.1.31})$$

Dọc theo độ dài của ống mao dẫn đối với chất khí nén được thì khối lượng riêng ρ sẽ biến đổi. Sau khi tích phân biểu thức (IV.1.31), sẽ nhận được lưu lượng khối của dòng chất khí nén được

$$G = \frac{\pi d^4}{256 R T \mu l} (p_i^2 - p_2^2), \quad (\text{IV.1.32})$$

$$d = 2r$$

Các biểu thức (IV.1.31), (IV.1.32) được gọi là công thức Puazeil đối với chất khí nén được.

IV.1.2.2.2. Ống mao dẫn có thiết diện khe hở giữa hai bản phẳng song song

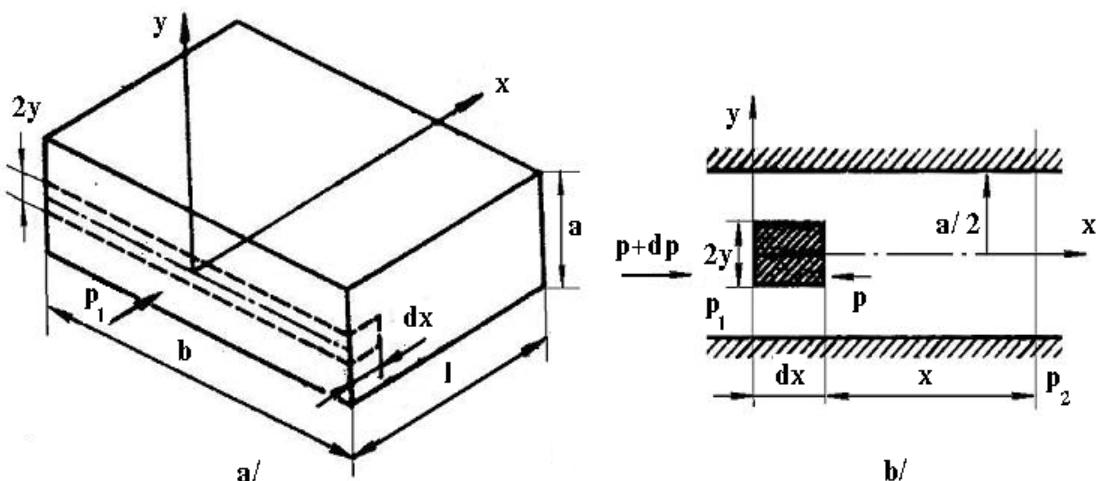
Khảo sát dòng chất khí giữa 2 bản phẳng song song tạo thành khe hở hình chữ nhật (hình IV.1.4) có chiều cao a , chiều rộng b ($b \gg a$), chiều dài l .

Chọn phân tố có độ dài dx , trong phân tố có khối lượng riêng không đổi. Sẽ có các lực tác dụng lên phân tố:

- Áp lực tác dụng từ bên trái $2(p + dp)b y$.
- Áp lực tác dụng từ bên phải $-2p b y$.
- Lực của ứng suất tiếp tuyến $2b \tau dx$.

Điều kiện cân bằng lực tác dụng lên phân tố có dạng

$$-2p b y + 2(p + dp)b y - 2b \tau dx = 0 \quad (\text{IV.1.33})$$



Hình IV.1.4. Sơ đồ tính toán dòng khí qua ống mao dẫn có khe hở giữa 2 bản phẳng song song.

Suy ra:

$$\tau = y \frac{dp}{dx} \quad (\text{IV.1.34})$$

Kết hợp các biểu thức (IV.1.23) và (IV.1.34), sẽ nhận được

$$\frac{dv}{dy} = \frac{y}{\mu} \frac{dp}{dx} \quad (\text{IV.1.35})$$

Biết rằng đạo hàm $\frac{dp}{dx}$ không phụ thuộc vào y , lấy tích phân biểu thức (IV.1.35), sẽ nhận được vận tốc

$$v = -\frac{y^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} + C \quad (\text{IV.1.36})$$

Với điều kiện biên khi $\frac{dp}{dx}$, sẽ xác định được hằng số tích phân C. Khi đó công thức vận tốc có dạng

$$v = \frac{a^2}{8\mu} \frac{dp}{dx} \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right] \quad (\text{IV.1.37})$$

Đối với chất khí không nén được ($\rho = \text{const}$) thì biểu thức (IV.1.37) được tích phân lần thứ hai và nhận được vận tốc tức thời

$$v = \frac{a^2}{8\mu} \frac{p_1 - p_2}{l} \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right] \quad (\text{IV.1.38})$$

Công thức tính lưu lượng thể tích của dòng chất khí nén được ($\rho = \text{const}$) chảy qua khe hở giữa 2 bản phẳng song song

$$Q = 2 \int_0^{a/2} b v dy = \int_0^{a/2} b \frac{a^2 (p_1 - p_2)}{8\mu l} \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right] dy = \frac{a^3 b (p_1 - p_2)}{12\mu l} \quad (\text{IV.1.39})$$

Giả thiết quá trình chuyên động của dòng khí là đẳng nhiệt và khối lượng riêng thoả mãn $\rho = \frac{p}{RT}$ thì lưu lượng khối của dòng khí nén được qua khe hở giữa 2 bản mỏng song song được xác định

$$G = \frac{dp}{dx} \frac{a^3 b p}{12\mu R T} \quad (\text{IV.1.40})$$

Lấy tích phân biểu thức (IV.1.40), sẽ nhận được

$$G = \frac{a^3 b p}{12\mu l R T} (p_1^2 - p_2^2) \quad (\text{IV.1.41})$$

Hệ số động năng α đối với dòng chất khí không nén được sẽ xác định theo

công thức

$$\alpha = \frac{\int \rho v^3 dS}{\rho v_{tb} S} = \frac{6,75}{a} \int_0^{a/2} \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right]^3 dy \quad (\text{IV.1.42})$$

Giá trị của hệ số động năng α đối với ống mao dẫn có thiết diện tròn và ống mao dẫn có dạng khe hở hình chữ nhật không trùng nhau bởi vì trong dòng chất khí chảy qua ống mao dẫn có thiết diện tròn thì sự không đều của trường vận tốc được thể hiện rõ rệt hơn.

IV.1.2.2.3. Ống mao dẫn có thiết diện giữa ống lót và piston

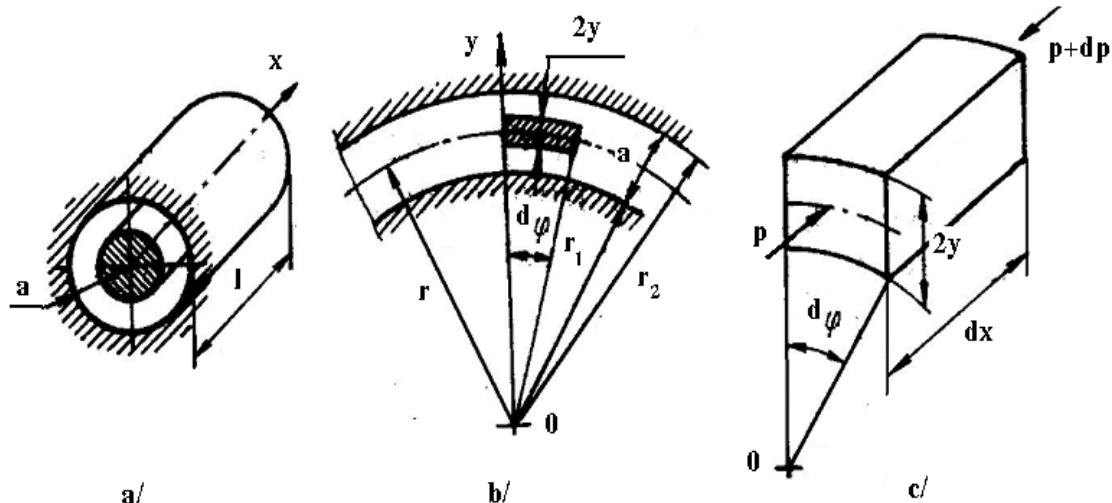
Việc xác định công thức dòng chuyển động của chất khí qua ống mao dẫn có thiết diện giữa ống lót và piston (hình IV.1.5) tương tự như công thức đối với ống mao dẫn có thiết diện khe hở giữa hai bản phẳng mỏng song song với độ rộng là chu vi đường tròn có đường kính $d = 2r$.

Khảo sát phân tố dòng khí (hình IV.1.5) với góc ở tâm là $d\varphi$ và độ dài là dx . Phương trình cân bằng các lực tác dụng lên phân tố dòng khí được xác định

$$-2p y r d\varphi + 2(p + dp) y r d\varphi - \tau(r + y) d\varphi dx - \tau(r - y) d\varphi dx = 0 \quad (\text{IV.1.43})$$

Công thức xác định vận tốc giống như trong trường hợp dòng chất khí chảy qua khe hở giữa 2 bản phẳng song song

$$v = \frac{a^2}{8\mu} \frac{dp}{dx} \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right] \quad (\text{IV.1.44})$$



Hình IV.1.5. Sơ đồ tính toán dòng khí qua ống mao dẫn có thiết diện giữa ống lót và piston.

Lưu lượng thể tích của dòng chất khí không nén được sẽ có dạng

$$Q = \frac{a^3 \pi d(p_1 - p_2)}{12\mu l} \quad (\text{IV.1.45})$$

Lưu lượng khối của dòng khí nén được sẽ có dạng

$$G = \frac{a^3 \pi d}{24\mu l R T} (p_1^2 - p_2^2) \quad (\text{IV.1.46})$$

trong đó:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = r_1 + r_2 \quad (\text{IV.1.47})$$

IV.1.2.3. Tiết lưu hình côn - trụ, hình côn - hình côn và tiết lưu khe hở trụ

Trong các tiết lưu này thì độ giảm áp suất được hình thành do sức cản của khe hở hẹp được tạo thành giữa ống lót và thanh chuyển động hoặc giữa ống lót và kim chuyển động

- Trong tiết lưu khe hở trụ thì khi có sự thay đổi vị trí của thanh trong tiết lưu thì độ dài l của phần công tác sẽ thay đổi.
- Trong tiết lưu hình côn - trụ, hình côn - hình côn thì ngoài việc thay đổi độ dài l của phần công tác còn thay đổi cả giá trị khe hở δ hướng kính.

Các loại tiết lưu này được sử dụng nhằm mục đích:

- Điều chỉnh hệ số khuếch đại của khoang có dòng khí chuyển động.
- Làm thay đổi hằng số thời gian của khoang bị ép chật.
- Làm thay đổi ma sát của mạch phản hồi trong bộ tạo sóng dao động khí nén.

Đặc tính dòng khí chuyển động trong các tiết lưu này có thể là dòng chảy tầng và cũng có thể là dòng chảy rối. Sự chuyển tiếp từ trạng thái chảy tầng sang trạng thái chảy rối xảy ra khi số Reinol (Re) đạt đến giá trị tối hạn của mình.

Lưu lượng của dòng chất khí qua tiết lưu hình côn - trụ có thể được xác định theo các công thức (IV.1.11), (IV.1.14) hoặc (IV.1.15), (IV.1.16) với diện tích tính toán là diện tích thiết diện cắt của tiết lưu được tạo nên bởi mặt phẳng bên của hình côn bị cắt ngắn. Diện tích này được tạo nên khi hạ vuông góc từ mép cắt của hình trụ lên đường sinh của hình côn

$$S = \pi(d - h \sin \alpha \cos \alpha) h \sin \alpha \quad (\text{IV.1.48})$$

trong đó:

α - một nửa góc mở (2α) của hình côn.

h - bước của hình côn.

d - đường kính của hình trụ.

Lưu lượng của dòng chất khí qua tiết lưu khe hở trụ và tiết lưu hình côn - hình côn với góc α rất nhỏ thì có thể được xác định theo công thức (IV.1.46).

Nếu tiết lưu khe hở trụ có độ dài tương đối không lớn thì lưu lượng có thể được xác định theo các công thức (IV.1.11), (IV.1.14) hoặc (IV.1.15), (IV.1.16). Khi đó thiết diện thông dòng là diện tích hình tròn. Các tiết lưu điều chỉnh được nói trên được sử dụng khá rộng rãi. Những nhược điểm của tiết lưu loại này bao gồm:

- Sự cản của tiết lưu phụ thuộc rất mạnh vào sự phân bố tương hỗ giữa trực của thanh đòn hoặc của kim với trực của ống lót.
- Sự biến đổi của sức cản sẽ dẫn đến sự thay đổi lưu lượng dòng khí chuyển động qua tiết lưu.

IV.1.2.4. Tiết lưu dạng vòi phun - tấm chắn

Tiết lưu dạng vòi phun - tấm chắn có cấu tạo đơn giản, được sử dụng rộng rãi trong cơ cấu tự động khí nén (hình IV.1.6a).

Do có sự dịch chuyển tương đối của tấm chắn 2 so với vòi phun 1 nên khe hở không khí sẽ thay đổi, nên sẽ làm thay đổi giá trị của ma sát khí nén. Ma sát tổng cộng trong tiết lưu dạng vòi phun - tấm chắn sẽ bao gồm:

- Ma sát tại lối vào của khe hở.
- Ma sát do sự xoay góc của dòng khí thoát ra từ vòi phun.
- Ma sát của dòng khí tại khe hở được tạo nên bởi tấm chắn và mặt bích của vòi phun.
- Tồn thắt tại lối ra của khe hở.

Việc điều chỉnh có hiệu quả ma sát của tiết lưu dạng vòi phun - tấm chắn chỉ có thể thực hiện được khi khe hở h giữa vòi phun và tấm chắn khá nhỏ (hình IV.1.6b). Thông thường giá trị khe hở h nằm trong giới hạn $0 < h \leq d_v/4$. Khi $h = d_v/4$ thì diện tích của vòi phun sẽ bằng diện tích xung quanh của khe hở trụ $\pi h d_v$.

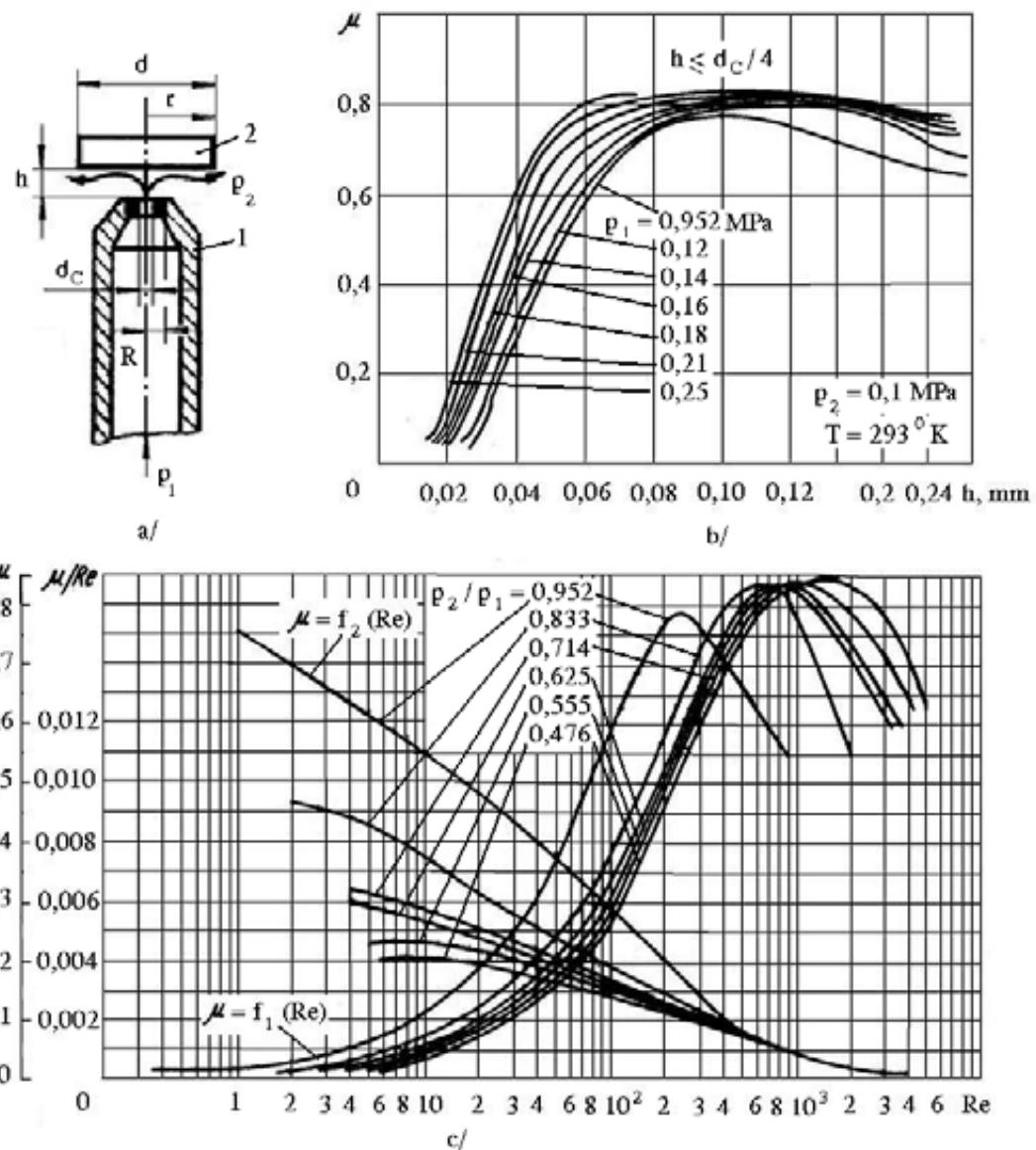
Thực nghiệm đã chứng minh rằng khi tấm chắn cách vòi phun một khoảng $h = (1,4 \div 1,6)d_v/4$ thì cơ cấu hoạt động như một tiết lưu. Sẽ tiến hành xác định đặc tính lưu lượng của tiết lưu dạng vòi phun - tấm chắn.

Phản lực của dòng khí tác dụng lên tấm chắn sẽ có xu hướng giảm đi nếu làm giảm đường kính của vòi phun, làm giảm áp suất nguồn cấp...

Lưu lượng chất khí chuyển động qua tiết lưu dạng vòi phun - tấm chắn tại trạng thái chảy rói có thể được xác định theo công thức (IV.1.11), (IV.1.14) hoặc (IV.1.15), (IV.1.16).

Để xác định đặc tính lưu lượng của tiết lưu dạng vòi phun - tấm chắn cần thiết

phải xác định giá trị của hệ số lưu lượng. Hệ số lưu lượng này được xác định bằng thực nghiệm (hình IV.1.6c). Biết rằng hệ số lưu lượng μ được xác định bằng tỉ số giữa lưu lượng thực tế Q_{tt} và lưu lượng lý thuyết Q_{lt} , hàm số này phụ thuộc cả vào số Reinal Re và tỉ số áp suất p_2/p_1 . Do đó trên đồ thị có cả đường cong bù trợ $\mu/Re = f_1(Re)$ đối với các giá trị khác nhau của tỉ số p_2/p_1 .



Hình IV.1.6. Tiết lưu dạng vòi phun - tâm chấn.

- Sơ đồ của tiết lưu.
- Sự liên hệ của hệ số lưu lượng μ với khoảng cách h giữa vòi phun và tâm chấn.
- Sự liên hệ của hệ số lưu lượng μ và tỉ số μ/Re và số Reinal (Re).

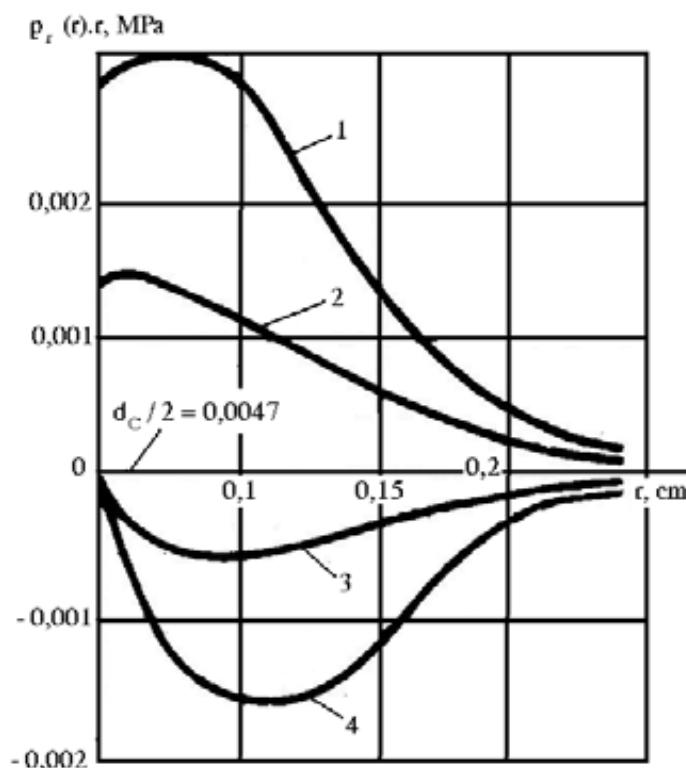
Khi biết giá trị tỉ số theo đường cong bô trợ sẽ tìm được giá trị của số Reinol Re, sau đó xác định giá trị hệ số lưu lượng μ

$$\frac{\mu}{Re} = \frac{\mu_* \sqrt{2R T (k-1)/k}}{p_1 h \sqrt[k]{p_2^2/p_1^2 - \sqrt[k]{p_2^{k+1}/p_1^{k+1}}}} \quad (\text{IV.1.49})$$

Khi $p_2/p_1 \leq 0,528$ thì trong biểu thức (IV.1.49) sẽ nhận tỉ số $p_2/p_1 = 0,528$.

Đồ thị trên hình IV.1.6c chỉ đúng đối với trường hợp khoảng cách giữa tâm chấn và vòi phun $h \leq d_v/4$. Nếu $h > d_v/4$ thì diện tích thiết diện thông dòng của vòi phun sẽ trở nên nhỏ hơn diện tích khe hở công tác.

Để xây dựng đồ thị đã khảo sát các tiết lưu dạng vòi phun - tâm chấn có tỉ số giữa đường kính mặt bích của vòi phun với đường kính vòi phun từ $1,3 \div 6,5$. Khi số Reinol Re nhỏ thì hệ số lưu lượng μ cũng rất nhỏ, trạng thái chuyển động của dòng khí là chảy tầng. Do đó có thể sử dụng công thức đổi với dòng chảy rối mà hệ số lưu lượng đã được tính luôn trong đó.



Hình IV.1.7. Mối liên hệ giữa tích $r p_r(r)$ và r đối với tiết lưu dạng vòi phun - tâm chấn.

1. $h = 0,003 \text{ cm}$; 2. $h = 0,004 \text{ cm}$; 3. $h = 0,005 \text{ cm}$; 4. $h = 0,006 \text{ cm}$;

Trong các thiết bị tự động khí nén thì tấm chắn thường tì lên một phần tử cảm biến có công suất nhỏ. Nếu lực được tạo nên bởi phần tử cảm biến được thông ước với lực tác dụng lên tấm chắn từ phía voi phun thì cần phải tính giá trị của lực này. Giá trị của lực tác dụng lên thiết bị đo có thể làm giới hạn việc chọn các phần tử cảm biến của cơ cấu điều chỉnh khí nén. Giá trị của lực này bao gồm:

$$F_h = F_{h1} + F_{h2} \quad (\text{IV.1.50})$$

trong đó:

F_{h1} - phản lực xuất hiện khi dòng khí đạp vào tấm chắn và loang ra theo bề mặt của tấm chắn khi xoay một góc 90° .

F_{h2} - lực xuất hiện do tác dụng của áp suất tĩnh lên mặt bích của voi phun và lên tấm chắn.

Khi khoảng cách h nhỏ và trong đường tròn bán kính voi phun thì $p_r = p_1$.

Công thức tính phản lực của dòng khí lên tấm chắn được xác định

$$F_h = \frac{G^2}{\pi r_v^2 \rho_v} + \pi r_v^2 (p_1 - p_2) + 2\pi \int_{r_v}^R p_r r dr - \pi p_2 (R^2 - r_v^2) \quad (\text{IV.1.51})$$

trong đó:

G - lưu lượng khối,

r_v - bán kính của voi phun,

ρ_v - khối lượng chất khí tại mặt cắt của voi phun,

R - bán kính mặt bích,

p_r - giá trị tức thời của áp suất giữa mặt bích của voi phun với tấm chắn,

r - bán kính tức thời.

Nếu $h = 0$ thì lưu lượng khối $G = 0$. Khi đó biểu thức phản lực của dòng khí lên tấm chắn sẽ có dạng

$$F_h = \pi r_v^2 (p_1 - p_2) \quad (\text{IV.1.52})$$

Để tính được biểu thức (IV.1.51) thì cần phải tính tích phân ψ' . Tích phân này có thể tính được nhờ đồ thị trên hình IV.1.7.

Diện tích của phần bên dưới đường cong trên đồ thị là giá trị của tích phân. Để kiểm tra kết quả tính theo các biểu thức (IV.1.51), (IV.1.52) người ta dùng thiết bị để xác định lực tác dụng của dòng khí lên tấm chắn (hình IV.1.8).

Cấu tạo của thiết bị bao gồm:

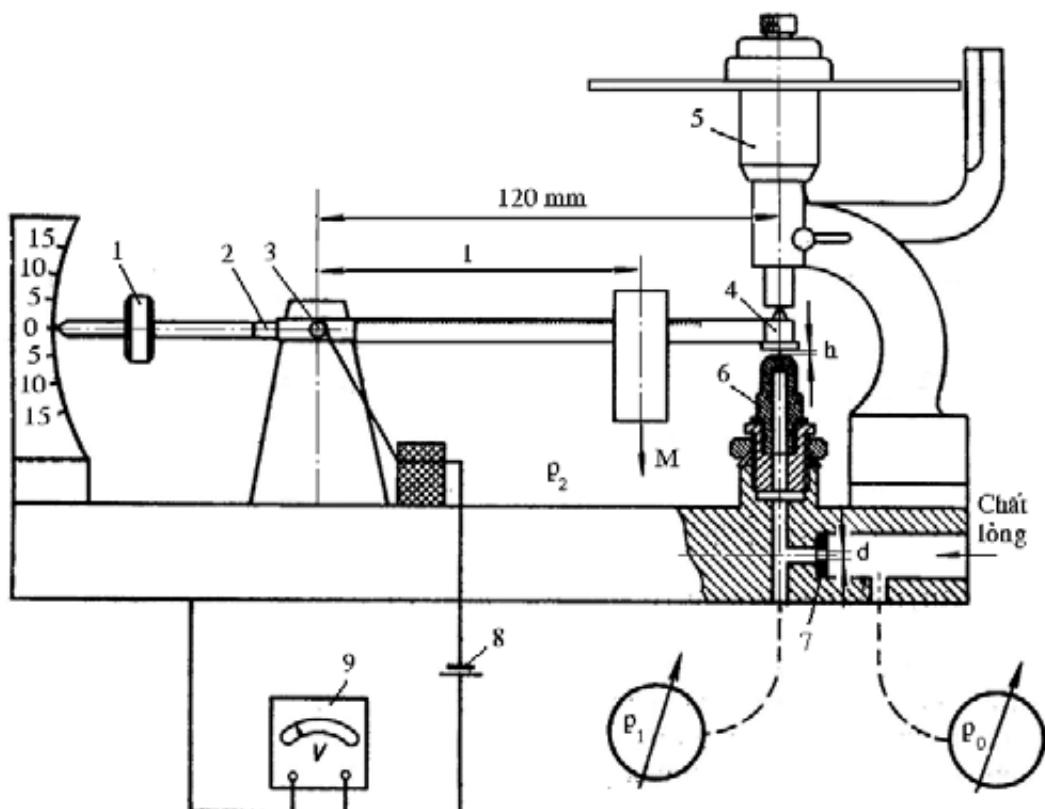
- Tay đòn cân bằng 2 sẽ quay được xung quanh trục xoay 3, được cố định trên trục đỡ.
- Trên một đầu của tay đòn 2 là tấm chắn 4, còn đầu kia là đối trọng 1. Vật M có thể

dịch chuyển dọc theo trục của tay đòn có thang chia để xác định khoảng cách từ khối lượng M đến trực xoay 3. Vật M được dùng làm để làm cân bằng lực F_h được tạo nên bởi dòng chất khí chảy qua vòi phun 6.

- Phía trước vòi phun 6 được đặt tiết lưu cố định 7. Áp suất nguồn cấp p_0 và áp suất p_1 phía trước vòi phun được đo bằng các áp kế.
- Thước đo khoảng cách 5 dùng để đo giá trị khoảng cách h. Giá trị đo đến μm .
- Trong mạch điện có nguồn cấp 8 và vôn kế 9 để ghi lại giá trị tương ứng với mômen tiếp xúc của chốt hình côn với tâm chấn.

Phương pháp đo được thực hiện như sau:

- Đặt tay đòn 2 ở trạng thái nằm ngang bằng cách điều chỉnh vị trí của vòi phun theo độ cao.
- Điều chỉnh một cách cẩn thận tâm chấn có đường kính 8 mm đến mặt bích của vòi



Hình IV.1.8. Sơ đồ thiết bị để xác định lực tác dụng của dòng khí lên tâm chấn.

1. Đổi trọng; 2. Tay đòn cân bằng; 3. Trục xoay; 4. Tâm chấn;
5. Thước đo khoảng cách; 6. Vòi phun; 7. Tiết lưu cố định;
8. Nguồn cấp; 9. Vôn kế.

phun sao cho phải đảm bảo sự vuông góc giữa trực của vòi phun với tâm chấn và độ kín khít khi $h = 0$.

- Kiểm tra độ kín khít tại chỗ tiếp xúc giữa vòi phun và tâm chấn bằng cách nhô đầu vào đó. Nếu khi cấp khí nén vào vòi phun mà không thấy xuất hiện bong bóng khí tại khe tiếp xúc thì sự điều chỉnh được coi là tốt.

Lực F_h được xác định từ điều kiện cân bằng mômen quanh trực xoay 3 theo công thức

$$F_h = \frac{Ml}{120} \quad (\text{IV.1.53})$$

trong đó:

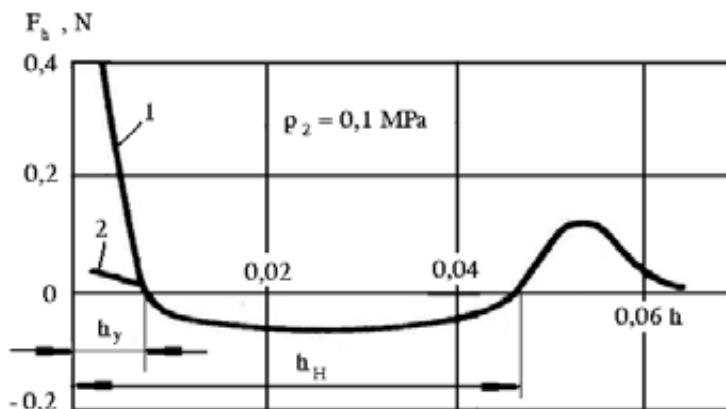
M - trọng lượng của vật, N.

l - khoảng cách từ trực xoay của tay đòn đến vật, mm.

Đặt khoảng cách , dịch chuyển vật và xác định theo 2 phương pháp

- Trong phương pháp thứ nhất thì tiến hành khử sơ bộ các đường cong đã được hiệu chuẩn $p_1 = p_1(h)$ khi $p_0 = \text{const}$ và $p_1 = p_1(p_0)$ khi $h = \text{const}$, khoảng cách h được xác định theo áp suất p_1 .

- Trong phương pháp thứ hai (tiếp xúc điện) thì trong mạch điện bao gồm nguồn cấp 8, vônké 9 và tiếp điểm là tay đòn 2 được cách điện với thân của thiết bị bằng trụ đỡ. Khoảng cách h được đo theo thang của thước đo 5. Mômen tiếp xúc của chốt hình côn với tâm chấn được ghi lại bởi vônké 9.



Hình IV.1.9. Mối liên hệ giữa lực F_h tác dụng lên tâm chấn và khoảng cách h giữa vòi phun và tâm chấn khi áp suất dư $p_1 = 0,05 \text{ MPa}$ và áp suất tuyệt đối $p_2 = 0,1 \text{ MPa}$.

1. $D = 4,45 \text{ mm}; d_v = 1 \text{ mm}$; 2. $D = 1,4 \text{ mm}; d_v = 1 \text{ mm}$.

Nếu đường kính mặt bích của vòi phun khá lớn thì cùng với các lực dương hướng về phía tâm chấn sẽ có các lực âm hướng về phía vòi phun. Đồ thị thực nghiệm của mối liên hệ giữa lực tác dụng lên tâm chấn với khoảng cách giữa vòi phun và tâm chấn được biểu diễn trên hình IV.1.9.

Từ đồ thị trên hình IV.1.9, nhận thấy:

- Khi làm giảm khoảng cách thì lực tăng lên rất nhanh.
- Khi tồn tại mặt bích (đường cong 1) thì lực có thể có hướng bất kỳ.
- Khi mặt bích nhỏ (đường cong 2) thì lực chỉ có giá trị dương.
- Các giá trị và tương ứng với các vị trí ổn định và vị trí không ổn định của tâm chấn.
- Tâm chấn được cân bằng khi luôn luôn được đặt ở vị trí ổn định.
- Khi khe hở khá lớn thì thành phần hướng kính của vận tốc dòng khí sẽ tăng và thể năng của dòng khí tại khu vực giữa vòi phun và tâm chấn sẽ chuyển thành động năng. Áp suất giữa mặt bích của vòi phun và tâm chấn có thể có hướng ngược lại khi mà tác dụng của lực được hướng về phía vòi phun.

IV.1.2.5. Tiết lưu dạng đế - bi cầu

Lưu lượng tại tiết lưu dạng đế - bi cầu sẽ thay đổi do sự thay đổi diện tích thiết diện thông dòng giữa bi cầu và đế. Diện tích thiết diện thông dòng nhỏ nhất của tiết lưu dạng này (hình IV.1.1k) được xác định như diện tích xung quanh của hình côn bị cắt như sau

$$S = \frac{\pi d_2}{2} \sqrt{h^2 + h\sqrt{d_1^2 - d_2^2}} + \frac{d_1^2}{4} - \frac{\pi d_1 d_2}{8\sqrt{h^2 + h\sqrt{d_1^2 - d_2^2}} + \frac{d_1^2}{4}} \quad (\text{IV.1.54})$$

trong đó:

d_1, d_2 - đường kính của bi cầu và đế,

h - khoảng cách giữa bi cầu và đế theo phương vuông góc từ mép của đế đến chỗ giao nhau với đường tròn.

Đường sinh của hình côn bị cắt là đoạn thẳng nối mép của đế đến tâm của bi cầu, được phân bố giữa mép của đế và điểm giao nhau với đường tròn.

Tại một số vị trí mở của tiết lưu tương ứng với khoảng cách xác định từ bi cầu đến đế thì diện tích mặt bên của hình côn bị cắt sẽ bằng diện tích thiết diện thông dòng của đế.

Từ đẳng thức giữa hai diện tích nói trên, có thể tìm được

$$h_K = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2d_1^2 - d_2^2 + d_2 \sqrt{d_2^2 + 4d_1^2}}{2}} - \frac{1}{2} \sqrt{d_1^2 - d_2^2} \quad (\text{IV.1.55})$$

Hệ số lưu lượng được xác định nhờ đồ thị được biểu diễn trên hình IV.1.10. Đồ thị $\mu/\text{Re} = f_1(\text{Re})$ cho phép tính được hệ số lưu lượng μ .

Giá trị của tỉ số μ/Re được xác định theo công thức

$$\frac{\mu}{\text{Re}} = \frac{\mu_*}{R_{tl}} \sqrt{\frac{RT(K-1)}{2K}} \frac{1}{p_1 \sqrt{\sqrt{\frac{p_2^2}{p_1^2}} - \sqrt{\frac{p_2^{K+1}}{p_1^{K+1}}}}} \quad (\text{IV.1.56})$$

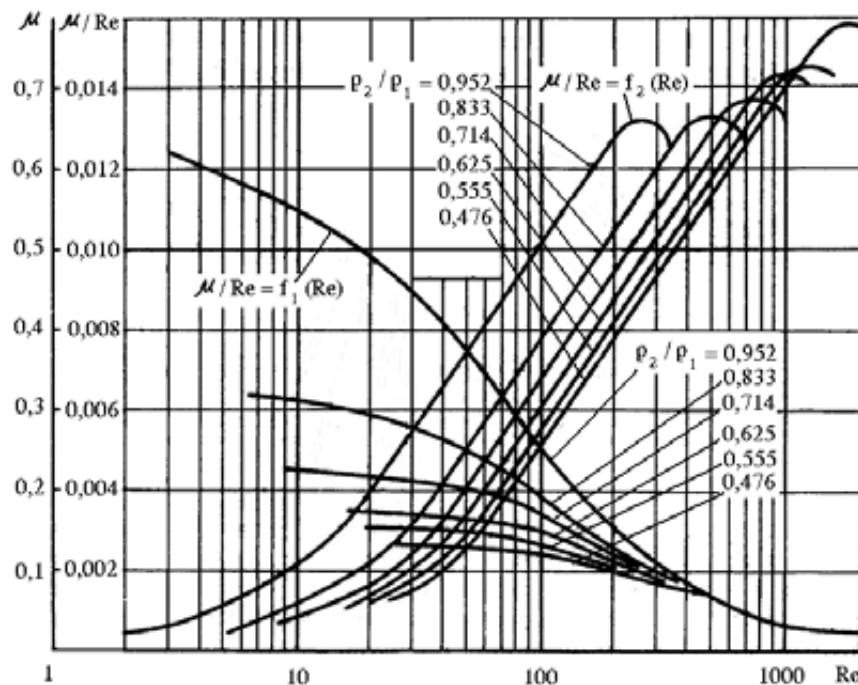
trong đó:

R_{tl} - bán kính thuỷ lực của bộ đôi bi cầu - đế

$$R_{tl} = \frac{1}{2} \sqrt{h^2 + h\sqrt{d_1^2 - d_2^2} + \frac{d_1^2}{4} - \frac{d_1}{2}} \quad (\text{IV.1.57})$$

Khi tỉ số $p_2/p_1 \leq 0,528$ thì trong công thức sẽ tính $p_2/p_1 = 0,528$.

Khi biết giá trị μ/Re thì theo đường cong bô trợ sẽ tìm giá trị của số Reinol (Re) và theo đường cong $\mu = f_2(\text{Re})$ sẽ xác định hệ số lưu lượng μ .



Hình IV.1.10. Mối liên hệ giữa hệ số lưu lượng μ và tỉ số μ/Re đối với số Reinol (Re) của tiết lưu dạng bi cầu - đế.

BÀI 9
CÁC PHẦN TỬ ĐÀN HỒI TRONG THIẾT BỊ KHÍ NÉN

IV.2.1. Màng cảm biến đàm hồi.	
IV.2.1.1. Phân loại.	143
IV.2.1.2. Cấu tạo.	145
IV.2.1.3. Tính toán diện tích hiệu dụng.	146
IV.2.2. Xiphông (Hộp xếp).	
IV.2.2.1. Phân loại và cấu tạo.	149
IV.2.2.2. Tính toán đại lượng đặc trưng.	151

BÀI 9. CÁC PHẦN TỬ ĐÀN HỒI TRONG THIẾT BỊ KHÍ NÉN

Trong các thiết bị khí nén thường sử dụng các phần tử đàn hồi như sau:

- Màng cảm biến đòn hồi: được sử dụng để làm biến đổi độ giảm áp suất thành các dịch chuyển cơ khí.
- Xiphông (Hộp xếp): được sử dụng với nhiều chức năng khác nhau:
 - + Để liên kết đòn hồi (mềm dẻo) giữa các đường ống được bố trí tạo thành các góc với nhau và dịch chuyển theo trực.
 - + Trong hệ thống tổng hợp các phần tử của tự động khí công nghiệp (USEPPA) được sử dụng như các bình chứa có thể tích thay đổi hoặc như bộ gòp trong các tiết lưu điều chỉnh được.
 - + Để phân định ranh giới 2 môi trường trong các cảm biến khí áp.
 - + Để chế tạo các cơ cấu tính toán chính xác cao.

IV.2.1. Màng cảm biến đòn hồi

Trong các thiết bị điều chỉnh và tính toán khí nén sẽ không sử dụng các màng cảm biến đòn hồi bằng kim loại vì chúng có độ cứng khá lớn, khi có sự thay đổi nhỏ ở tâm thì sẽ làm thay đổi đáng kể diện tích hiệu dụng của mình, do đó phá vỡ phương trình cân bằng lực đã cho và làm xuất hiện độ sai lệch.

Trong các cơ cấu chấp hành cũng không sử dụng các màng cảm biến bằng kim loại vì độ cong không lớn. Trong các thiết bị tính toán khí nén làm việc theo nguyên tắc bù trừ các lực sẽ sử dụng các màng cảm biến có độ cứng nhỏ từ vật liệu không phải là kim loại, môđun đòn hồi của màng loại này sẽ nhỏ hơn môđun đòn hồi của kim loại khoảng hàng trăm, hàng nghìn lần.

IV.2.1.1. Phân loại

Trong các thiết bị tính toán làm việc trong miền áp suất công tác thấp ($0 \div 100$ mm cột nước) thì sẽ sử dụng màng cảm biến bằng caosu có độ dày $0,2 \div 0,4$ mm.

Trong các thiết bị hoạt động trong phạm vi áp suất công tác trung bình là các màng cảm biến dạng lưới bằng giấy sợi bông hoặc chỉ khâu được tẩm caosu (hình IV.2.1) nên sẽ tạo cho màng đòn hồi có độ bền cần thiết.

Khi màng có độ dịch chuyển công tác nhỏ thì sợi chỉ sẽ không tham gia vào chuyển động đó và độ cứng của màng được bỏ qua vì quá nhỏ. Ngược lại khi lưới tham gia vào chuyển động thì độ cứng của màng sẽ tăng lên quá mức.

Xem xét các dạng dệt nền của băng vải làm màng. Tại các màng đòn hồi có nén

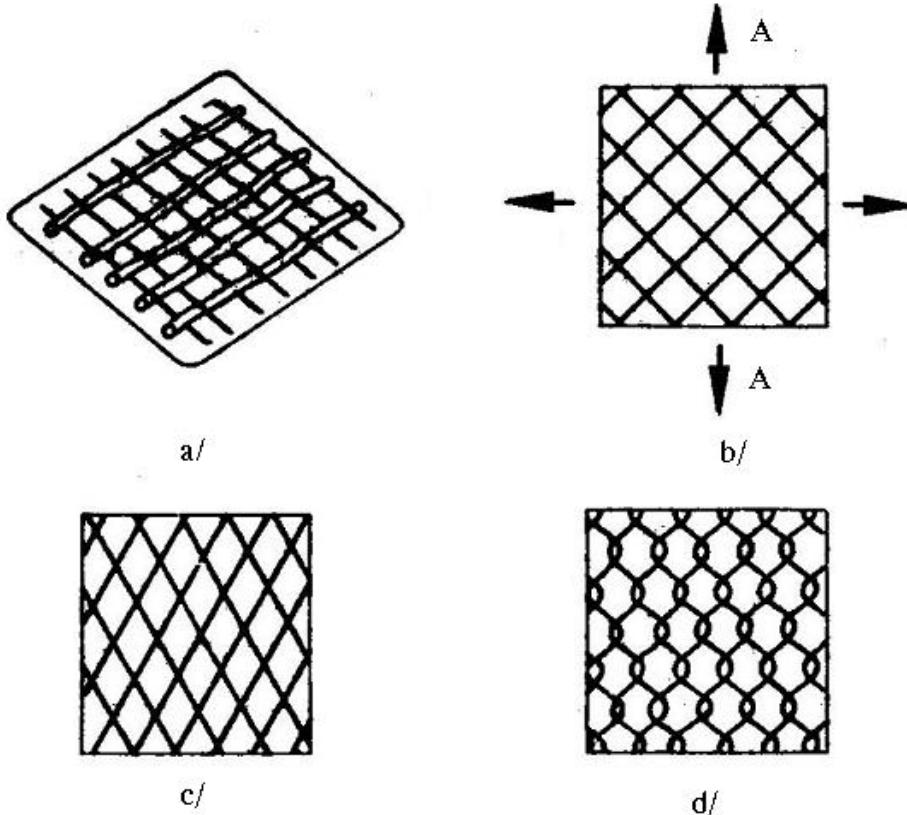
là các sợi chỉ được rải cao su thì độ cứng theo các hướng là không như nhau:

- Khi nền là lưới ô vuông (hình IV.2.1b) thì độ cứng theo hướng mũi tên A (hướng tạo thành góc 45^0 với hướng của sợi chỉ) là nhỏ nhất.
- Khi đan dệt kim các sợi chỉ (hình IV.2.1d) sẽ cho phép đảm bảo độ cứng của băng vải làm màng thì nhỏ khi lực kéo không lớn và độ cứng lớn khi lực lớn.

Các màng đàn hồi với nền từ những sợi chỉ được đan là kém nhất bởi vì các sợi chỉ tại những vị trí đan bện sẽ bị xô đẩy đối với nhau, do đó sẽ dẫn đến hiện tượng trễ ở đặc tính bên ngoài của màng đàn hồi.

Các màng đàn hồi được coi là tốt nhất có cấu tạo từ vải sợi mành khi mà các sợi chỉ với những sự định hướng khác nhau sẽ được phân bố trong các mặt phẳng khác nhau và sẽ không bị đan chéo lẫn nhau.

Để chế tạo các màng đàn hồi có cơ cấu lực làm việc tại áp suất cao thì sẽ sử dụng băng vải màng với nền nhiều lớp vải, độ dày đạt đến $3 \div 5$ mm. Đường kính của các màng này nằm trong khoảng $300 \div 500$ mm.



Hình IV.2.1. Các kiểu đan khác nhau đối với nền của màng đàn hồi từ băng vải dệt.

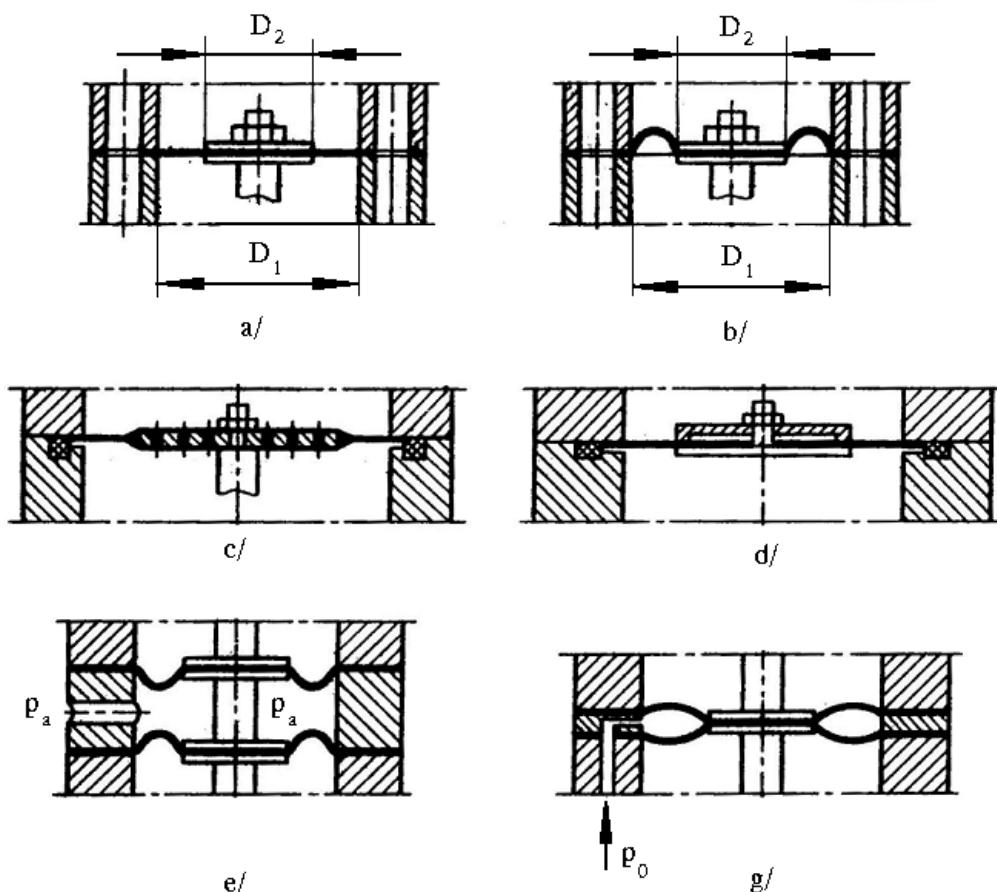
- a. Lưới được làm từ chỉ vải lanh và được tẩm caosu;
- b. Lưới ô vuông;
- c. Lưới có góc nghiêng;
- d. Sợi đan dệt kim của chỉ.

IV.2.1.2. Cấu tạo

Các màng đàn hồi từ băng vải đối với cơ cấu tính toán khí nén làm việc trong phạm vi trung bình của áp suất công tác sẽ được chế tạo từ:

- Màng tấm phẳng (hình IV.2.2a).
- Màng có gợn sóng với nếp gợn sóng là một nửa đường tròn (hình IV.2.2b).

Trong các màng đàn hồi loại này thì tâm cứng của màng được tạo bởi 2 đĩa kim loại (thường là hợp kim duara). Theo đường viền bên ngoài thì màng đàn hồi được ép vào thân và được giữ bằng lực ma sát. Đối với các bulông kẹp giữ và các rãnh dẫn khí theo đường tròn của màng đàn hồi sẽ khoan các lỗ.



Hình IV.2.2. Các màng đàn hồi bằng caosu và vải caosu được áp dụng trong các cơ cấu tự động khí nén.

- a. Màng tấm phẳng từ băng vải;
- b. Màng từ băng vải có nếp gợn sóng;
- c. Màng caosu làm việc ở áp suất thấp với tâm cứng được bao phủ;
- d. Màng làm việc ở áp suất thấp;
- e. Màng caosu 2 lớp có nếp gợn sóng tạo thành khoang nối thông với khí quyển;
- g. Màng 2 lớp có khoang được cung cấp áp suất nguồn.

Các màng đàn hồi từ caosu được sử dụng đối với các hoạt động trong miền áp suất công tác thấp ($0 \div 100$ mm cột nước) thông thường không có gợn sóng. Tâm cứng của các màng này được chế tạo từ các lá hợp kim duara có độ dày và được khoan các lỗ để làm nhẹ và làm kết nối chắc chắn của màng đàn hồi (hình IV.2.2c).

Nếu tâm cứng không được bao phủ vật liệu thì để làm tăng áp suất tại vị trí tiếp xúc của caosu với tâm cứng thì một trong các đĩa được gắn với vai trực (hình IV.2.2d). Độ rộng của vai trực phải được tính toán để sao cho vật liệu của màng đàn hồi không bị hư hỏng do áp suất quá cao tại vị trí tiếp xúc. Theo mép viền để thì các màng đàn hồi chịu áp suất thấp được gắn dính vào đai vò caosu nhằm để định hướng tâm trong thân, làm kéo căng và làm kín khít khoang công tác.

Khi có sự thay đổi dấu của độ chênh áp suất trong màng có gợn sóng thì vị trí của gợn sóng bị thay đổi rõ rệt và màng đàn hồi sẽ bị nổ. Không nên để hiện tượng này xảy ra vì khi đó sẽ làm thay đổi diện tích hiệu dụng của màng và làm thay đổi khoang giữa các màng. Do đó sẽ phá huỷ sự cân bằng lực cho trước và làm thay đổi hằng số thời gian của các thiết bị tính toán.

Nếu việc loại bỏ sự nổ của màng bằng cách lựa chọn sơ đồ mà không thực hiện được thì sẽ sử dụng màng caosu 2 lớp có dạng hiện sóng (hình IV.2.2e) mà khoang giữa các màng cảm biến được nối thông với khí quyển. Khi đó độ giảm áp suất sẽ không thay đổi dấu của mình.

Còn sử dụng màng 2 lớp mà khoang giữa chúng cùng được cấp áp suất của nguồn cấp (hình IV.2.2g).

Áp suất công tác trong khoang bất kỳ nào của thiết bị cũng thấp hơn áp suất nguồn cấp và hiện tượng nổ sẽ không xảy ra.

IV.2.1.3. Tính toán diện tích hiệu dụng

Diện tích hiệu dụng S_* của màng cảm biến là diện tích được quy ước bằng tỉ số giữa áp lực công tác bên ngoài N được tạo nên khi màng đàn hồi biến dạng do tác dụng của độ chênh áp suất Δp và độ giảm áp Δp này

$$S_* = \frac{N}{\Delta p} \quad (\text{IV.2.1})$$

Diện tích hiệu dụng S_* của màng cảm biến phụ thuộc vào độ dịch chuyển x của tâm cứng từ vị trí 0 là vị trí của mặt phẳng ngầm giữ. Khi tăng độ dịch chuyển x thì diện tích hiệu dụng S_* của màng cảm biến cũng như áp lực N do nó gây nên sẽ bị giảm.

Nếu không có cữ chặn và màng cảm biến được uốn cong tự do thì áp lực N được tạo nên do màng bị biến dạng và diện tích hiệu dụng S_* bằng 0. Trong trường hợp này áp lực N sẽ được bù trừ hoàn toàn bởi các lực bên trong xuất hiện trong vật liệu của màng cảm biến.

Công thức Lictan (Pháp) để xác định diện tích hiệu dụng của màng cảm biến

$$S_* = \frac{\pi D_1^2}{12} \left[1 + \rho + \rho^2 - \frac{x(1-\rho)\sqrt{4+7\rho+4\rho^2}}{\sqrt{5(x_{\max}^2 - x^2)}} \right] \quad (\text{IV.2.2})$$

trong đó:

ρ - tỉ số giữa đường kính tâm cứng D_2 và đường kính màng cảm biến D_1

$$\rho = \frac{D_2}{D_1} \quad (\text{IV.2.3})$$

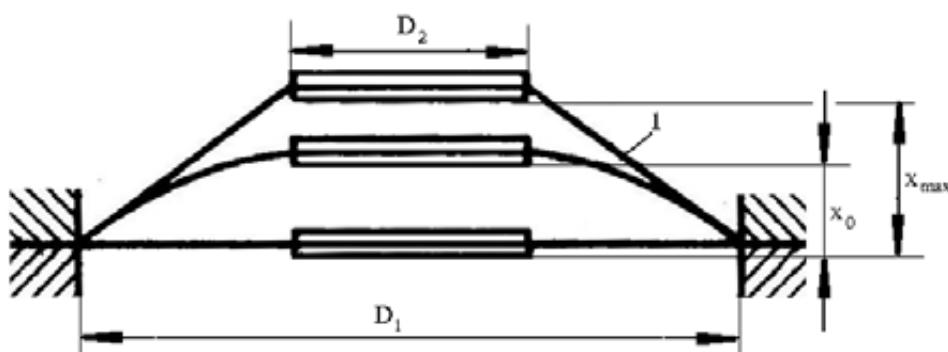
x - độ dịch chuyển của tâm cứng từ mặt phẳng ngầm giữ.

x_{\max} - độ dịch chuyển lớn nhất có thể của màng cảm biến.

Trong công thức xác định diện tích hiệu dụng (IV.2.2) có tồn tại một số nhược điểm:

- Không biểu diễn được mối liên hệ giữa diện tích hiệu dụng S_* với các tính chất vật lý của vật liệu làm màng cảm biến.
- Cần phải biết trước độ dịch chuyển lớn nhất x_{\max} . Mà x_{\max} chỉ có thể xác định được nếu cho rằng đường sinh 1 của màng cảm biến tại một số vị trí quy ước là đường thẳng (hình IV.2.3).

Vị trí này của màng cảm biến là vị trí ảo. Giá trị x_{\max} có thể được xác định đối với màng cảm biến mà tại một số phạm vi dịch chuyển sẽ không tạo nên ma sát cho các lực được đặt lên màng và bản thân màng sẽ ở lại vị trí mà nó bị làm dịch chuyển.



Hình IV.2.3. Sơ đồ tính toán độ uốn lớn nhất của màng cảm biến.

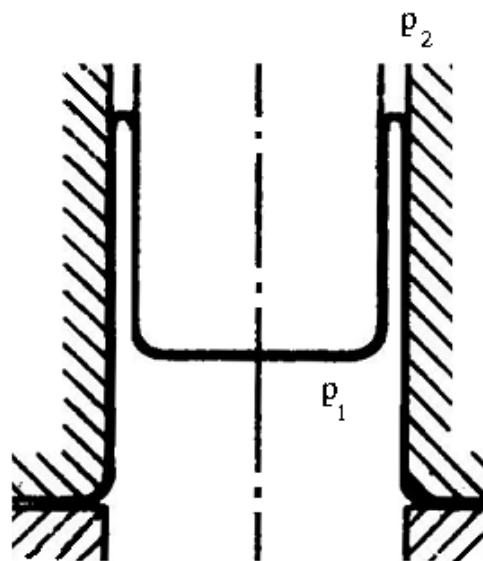
Khi đó giả thiết rằng giá trị độ uốn x_0 của màng cảm biến sẽ được xác định khi không có tải tác dụng lên tâm cứng. Nếu $x = x_0, S_* = 0$ thì biến dạng theo công thức (IV.2.2) có dạng

$$x_{\max} = x_0 \sqrt{\frac{(1-\rho)^2(4+7\rho+4\rho^2)}{5(1+\rho+\rho^2)}} + 1 \quad (\text{IV.2.4})$$

Công thức Lictan cho phép tính diện tích hiệu dụng S_* và do đó tính được lực N cân bằng với lực bên ngoài được tạo nên bởi màng đàn hồi do có độ uốn cong x . Điều này có ý nghĩa rất quan trọng khi tính toán cơ cấu chấp hành dùng màng cảm biến, trong đó độ uốn của màng cảm biến là giá trị khá lớn. Trong các cơ cấu này thì thông thường màng cảm biến sẽ làm việc cùng với lò xo hình trụ, thực hiện việc thu nhận phần chủ yếu của lực N . Nếu trong cơ cấu chấp hành dùng màng mà màng cảm biến phải đảm bảo độ dịch chuyển lớn nhất trong khi duy trì lực tương đối lớn thì trong các cơ cấu tính toán khí nén thì màng cảm biến phải làm việc trong các điều kiện mà độ dịch chuyển của màng là nhỏ nhất.

Độ uốn cong của các màng cảm biến được sử dụng trong các thiết bị khí nén sẽ dao động trong giới hạn vài phần nghìn mm, do đó để tính toán diện tích hiệu dụng của các màng cảm biến này thông thường sẽ sử dụng công thức Lictan với $x = 0$

$$S_* = \frac{\pi}{12} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2) \quad (\text{IV.2.5})$$



Hình IV.2.4. Màng cảm biến vòng bít.

Khi có tâm cứng thì sẽ làm tăng diện tích hiệu dụng của màng cảm biến. Tuy nhiên sự tăng quá mức của tâm cứng sẽ dẫn đến sự tăng sự tăng độ cứng của màng cảm biến. Thông thường đường kính của tâm cứng sẽ vào khoảng $0,4 \div 0,85$ đường kính của mặt phẳng ngầm giữ.

Các màng cảm biến không phải là kim loại có nhiều ưu điểm nhưng đồng thời cũng có nhiều nhược điểm:

- Nhược điểm chủ yếu là sự không ổn định của các đặc tính công tác.
- Caosu bị hỏng do lão hoá. Môđun đàn hồi của một số loại caosu sẽ tăng đáng kể trong khoảng vài tháng. Do đó độ cảm biến của thiết bị khí nén sẽ bị giảm đáng kể.
- Do sự thay đổi tính chất của vật liệu theo thời gian nên màng cảm biến sẽ thay đổi sự gá đặt ban đầu so với vòi phun được điều khiển bởi nó. Điều này đưa đến việc xuất hiện sai số bô xung của thiết bị. Để tránh điều này phải tiến hành điều chỉnh vòi phun.

Trong các cơ cấu khí nén đòi hỏi độ dịch chuyển lớn và sự không đổi của diện tích hiệu dụng sẽ áp dụng màng cảm biến vòng bít. Đó là màng hình trụ được chế tạo từ vải mành mà các sợi chỉ của nó được xếp tạo thành góc với đường sinh của hình trụ (hình IV.2.4).

Phần dưới của màng hình trụ được gắn cố định với hình trụ không chuyển động, còn phần bên trên được gắn với tâm cứng có cấu tạo là hình trụ rộng, nhẹ, có đáy, di chuyển được. Áp suất không khí sẽ ép màng đến hình trụ và đến tâm cứng. Khi tâm cứng chuyển động thì do có sự tạo sóng nên màng cảm biến sẽ chuyển lật từ từ phần hình trụ đến tâm cứng hoặc ngược lại.

Nhược điểm của màng cảm biến vòng bít là áp suất p_1 luôn luôn phải lớn hơn áp suất p_2 .

IV.2.2. Xiphông (Hộp xếp)

Xiphông là ống thành mỏng hình trụ, có lượn sóng theo phương hướng tâm (hình IV.2.5a).

Dưới tác dụng của áp suất hoặc lực được đặt dọc trực thì độ dài của xiphông sẽ bị thay đổi.

IV.2.2.1. Phân loại và cấu tạo

Xiphông được chế tạo từ các ống thành mỏng được kéo dài bằng phương pháp thuỷ lực hoặc phương pháp cơ khí - thuỷ lực.

- Trong phương pháp thuỷ lực thì ống sẽ được cố định tại đồ gá của máy công cụ chuyên dụng. Tại những khoảng cách xác định dọc theo ống sẽ đặt các đai vòng tháo rời

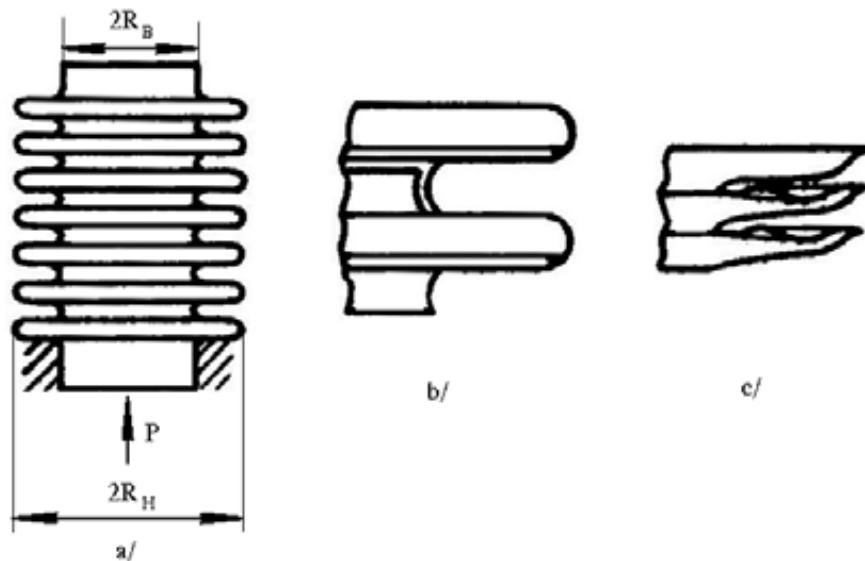
được. Sẽ cấp dầu vào ống, dưới tác dụng của áp suất dầu thì thành ống sẽ bắt đầu bị lồi ra tại những đoạn ống giữa các đai vòng. Các đai vòng sẽ bị co lại và ống sẽ nhận được dạng xiphông.

- Trong phương pháp cơ khí - thuỷ lực thì trước tiên ống - phôi sẽ được chạy lăn bằng trực lăn trên đồ gá chuyên dụng. Khi đó trên ống - phôi sẽ nhận được những chỗ lõm tại những khoảng cách nhất định. Sự tạo hình cuối cùng của xiphông sẽ xảy ra như ở trường hợp trên.

So sánh giữa 2 phương pháp nêu trên thì phương pháp thứ hai (cơ khí - thuỷ lực) có ưu điểm hơn là việc vuốt thúc vật liệu sẽ xảy ra cả ở bên trong và bên ngoài thành ống. Do đó sự dát mỏng vật liệu tại đỉnh của sự lượn sóng sẽ nhỏ hơn so với khi dùng phương pháp thứ nhất (thuỷ lực). Trong phương pháp thuỷ lực thì sự vuốt thúc chỉ xảy ra ở bên ngoài thành ống.

Trong quá trình chế tạo xiphông thì vật liệu phải chịu sự biến dạng dẻo đáng kể. Nếu tính chất đàn hồi của vật liệu rất thấp thì xiphông sẽ có độ trễ đáng kể.

Khi làm việc trong môi trường khắc nghiệt và nhiệt độ cao ($< 400^{\circ}\text{C}$) thì thường sử dụng thép không gỉ 1X 18H 9T. Độ trễ của các xiphông này đạt đến $2 \div 4\%$. Các vật liệu như hợp kim đồng - Berili Br.B2, Br. B2,5, Br. БНТ1,9 và hợp kim H36 XTIO sẽ tạo nên các xiphông cho phép vuốt thúc sâu. Sau khi vuốt thúc thì sẽ tiến hành gia công nhiệt đối với xiphông.



Hình IV.2.5. Các dạng khác nhau của xiphông.

- Toàn bằng kim loại.
- Được hàn với vai trực hình trụ.
- Được hàn với đường lượn sóng trên màng cảm biến.

Chế tạo xiphông từ các ống được kéo liền là quá trình rất phức tạp. Do đó xiphông thường được chế tạo bằng cách hàn từ các tấm trong riêng biệt (hình IV.2.5b, c). Các xiphông được hàn là cụm có cấu tạo từ các hộp màng riêng biệt. Do có nếp lượn sóng sâu nên độ nhạy cảm biến của các xiphông được hàn lớn hơn độ nhạy cảm biến của các xiphông được chế tạo từ ống được kéo liền. Tính chất đàn hồi và diện tích hiệu dụng của các xiphông này cũng được ổn định hơn. Các xiphông với vai trò trục hình trụ có diện tích hiệu dụng ổn định nhất (hình IV.2.5b), diện tích hiệu dụng của xiphông loại này thực tế không phụ thuộc vào mối hàn. Vật liệu của các xiphông được hàn trong khi tạo khuôn sẽ phải chịu sự vuốt thúc ít hơn so với khi chế tạo từ ống được kéo liền.

Để loại trừ sự phồng nở của các màng cảm biến riêng biệt để tạo nên xiphông được hàn thì sẽ tạo các lượn sóng trên màng (hình IV.2.5c). Nhờ đó các xiphông sẽ có đặc tính phi tuyến nhỏ nhất và độ dịch chuyển cho phép lớn nhất. Nhược điểm chủ yếu của các xiphông được hàn là khả năng chống ăn mòn thấp do sự tồn tại các mối hàn.

Khi cần thiết làm tăng độ cứng của xiphông thì sẽ lắp đặt xiphông cùng với lò xo trụ vít. Nếu xiphông được chế tạo từ vật liệu có độ đàn hồi thấp thì phải chọn độ cứng của lò xo lớn hơn vài lần độ cứng của xiphông. Khi đó có thể loại bỏ được ảnh hưởng nào đó của tính chất đàn hồi của xiphông đến đặc tính tĩnh. Để tiết kiệm vị trí thì đặt lò xo vào bên trong xiphông. Việc tăng độ cứng của xiphông bằng cách tăng độ dày thành vách là không có lợi bởi vì vật liệu làm việc chịu uốn và trong khi uốn thì ứng suất sẽ tăng.

Khi áp suất rất lớn, nếu độ bền của xiphông thành mỏng không đạt yêu cầu thì sẽ sử dụng xiphông có nhiều lớp. Điều này sẽ dẫn đến việc làm giảm ứng suất và làm tăng độ nhạy cảm biến so với xiphông thành mỏng 1 lớp. Tuy nhiên do ma sát của các lớp trong xiphông nhiều lớp sẽ làm tăng độ trễ.

Trong khi thiết kế thiết bị thì nên tiệm cận đến việc đặt xiphông để sao cho xiphông làm việc ở chế độ ép - nén vì khi đó sẽ chịu đựng được áp suất lớn hơn $1,5 \div 2$ lần so với khi làm việc ở chế độ kéo - dãn. Đối với xiphông trong các cơ cấu tính toán khí nén thì áp suất thông thường được cấp vào bên trong xiphông, do đó sự dịch chuyển của xiphông là rất nhỏ và tổn thất về độ bền của biên dạng thẳng của trục sẽ được loại trừ.

IV.2.2.2. Tính toán đại lượng đặc trưng

Để tính toán diện tích hiệu dụng của xiphông sẽ sử dụng công thức thực nghiệm, công thức này khá trùng hợp với đo thực nghiệm

$$S^* = \frac{\pi(R_{tr} + R_{ng})^2}{4} \quad (\text{IV.2.6})$$

trong đó:

R_{tr}, R_{ng} - bán kính trong, bán kính ngoài của xiphông.

Độ dịch chuyển của xiphông dưới tác dụng của áp suất p sẽ bằng độ dịch chuyển của xiphông dưới tác dụng của lực tập trung dọc trục $N_1 = S^* p$. Nếu tăng áp suất tác dụng lên đáy ở bên trong xiphông (hình IV.2.6a) thì lực N của xiphông tác dụng lên cữ chặn

$$N = S^* p - C_1 h_0 = S_* (p - p_0) \quad (\text{IV.2.7})$$

trong đó:

p - áp suất bên trong xiphông,

C_1 - độ cứng của xiphông,

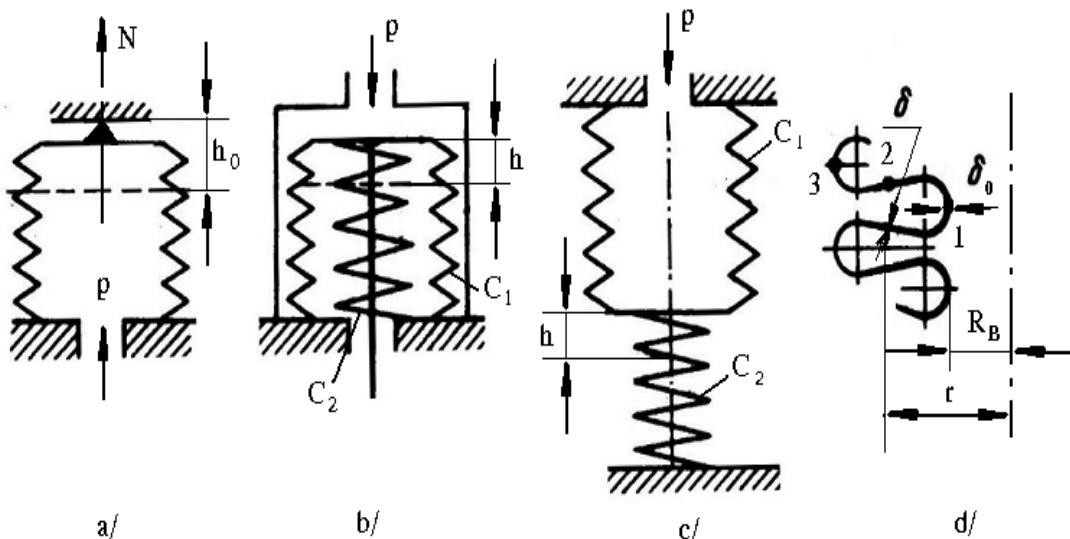
h_0 - độ dịch chuyển của xiphông đến cữ chặn,

p_0 - áp suất khi đáy của xiphông tì lên cữ chặn.

Khi không có cữ chặn ($N = 0$) thì toàn bộ lực được tạo nên bởi áp suất sẽ thực hiện việc kéo dãn xiphông. Khi đó

$$S^* p = C_1 h \quad (\text{IV.2.8})$$

Khi có sự hoạt động đồng thời của xiphông và lò xo trụ vít (hình IV.2.6b, c) thì lực tác dụng lên xiphông từ phía lò xo có thể được tính theo công thức



Hình IV.2.6. Sơ đồ tính toán xiphông.

- a. Sơ đồ tác dụng của xiphông lên cữ chặn.
- b, c. Sơ đồ hoạt động của xiphông cùng với lò xo trụ vít.
- d. Sự thay đổi độ dày thành của xiphông.

$$N = C_2 h \quad (\text{IV.2.9})$$

trong đó:

C_2 - độ cứng của lò xo.

Sử dụng các biểu thức (IV.2.7) và (IV.2.9) với ϵ , nhận được

$$N = \frac{S^* p}{1 + \frac{C_1}{C_2}} \quad (\text{IV.2.10})$$

Đặc tính tĩnh của xiphông biểu diễn mối liên hệ giữa độ dịch chuyển h phụ thuộc vào áp suất hoặc lực dọc trực. Đặc tính này tuy nhiên tính đối với độ dịch chuyển khá lớn.

Khảo sát sự khác nhau giữa diện tích hiệu dụng của màng S_* và diện tích hiệu dụng của xiphông S^* . Trong công thức tính diện tích hiệu dụng của màng S_* thì không có khái niệm độ cứng. Khi đó diện tích hiệu dụng của màng S_* chỉ phụ thuộc độ dịch chuyển của tâm cứng.

Còn đối với xiphông nếu đưa vào khái niệm độ cứng mà nhờ đó hiện được tỉ số giữa lực N_1 tác dụng lên xiphông và độ dịch chuyển h của nó thì diện tích hiệu dụng của xiphông S^* sẽ không đổi trong điều kiện duy trì độ cứng không đổi. Điều này có ý nghĩa trong khoảng tuyến tính của đặc tính tĩnh.

Như vậy đối với màng cảm biến thì tính diện tích hiệu dụng của màng S_* với áp suất sẽ cho áp lực công tác bên ngoài. Còn đối với xiphông thì tích của diện tích hiệu dụng S^* với áp suất thì sẽ cho lực tổng hợp, trong đó:

- Một phần của lực sẽ tạo nên lực công tác bên ngoài.
- Một phần của lực sẽ thực hiện việc kéo dãn xiphông.

Khái niệm diện tích tác dụng hình trụ của xiphông là diện tích quy ước bằng một phần của tỉ số giữa số gia của thể tích ΔV và độ dịch chuyển của đáy. Diện tích tác dụng hình trụ có thể chấp nhận gần bằng diện tích hiệu dụng

$$\Delta V = S^* h \quad (\text{IV.2.11})$$

trong đó:

ΔV - số gia của thể tích,

h - độ dịch chuyển của đáy xiphông.

Độ cứng của xiphông được hàn khi mà độ dày vật liệu tại mọi điểm thực tế như nhau được xác định

$$C = \frac{E \delta^3}{2n A R_{ng}^2} \quad (\text{IV.2.12})$$

trong đó:

n - số lượng các sóng lượn công tác.

R_{ng} - bán kính ngoài của xiphông,

E - môđun đàn hồi của vật liệu,

A - hệ số, được tính theo công thức

$$A = \frac{3(1-\mu_*^2)}{4\pi} \left(\frac{\psi^2 - 1}{\psi^2} - \frac{4\ln^2 \psi}{\psi^2 - 1} \right) \quad (\text{IV.2.13})$$

μ_* - hệ số Poasson,

ψ - kích thước không thứ nguyên của xiphông

$$\psi = \frac{R_{ng}}{R_{tr}} \quad (\text{IV.2.14})$$

Đối với xiphông không có mối hàn được chế tạo theo phương pháp thuỷ lực hoặc phương pháp cơ khí - thuỷ lực bằng cách vuốt thúc phôi thì độ dày của thành tại những điểm khác nhau sẽ khác nhau. Tại các điểm bên trong ở bán kính R_{tr} (hình IV.2.6d) thì độ dày của thành bằng độ dày δ_0 của ống phôi. Khi bán kính tăng thì độ dày sẽ giảm. Độ dày của thành xiphông sẽ phụ thuộc vào bán kính và có thể được tính theo công thức thực nghiệm

$$\delta = \frac{\delta_0 R_{tr}}{r} \quad (\text{IV.2.15})$$

Đối với xiphông không có mối hàn thì sẽ sử dụng công thức (IV.2.12) mà trong đó đại lượng δ^3 sẽ được thay thế bởi giá trị trung gian bằng giá trị số học trung bình của lập phương các độ dày của xiphông tại một số điểm cách nhau khoảng khác nhau.

Đối với các điểm 1, 2, 3 (hình IV.2.6d) tương ứng với các khoảng cách đến trực là R_{tr} , $\frac{R_{tr} + R_{ng}}{2}$, R_{ng} thì các độ dày được xác định

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \delta_0, \\ \delta_2 &= \frac{2R_{tr}}{R_{tr} + R_{ng}}, \\ \delta_3 &= \frac{\delta_0 R_{tr}}{R_{ng}} \end{aligned} \quad (\text{IV.2.16})$$

Giá trị trung gian của lập phương độ dày được xác định

$$\delta^3 = \frac{\delta_1^3 + \delta_2^3 + \delta_3^3}{3} = \frac{\delta_0^3}{3} \left[1 + \left(\frac{2}{1+\psi} \right)^3 + \frac{1}{\psi^3} \right] \quad (\text{IV.2.17})$$

BÀI 10

KHUẾCH ĐẠI VAN TRUỢT KHÍ NÉN VÀ ỐNG PHUN TIA

IV.3. Khuếch đại van truột khí nén.	
IV.3.1. Phân loại, cấu tạo và nguyên lý chung.	
IV.3.1.1. Van truột dạng trụ.	155
IV.3.1.2. Van truột dạng phẳng.	157
IV.3.2. Tính toán đại lượng đặc trưng.	
IV.3.2.1. Diện tích khe hở thông dòng hiệu quả.	158
IV.3.2.2. Độ dịch chuyển lớn nhất của con truột.	160
IV.3.2.3. Lưu lượng khí được điền vào khoang truyền dẫn piston.	
IV.3.2.4. Thí dụ.	161
IV.4. Ống phun tia.	
IV.4.1. Chức năng, công dụng.	
IV.4.1.1. Chức năng.	162
IV.4.1.2. Công dụng.	
IV.4.2. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động.	
IV.4.2.1. Cấu tạo.	
IV.4.2.2. Nguyên lý hoạt động.	164
IV.4.3. Tính toán các đại lượng đặc trưng.	
IV.4.3.1. Khoảng cách giữa mặt bích của vòi phun với tâm chấn.	
IV.4.3.2. Phản lực tác dụng lên ống phun tia.	165
IV.4.3.3. Đặc tính tĩnh của ống phun tia.	166
IV.4.3.4. Thí dụ.	168

BÀI 10

KHUẾCH ĐẠI VAN TRƯỢT KHÍ NÉN VÀ ỐNG PHUN TIA

IV.3. Khuếch đại van trượt khí nén

Van trượt khí nén theo cấu trúc và nguyên lý hoạt động của mình trên thực tế không hề khác gì so với van trượt thuỷ lực và cũng được sử dụng để điều khiển cơ cấu chấp hành piston khí nén.

IV.3.1. Phân loại, cấu tạo và nguyên lý chung

Việc tạo nên cấu trúc của các bộ đôi van trượt rất khác nhau. Tuy nhiên theo cấu trúc thì tất cả các van trượt có thể được chia thành 2 nhóm:

- Van trượt dạng trụ (hình IV.3.1).
- Van trượt dạng phẳng (hình IV.3.2).

IV.3.1.1. Van trượt dạng trụ

Sơ đồ của van trượt dạng trụ được biểu diễn trên hình IV.3.1. Van trượt có cấu tạo từ 2 phần tử chủ yếu:

- Piston 1 cùng với các vai trực.
- Bạc lót trực 2 cùng với các cửa sổ được khoan hình chữ nhật.

Trong tự động khí nén do không có sự cần thiết để xả không khí đã được sử dụng trong mạch thu hồi, nên van trượt thường xuyên được chế tạo theo kiểu piston có 2 vai trực (chỗ co thắt). Piston phải tự do dịch chuyển bên trong ống lót trực, trong đó sức cản khí nén để làm rò rỉ không khí vào khí quyển phải tương đối lớn (khe hở hướng tâm giữa ống lót trực và piston phải nhỏ nhất).

Vật liệu để chế tạo ống lót trực và piston phải thoả mãn các điều kiện:

- + Phải gần với hệ số nở vì nhiệt để tránh sự kẹt của piston trong ống lót trực khi có sự thay đổi nhiệt độ.
- + Phải có sự chống mài mòn lớn nhất.

Nguyên lý hoạt động của van trượt bao gồm: piston chuyển động do tác động từ cảm biến hoặc tác động bằng tay, sẽ làm thay đổi thiết diện thông dòng của các cửa sổ, đồng thời tạo nên các sức cản khác nhau đối với không khí được đưa đến các xilanh khí nén và không khí thoát ra ngoài khí quyển, làm thay đổi vận tốc dịch chuyển của piston.

Khi có sự lệch về phía ngược chiều so với vị trí trung gian thì piston sẽ làm thay đổi chức năng của các cửa sổ, chuyển cửa sổ được điền đầy không khí thành cửa sổ bị tháo hết và ngược lại sẽ làm thay đổi hướng chuyển động của piston.

Khí nén từ nguồn cấp được cấp đến cửa sổ, được phân bố ở giữa van trượt.

Sẽ phân chia van trượt thành 3 loại:

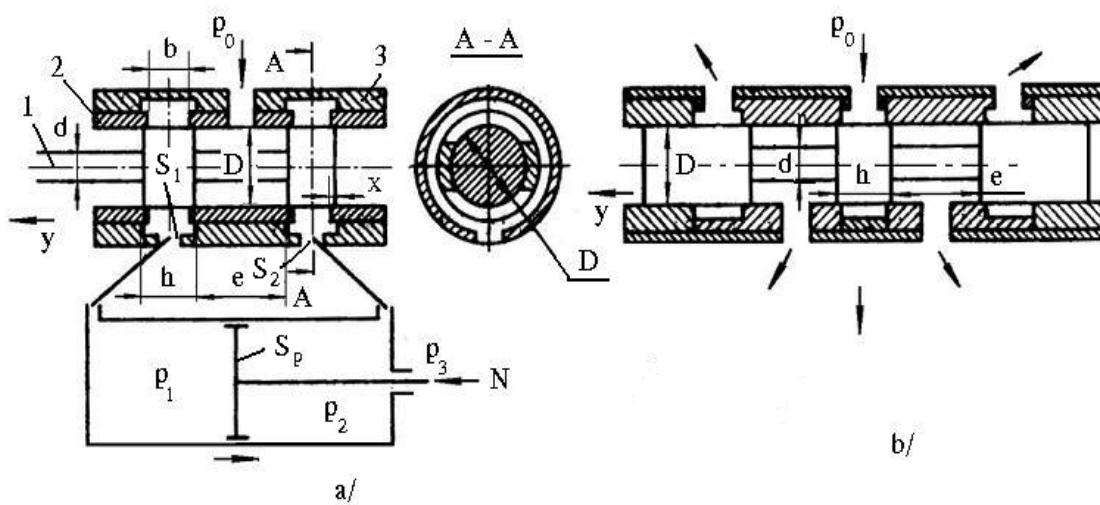
- Sự phủ chòm dương.
- Sự phủ chòm âm.
- Sự phủ chòm không.

Đối với van trượt có sự phủ chòm dương thì chiều rộng cửa sổ nhỏ hơn chiều rộng tại chỗ co thắt của vai trực trên piston ($h \geq b$). Tại vị trí trung gian thì vai trực của piston sẽ phủ chòm lên cửa sổ của ống lót trực và sẽ tự khoá hăm không khí ở bên trong xilanh lực.

Do đó van trượt với sự phủ chòm dương còn được gọi là van trượt ngắt.

Nhược điểm của van trượt với sự phủ chòm dương là tồn tại miền đặc tính không nhạy cảm, được xác định bởi hiệu số giữa chiều rộng của vai trực và chiều rộng của cửa sổ. Bản chất vật lý của hiện tượng này là tất cả sự dịch chuyển của piston so với vị trí trung gian với khoảng cách nhỏ hơn một nửa của hiệu số nêu trên sẽ không làm mở được cửa sổ, do đó sẽ không làm chuyển động cần piston của cơ cấu chấp hành.

Vai trực của piston trong con trượt với sự phủ chòm âm sẽ có độ rộng nhỏ hơn độ rộng của cửa sổ ($h < b$) nên sẽ làm triệt tiêu miền không nhạy cảm. Tuy nhiên cùng với việc này thì sẽ kéo theo nhược điểm chủ yếu của van trượt loại này là sẽ có sự rò rỉ khí công tác vào khí quyển, thậm chí ngay cả khi ở vị trí trung gian của piston. Do đó van trượt loại này còn được gọi là van trượt chảy.



Hình IV.3.1. Sơ đồ van trượt dạng trụ.

- a. Van trượt có 2 vai trục.
- b. Van trượt có 3 vai trục.

Trong loại này độ rộng của cửa sổ thụng thường lớn hơn độ rộng vai trực của piston vào khoảng Trong lời này Réeng cña cõa sæ th^{ing} th-ênglín h-n Réeng vai trõc cña piston vµo khoảng 0,01÷0,02 mm.

Do có khả năng trong truyền dẫn theo dõi được đảm bảo với độ chính xác cao, luôn luôn có xu hướng làm giảm hiện tượng tự dao động của hệ thống nên van trượt với sự phủ chòm âm được sử dụng nhiều hơn đáng kể so với van trượt có sự phủ chòm dương.

Chế tạo van trượt với sự phủ chòm không rất khó khăn n^{ent}ong thực tế hầu như chúng không được sử dụng.

Các cửa sổ trong ống lót trực có thể là hình tròn. Tuy nhiên cửa sổ tròn sẽ không cho phép nhận được mối liên hệ tuyến tính giữa diện tích thiết diện tiết lưu thông dòng và độ dịch chuyển của piston.

Do đó van trượt có cửa sổ hình chữ nhật tại ống lót trực được sử dụng khá rộng rãi. Van trượt loại này có chiều rộng không lớn và độ dài đáng kể là một phần dây cung của đường tròn. Các cửa sổ này được gia công bằng việc khoan, còn ống lót trực được lắp vào trong vòng cách 3 (hình IV.3.2a).

Do những khó khăn trong công nghệ khi gia công ống lót trực nên chúng được chế tạo từ những chi tiết riêng biệt, sau đó theo trình tự phù hợp sẽ được lắp vào trong vòng cách 3 (hình IV.3.2b), trong đó ống lót trực sẽ được chêm chặt trong vòng cách nhờ việc ép cũng như nhờ các đai vòng cao su.

IV.3.1.2. Van trượt dạng phẳng

Trong tự động khí nén có sử dụng van trượt dạng phẳng với khung treo lò xo hoặc khung treo động lực học thuỷ lực sẽ cho phép tạo nên ma sát nhỏ nhất (hình IV.3.2). Công nghệ chế tạo van trượt dạng phẳng đơn giản hơn so với công nghệ chế tạo van trượt dạng trụ. Bộ đôi van trượt bao gồm:

- Con trượt dạng phẳng 7.
- Thân 8.
- Các chốt hình trụ 3, 5.
- Kênh dẫn 1, 9, 10.
- Khoang chứa 4.
- Tay đòn có khớp bản lề 2, 6 (có thể sử dụng lò xo phẳng).

Không khí được nén vào kênh dẫn 1 trong thân đến khoang chứa 4 được giới hạn bởi mặt bích của các chốt trụ và các thành bên.

Van trượt được treo trên các tay đòn có khớp bản lề 2, 6. Khi ở vị trí trung bình thì các chốt 3 và 5 sẽ phủ chòm nhau các lỗ mặt bích của các kênh dẫn 9, 10 nối van trượt với các khoang của truyền dẫn piston.

Khi xuất hiện lực tác dụng lên van trượt 7 thì van trượt sẽ dịch chuyển song song với thân 8.

Do đó sẽ làm mở các kênh dẫn 9, 10. Thông qua các khe hở được tạo nên thì các khoang của truyền dẫn piston sẽ được nối tương ứng với khí quyển và áp suất nguồn.

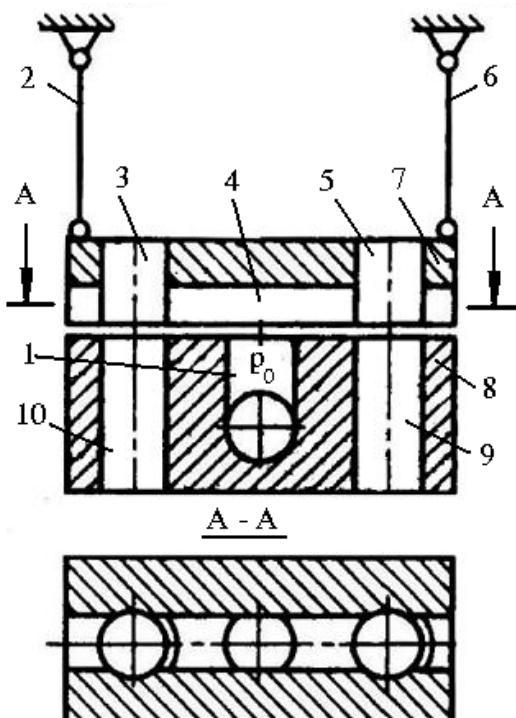
IV.3.2. Tính toán đại lượng đặc trưng

Việc tính toán van trượt dạng trụ được đưa đến việc chọn đường kính vai trực của con trượt và chọn kích thước cửa sổ.

Nói cách khác là chọn diện tích khe hở tiết lưu của con trượt, nhằm đảm bảo vận tốc quy định lớn nhất cho trước của piston khi có tải trọng lớn nhất cho trước tác dụng lên piston của hệ thống truyền dẫn và khi có áp suất nguồn cho trước của con trượt.

IV.3.2.1. Diện tích khe hở thông dòng hiệu quả

Giá trị diện tích khe hở thông dòng hiệu quả được tính từ công thức xác định vận tốc quy định lớn nhất của piston khi chuyển động



Hình IV.3.2. Sơ đồ van trượt dạng phẳng trên khung treo bản lề.

$$v = \frac{\varphi_1 S_* \sqrt{2RT}}{S_p} \quad (\text{IV.3.1})$$

trong đó:

φ_1 - hàm hệ số, được xác định theo đồ thị trên hình IV.3.3

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{p_0}{p_1} - 1} \quad (\text{IV.3.2})$$

p_0 - áp suất nguồn cấp cho trước (hình IV.3.3a),

p_1, p_2 - áp suất trong các khoang.

Khi diện tích hiệu dụng của các khe hở tiết lưu là như nhau $S_{*1} = S_{*2} = S_*$ và dòng chảy ra ngoài có áp suất là 0,1 MPa thì độ giảm áp của piston được xác định

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{N}{S_p} \quad (\text{IV.3.3})$$

trong đó:

N - tải trọng không đổi tác dụng lên piston (có tính cả lực ma sát),

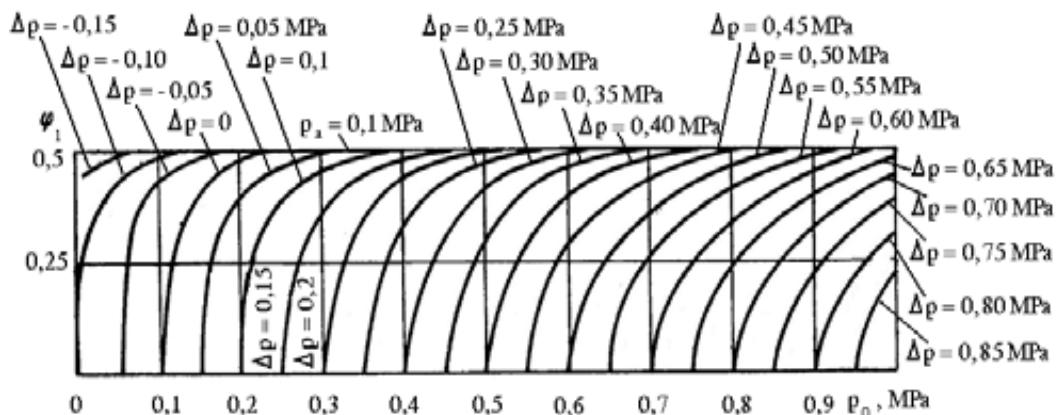
S_p - diện tích của piston, m^2 .

Biến đổi biểu thức (IV.3.1), sẽ nhận được công thức xác định diện tích khe hở thông dòng hiệu dụng

$$S_* = \frac{v S_p}{\varphi_1 \sqrt{2RT}} \quad (\text{IV.3.4})$$

trong đó:

v - vận tốc cho trước lớn nhất của piston chuyển động khi tải trọng cho trước tác dụng lên piston là N .



Hình IV.3.3. Đồ thị xác định hàm số φ_1 .

IV.3.2.2. Độ dịch chuyển lớn nhất của con trượt

Cho trước đường kính của con trượt, sẽ chọn độ dài cửa sổ trên ống lót trực của van trượt (hình IV.3.4) thoả mãn điều kiện

$$l = l_1 + l_2 \quad (\text{IV.3.5})$$

Bạc lót trực 2 có thể chỉ có một cửa sổ hình chữ nhật, khi đó $l = l_1$.

Từ biểu thức tính diện tích cửa sổ tiết lưu thông dòng sẽ xác định độ di chuyển lớn nhất y_{\max} của con trượt 1 nhằm đạt được vận tốc cho trước lớn nhất v_{\max} của piston

$$y_{\max} = \frac{S_*}{\mu(l_1 + l_2)} \quad (\text{IV.3.6})$$

trong đó:

μ - hệ số lưu lượng (khi mờ hết thì $\mu = 0,8$).

Từ bất đẳng thức $b > y_{\max}$ sẽ chọn độ rộng của cửa sổ trên ống lót trực 2. Tính toán quy dân độ dịch chuyển lớn nhất của van trượt được thực hiện đôi với bộ đôi van trượt có sự phủ chòm không.

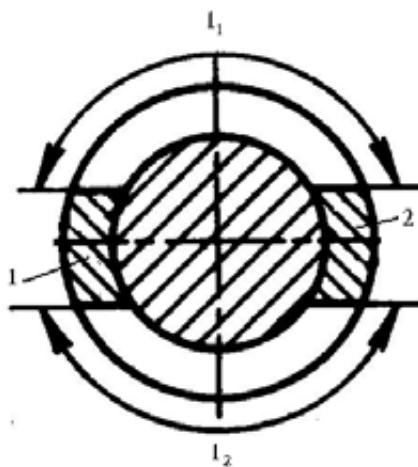
Các kích thước hình học còn lại của con trượt và ống lót trực được chọn từ dữ kiện kết cấu.

IV.3.2.3. Lưu lượng khí được điền vào khoang truyền dẫn piston

Với vận tốc quy định thì công thức xác định lưu lượng khí được điền vào khoang truyền dẫn piston sẽ có dạng

$$G = \rho_1 S_p v \quad (\text{IV.3.7})$$

trong đó:



Hình IV.3.4. Thiết kế cắt của van trượt.

ρ_1 - khối lượng riêng của khí

$$\rho_1 = \frac{p_1}{R T} \quad (\text{IV.3.8})$$

Kết hợp các biểu thức (IV.3.1), (IV.3.7) và (IV.3.8), sẽ nhận được

$$G = p_1 \varphi_1 S_* \sqrt{\frac{2}{R T}} \quad (\text{IV.3.9})$$

Đặt (IV.3.2) vào (IV.3.9), sẽ có

$$G = \frac{p_0 \varphi_1 S_*}{1 + \varphi_1^2} \sqrt{\frac{2}{R T}} \quad (\text{IV.3.10})$$

IV.3.2.4. Thí dụ

Xác định các kích thước chủ yếu của van trượt khi làm việc đồng thời cùng với truyền động piston khí nén. Biết rằng khi chuyển động dừng thì $p_3 = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$; $\theta = 90^\circ$; $p_0 = 0,7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$; $S_p = 0,01 \text{ m}^2$; $T = 293^\circ \text{ K}$; $N = 0,0055 \cdot 10^6 \text{ N}$; $v = 0,1 \text{ m/s}$; $D = 0,01 \text{ m}$

(hình IV.3.1a). Bạc lót trực chỉ có 1 cửa sổ.

Độ chênh áp ở 2 phía của piston được xác định

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{N}{S_p} = \frac{0,0055 \cdot 10^6}{0,01} = 0,55 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Theo đồ thị trên hình IV.3.3 với $p_0 = 0,7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$; $\Delta p = 0,55 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ thì sẽ tìm được $\varphi_1 = 0,25$. Trạng thái chảy qua các khe tiết lưu của van trượt là trạng thái dưới tối hạn. Diện tích hiệu dụng của khe hở được xác định

$$S_* = \frac{v S_p}{\varphi_1 \sqrt{2 R T}} = \frac{0,1 \cdot 0,01}{0,25 \sqrt{2 \cdot 287,14 \cdot 293}} = 9,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,098 \text{ cm}^2$$

Chiều dài của cửa sổ được xác định

$$l_1 = \frac{\pi D}{4} = \frac{3,14 \cdot 1}{4} = 0,786 \text{ cm}$$

Độ dịch chuyển lớn nhất của con trượt là

$$y_{\max} = \frac{S_*}{\mu l_1} = \frac{0,098}{0,8 \cdot 0,786} = 0,156 \text{ cm}$$

Độ rộng của cửa sổ trong ống lót trực được chọn từ bất đẳng thức $b > y_{\max}$. Các kích thước hình học còn lại của ống lót trực và con trượt được chọn từ dữ kiện kết cấu.

Lưu lượng khối của không khí trong khoang tương ứng với vận tốc của piston được xác định từ biểu thức

$$G = \frac{p_0 \varphi_1 S_*}{1 + \varphi_1^2} \sqrt{\frac{2}{R T}} = \frac{0,7 \cdot 10^6 \cdot 0,25 \cdot 9,8 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,25^2} \sqrt{\frac{2}{287,14 \cdot 293}} = 7,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

IV.4. Ống phun tia

Ống phun tia là một phần tử được sử dụng khá rộng rãi trong hệ thống truyền động khí nén.

IV.4.1. Chức năng, công dụng

Ống phun tia được sử dụng trong cụm khuếch đại khí nén tương tự như cụm khuếch đại thuỷ lực cùng kiểu.

IV.4.1.1. Chức năng

Ống phun tia được sử dụng để biến đổi những lực không đáng kể được tạo nên bởi cảm biến, nếu được so sánh với dòng khí rất mạnh được cấp đến khoang công tác của cơ cấu chấp hành khí nén kiểu piston.

IV.4.1.2. Công dụng

Hệ số khuếch đại theo công suất của cơ cấu có thể tăng lên đáng kể nếu nối cơ cấu khuếch đại sử dụng ống phun tia này với cấp khuếch đại thứ hai. Trong trường hợp này thì dòng khí điều khiển từ lối ra của ống phun tia sẽ được cấp đến khoang tương ứng của con trượt trong van trượt. Sử dụng cơ cấu khuếch đại khí nén 2 cấp trở lên nhằm mục đích nâng cao hệ số khuếch đại theo công suất và theo áp suất. Hệ số này bằng tích hệ số khuếch đại của từng cấp riêng biệt mà không làm tăng lực, được tạo nên bởi cảm biến và lực cần thiết để đưa ống phun tia vào hoạt động. Trong thực tế nếu tăng hệ số khuếch đại của ống phun tia bằng cách tăng áp suất nguồn cấp thì sẽ dẫn đến việc làm tăng lực hoán vị, được tạo nên bởi cảm biến và sẽ làm giảm độ chính xác. Do đó trong trường hợp này sẽ làm tăng phản lực của dòng tia và sẽ làm tăng mômen ma sát trong các ổ đỡ của ống phun tia. Nếu tăng số lượng cấp khuếch đại thì sẽ dẫn đến làm tăng đáng kể hệ số khuếch đại tương ứng trong khi lực cần thiết từ phía cảm biến sẽ không được tăng. Do đó cấp thứ nhất được cấp nguồn với áp suất thấp hơn rất nhiều so với cấp thứ hai và các cấp sau.

IV.4.2. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động

Sẽ tiến hành khảo sát ống phun tia

IV.4.2.1. Cấu tạo

Trên hình IV.4.1 là ống phun tia được khảo sát. Cấu tạo của nó bao gồm:

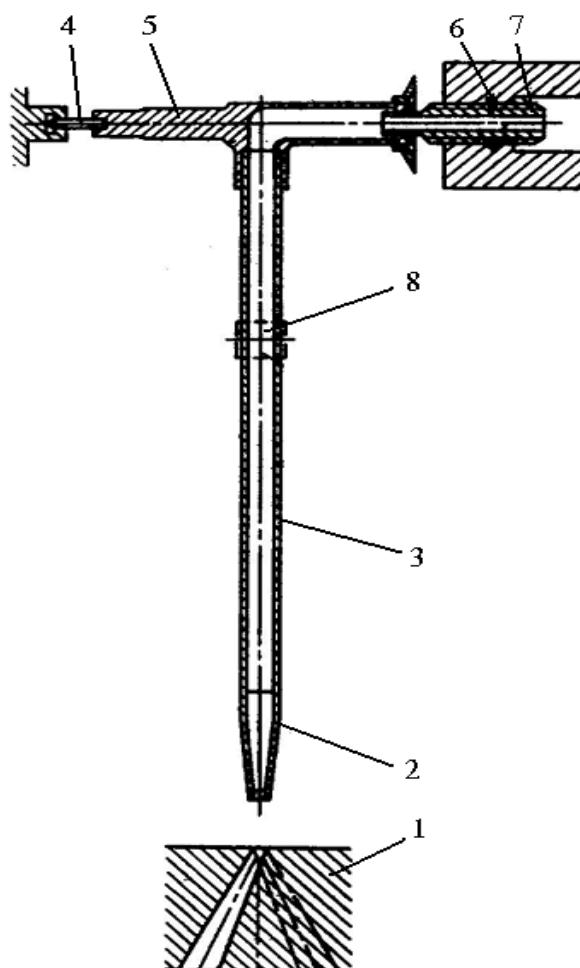
- Ống phun 3 có một đầu được nối với vòi phun 2, còn một đầu được gắn chặt với ống nối 5 kiểu chạc ba.
- Ống nối 5 có hai cữ chặn là kim điều chỉnh 4 và vít điều chỉnh 7 nhằm mục đích cấp không khí có áp vào ống phun 3.

-
- Vòng đệm caosu 6 để ngăn sự rò rỉ khí qua vít điều chỉnh 7.
 - Vòi phun 2 được đặt cách tâm phẳng 1 với các lỗ tiết lưu.

Nhờ có các cữ chặn mà ống phun có thể xoay tự do góc bất kỳ quanh trục trùng với trục của kim điều chỉnh 4, vít điều chỉnh 7.

Sự quay của ống phun xảy ra do tác dụng của lực bên ngoài thông qua cảm biến được đặt vào điểm 8.

Thông thường khi đó thì lực lò xo của bộ định vị sẽ tác dụng theo hướng ngược lại.



Hình IV.4.1. Sơ đồ cấu tạo của ống phun tia.

1. Tâm phẳng với các lỗ nhận dòng phun;
2. Vòi phun;
3. Ống phun;
4. Kim điều chỉnh;
5. Ống nối chặc ba;
6. Vòng đệm caosu;
7. Vít điều chỉnh;
8. Điểm đặt cảm biến.

IV.4.2.2. Nguyên lý hoạt động

Nếu tổng hợp lực của không khí tác dụng lên ống phun tia thì không khí từ vòi phun 2 sẽ phủ chòm như nhau lên các lỗ tiết lưu trên tấm phẳng nhận 1, được cấp đều đến các khoang của dẫn động khí nén kiểu piston, tạo nên áp suất p_1 và p_1^* bằng nhau.

Khi có sự xoay không đáng kể của ống phun tia thì không khí từ vòi phun 2 sẽ phủ chòm không đều nhau lên các lỗ tiết lưu trên tấm phẳng nhận 1.

Do đó áp suất p_1 và p_1^* trong các khoang của dẫn động sẽ khác nhau. Dưới tác dụng của sự chênh lệch áp suất ($p_1 - p_1^*$) thì piston của dẫn động sẽ thực hiện chuyển động.

Thông thường trong cơ cấu điều chỉnh sử dụng ống phun tia thì từ phía piston sẽ có lực của mạch phản hồi tác dụng lên ống phun tia.

Do đó chuyển động của piston sẽ kết thúc sau khi lực của mạch phản hồi thắng được lực của cảm biến, khi đó sẽ đưa ống phun tia về vị trí trung gian.

Như vậy trong ống phun tia cũng như các phần tử của hệ thống sẽ xảy ra sự biến đổi năng lượng 2 lần:

- Khi có dòng khí chuyển động qua vòi phun của ống phun tia thì áp năng của áp lực khí được chuyển thành động năng của dòng khí.
- Khi có dòng khí chuyển động qua các lỗ tiết lưu trên tấm phẳng nhận đến các khoang của dẫn động thì động năng lại được chuyển thành áp năng của áp lực khí.

Trong quá trình biến đổi năng lượng này thường có sự tổn hao vào khoảng 10%.

IV.4.3. Tính toán các đại lượng đặc trưng

Đường kính lối ra của vòi phun thông thường được chọn trong phạm vi $d_v = 1,5 \div 2,5$ mm. Trong vòi phun có một đoạn hình trụ. Vòi phun sẽ có góc côn xấp xỉ 13° . Chiều rộng của tường chắn giữa các lỗ tiết lưu nhận 1 và 2 được chọn là $b = 0,1 \div 0,5$ mm (hình IV.4.2a).

Nếu tường chắn càng nhỏ thì độ nhạy của cơ cấu càng lớn. Các khe dẫn trong tấm nhận (hình IV.4.2b) sẽ có góc côn mở ra vào khoảng $\theta \approx 10^\circ$.

Việc mở côn của các khe dẫn trong tấm phẳng nhận là cần thiết để biến đổi tối ưu động năng của dòng khí thành thế năng của áp lực khí.

IV.4.3.1. Khoảng cách giữa mặt bích của vòi phun với tấm chắn

Trong quá trình hoạt động của cơ cấu khuếch đại với ống phun tia, để tránh sự tác động của dòng khí chuyển động theo hướng ngược lại từ các lỗ tiết lưu nhận đến ống phun tia và để tránh sự tạo nên mômen bô xung, thì các khe nhận sẽ được bố trí

nghiêng một góc trong các mặt phẳng vuông góc với đường thẳng nối tâm của các lỗ tiết lưu nhện.

Giá trị nhỏ nhất của khoảng cách giữa mặt bích của vòi phun và tấm chắn có các lỗ tiết lưu nhện được xác định

$$h_{\min} = \frac{d_1 \sin \psi + d_2}{2 \cos \psi} \quad (\text{IV.4.1})$$

trong đó:

d_1 - đường kính mặt bích của vòi phun,

d_2 - đường kính của lỗ tiết lưu nhện,

ψ - góc nghiêng của dòng khí so với tấm phẳng nhện.

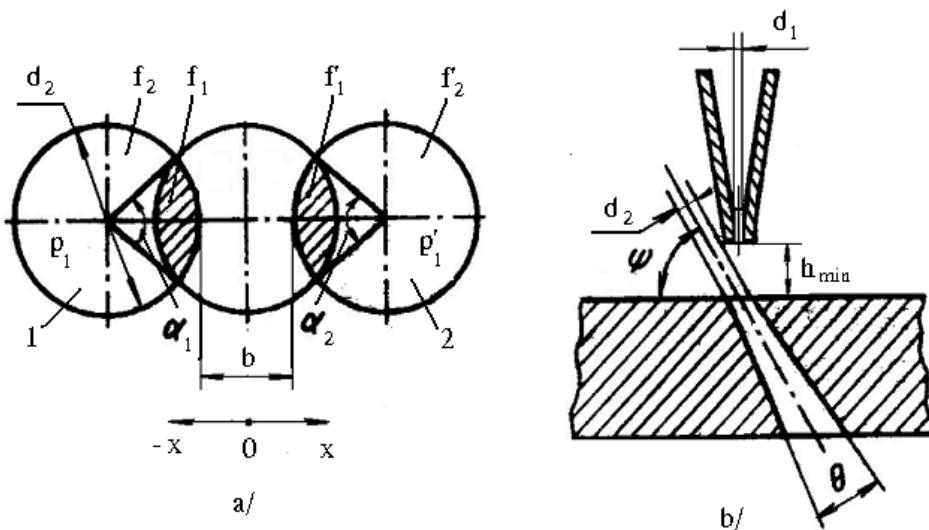
IV.4.3.2. Phản lực tác dụng lên ống phun tia

Phản lực được tạo nên bởi dòng khí chuyển động ra từ vòi phun sẽ tác dụng lên ống phun tia phải đi qua trục xoay của ống phun tia. Khi đó thì mômen được tạo nên bởi phản lực sẽ bằng không. Phản lực là tổng hợp của 2 lực, bao gồm:

- Lực thứ nhất được quy ước là sự thay đổi động lượng từ giá trị lớn nhất tại mặt cắt của vòi phun đến giá trị không tại khoảng cách vô cùng lớn từ vòi phun.
- Lực thứ hai là hiệu giữa áp lực bên trong ống phía trước vòi phun và áp lực do áp suất khí quyển xung quanh vòi phun

$$N = Gv + S(p_0 - p_2) \quad (\text{IV.4.2})$$

trong đó:



Hình IV.4.2. Sơ đồ để tính toán ống phun tia.

G - lưu lượng khói của không khí chuyển động ra từ vòi phun,

v - vận tốc của không khí tại mặt cắt của vòi phun,

S - diện tích thiết diện thông dòng của vòi phun,

p₀ - áp suất ở phía trước vòi phun,

p₂ - áp suất khí xung quanh vòi phun.

Tại trạng thái chảy dưới tối hạn thì các biểu thức xác định lưu lượng khói G và vận tốc v sẽ có dạng

$$G = \mu S \sqrt{\frac{2p_2(p_0 - p_2)}{RT}},$$
$$v = \frac{G}{Sp_2} = \mu \sqrt{\frac{2RT(p_0 - p_2)}{p_2}}$$
 (IV.4.3)

Đặt biểu thức (IV.4.3) vào biểu thức (IV.4.2), sẽ nhận được phản lực tác dụng lên ống phun tia đối với trạng thái chảy dưới tối hạn ($\mu \approx 0,8$)

$$N = S(p_0 - p_2)(2\mu^2 + 1) \quad (\text{IV.4.4})$$

Tại trạng thái chảy trên tối hạn ($p_2/p_0 \leq 0,5$) thì biểu thức xác định lưu lượng khói G sẽ có dạng

$$G = \mu S p_0 \sqrt{\frac{1}{2RT}} \quad (\text{IV.4.5})$$

Đặt biểu thức (IV.4.5) vào (IV.4.2), sẽ nhận được phản lực tác dụng lên ống phun tia đối với trạng thái chảy trên tối hạn

$$N = S \left(\frac{\mu^2 p_0^2}{2p_2} + p_0 - p_2 \right) \quad (\text{IV.4.6})$$

Phản lực tác dụng lên ống phun tia sẽ tạo nên mômen cản trong các vòng bi đỡ. Để làm giảm mômen cản thì thường bố trí ống phun tia sao cho vòi phun hướng xuống dưới để sao cho phản lực N làm giảm giá trị trọng lượng của ống phun tia.

Ống phun tia phải được cân bằng rất cẩn thận bằng việc điều chỉnh của các tải trọng chuyên dụng.

IV.4.3.3. Đặc tính tĩnh của ống phun tia

Giá trị đường kính của các lỗ tiết lưu nhận được phân bố trên bản phẳng thông thường được chọn bằng hoặc lớn hơn đường kính vòi phun lối ra của ống phun tia để đảm bảo sao cho dòng chảy rời tự do thoát ra từ vòi phun của ống phun tia sẽ được mở rộng ra.

Tuy nhiên không nên tăng đường kính của các lỗ tiết lưu nhện lớn hơn 0,1 mm so với đường kính vòi phun lói ra của ống phun tia, bởi vì như vậy sự chuyển động của không khí từ môi trường xung quanh sẽ được tăng lên, vận tốc và áp suất tĩnh tại các kênh nhện sẽ giảm xuống.

Đặc tính tĩnh của ống phun tia là mối liên hệ giữa các áp suất và tại các kênh nhện, độ chênh áp trên piston của cơ cấu piston khí nén đối với độ dịch chuyển của đầu ống phun tia so với các lỗ tiết lưu nhện trên bản phẳng.

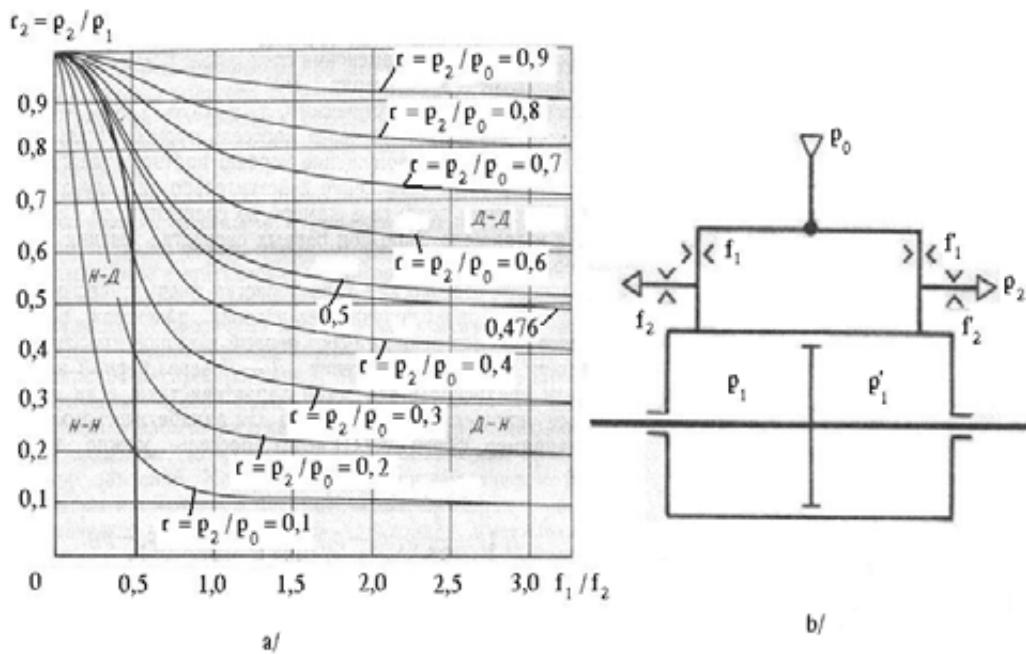
Đặc tính tĩnh này có thể biểu diễn gần đúng theo đồ thị trên hình IV.4.3a.

Khi đó ống phun tia cùng các lỗ tiết lưu nhện và dẫn động piston kết nối với piston được chốt chặt sẽ được xem xét như 2 khoang chảy (hình IV.4.3b).

Trong các khoang này áp suất nguồn sẽ được cấp đến các thiết diện thông dòng của các tiết lưu.

Các thiết diện thông dòng này sẽ được phân chia thành:

- Diện tích hiệu dụng phủ chèm các lỗ tiết lưu nhện bằng lỗ vòi phun của ống phun tia là f_1 và f'_1 .
- Diện tích hiệu dụng của các tiết lưu nối các khoang chảy với khí quyển là f_2 và f'_2 .



Hình IV.4.3.

- Đồ thị xác định áp suất trong khoang giữa các tiết lưu chảy rời.
- Sơ đồ biến đổi của 2 khoang chảy khi điều khiển dẫn động piston bởi ống phun tia.

Các diện tích hiệu dụng này được tính theo công thức

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{\mu \pi d^2}{4} \left(\frac{\alpha_1}{180} - \frac{\sin \alpha_1}{\pi} \right), \\ f'_1 &= \frac{\mu \pi d^2}{4} \left(\frac{\alpha_2}{180} - \frac{\sin \alpha_2}{\pi} \right), \\ f_2 &= \frac{\mu \pi d^2}{4} \left(1 - \frac{\alpha_1}{180} + \frac{\sin \alpha_1}{\pi} \right), \\ f'_2 &= \frac{\mu \pi d^2}{4} \left(1 - \frac{\alpha_2}{180} + \frac{\sin \alpha_2}{\pi} \right) \end{aligned} \quad (\text{IV.4.7})$$

Các công thức quy đổi có hiệu quả đối với trường hợp bằng nhau của các đường kính d_2 của các lỗ tiết lưu nhận đối với đường kính d_1 lỗ voi phun của ống phun tia ($d_1 = d_2 = d$). Khi đó giả thiết rằng tại độ lệch lớn nhất của ống phun tia thì góc giữa mặt phẳng của bản phẳng nhận và mặt phẳng đầu mút voi phun của ống phun tia sẽ tiệm cận đến giá trị không.

Các góc α_1 và α_2 (hình IV.4.2a) được tính theo công thức

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 2 \arccos \frac{b+d+2x}{2d}, \\ \alpha_2 &= \arccos \frac{b+d-2x}{2d} \end{aligned} \quad (\text{IV.4.8})$$

trong đó:

b - độ rộng vách chẵn giữa các lỗ tiết lưu,

x - độ dịch chuyển đầu mút của ống phun tia,

d - đường kính của voi phun và của các lỗ tiết lưu nhận.

Tỉ số tương ứng của diện tích hiệu dụng mà giá trị của nó cần thiết để xác định áp suất p_1 và p'_1 trong các khoang của truyền động khí nén theo đồ thị trên hình IV.4.3a được xác định

$$\begin{aligned} \frac{f_1}{f_2} &= \frac{1}{\frac{180\pi}{\alpha_1\pi - 180\sin\alpha_1} - 1}, \\ \frac{f'_1}{f'_2} &= \frac{1}{\frac{180\pi}{\alpha_2\pi - 180\sin\alpha_2} - 1} \end{aligned} \quad (\text{IV.4.9})$$

IV.4.3.4. Thí dụ

Xác định áp suất dùng p_1 và p'_1 (hình IV.4.3b) trong các khoang xilanh của cơ cấu piston khí nén, được điều khiển bằng ống phun tia trong tĩnh học nếu đường kính lỗ

tiết lưu vòi phun của ống phun tia và đường kính lỗ tiết lưu của bản phẳng nhận như nhau $d = 2 \text{ mm}$; áp suất tuyêt đối phía trước lỗ tiết lưu của ống phun tia $p_0 = 0,5 \text{ MPa}$; áp suất khí quyển $p_2 = 0,1 \text{ MPa}$; $b = 0,2 \text{ mm}$, $x = -0,1 \text{ mm}$.

Sự làm kín khít của piston và cần piston sẽ được coi như kín tuyệt đối.

Theo công thức được nêu ở trên sẽ tính

$$\alpha_1 = 2\arccos \frac{0,2 + 2 - 0,2}{4} = 120^\circ,$$

$$\alpha_2 = \arccos \frac{0,2 + 2 + 0,2}{4} = 106^\circ 20'$$

Sử dụng các công thức nêu trên, tính tỉ số các diện tích hiệu dụng

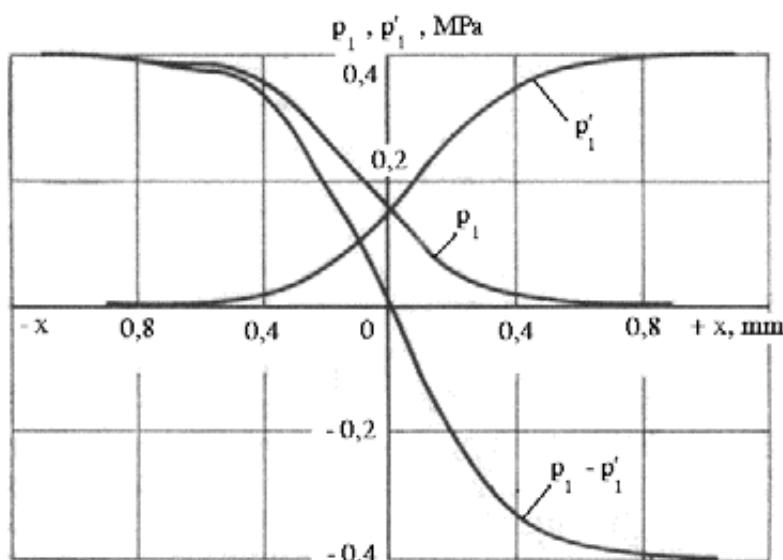
$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{1}{\frac{180 \cdot 3,14}{120 \cdot 3,14 - 180 \sin 120^\circ} - 1} = 0,64,$$

$$\frac{f'_1}{f'_2} = \frac{1}{\frac{180 \cdot 3,14}{106,33 \cdot 3,14 - 180 \sin 106^\circ 20'} - 1} = 0,402$$

Theo đồ thị trên hình IV.4.3a sẽ sử dụng đường cong với $r = \frac{p_2}{p_0} = \frac{0,1}{0,5} = 0,2$,

theo các giá trị tìm được f_1/f_2 và f'_1/f'_2 sẽ tính $\frac{p_2}{p_1} = 0,322$ và $\frac{p_2}{p'_1} = 0,504$.

Từ đó



Hình IV.4.4. Thiết diện cắt của van trượt.

$$p_1 = \frac{p_2}{0,322} = \frac{0,1}{0,322} = 0,31 \text{ MPa},$$

$$p'_1 = \frac{p_2}{0,504} = \frac{0,1}{0,504} = 0,198 \text{ MPa}$$

Bằng phương pháp này xác định các áp suất p_1 và p'_1 đối với các giá trị khác của x , có thể xây dựng đặc tính tĩnh của ống phun tia (hình IV.4.4).

CHƯƠNG V
KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC
CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG KHÍ NÉN
BÀI 11
KHOANG KHÍ NÉN VÀ
CÁC KÊNH THÔNG TIN LIÊN KẾT

V.1.1. Tính học của khoang trao đổi khí nén.	171
V.1.1.1. Tính học của khoang trao đổi khí nén có chứa 2 tiết lưu chảy rối.	172
V.1.1.2. Khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu biến đổi. Xác định hệ số lưu lượng khi tính toán đặc tính tĩnh.	174
V.1.1.3. Các phương pháp cải thiện đặc tính tĩnh của khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn.	176
V.1.1.4. Tổ hợp các tiết lưu khí nén.	182
V.1.1.5. Tính học của khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy tầng.	185
V.1.1.6. Tính học khoang trao đổi khí nén với các kiểu tiết lưu khác nhau.	187

BÀI 11. KHOANG KHÍ NÉN VÀ CÁC KÊNH THÔNG TIN LIÊN KẾT

Trong chương V đã tiến hành khảo sát các phần tử cơ bản nhất trong hệ thống tự động khí nén.

Các phần tử chức năng có cấu tạo từ các phần tử cơ bản nhất và sẽ có những đặc tính tinh và động lực học rất phức tạp tuỳ theo cấu trúc của chúng.

Sẽ tiến hành khảo sát động lực học của các phần tử chức năng:

- Khoang khí nén và các kênh thông tin liên kết.
- Các phần tử phun tia tác dụng không liên tục.
- Cơ cấu tính toán, cơ cấu điều khiển và cơ cấu điều chỉnh dạng màng.
- Cảm biến và bộ biến đổi khí nén.
- Cơ cấu chấp hành khí nén.
- Cơ cấu âm thanh - khí.

Khoang khí nén là phần tử chức năng trong hệ thống tự động khí nén.

Khoang khí nén có thể có thể tích không đổi hoặc thể tích thay đổi và được chia thành 2 loại:

- Khoang khí nén trao đổi.
- Khoang khí nén không trao đổi.

Khoang khí nén trao đổi có chứa 2 tiết lưu hoặc nhiều hơn và thông qua các tiết lưu này không khí sẽ có thể đi vào khoang hoặc thoát ra khỏi khoang. Khoang khí nén trao đổi có thể được sử dụng như bộ chia áp suất tuyệt đối và bộ chia áp suất dư.

Nếu tiết lưu của khoang khí nén trao đổi tuyến tính thì khoang khí nén trao đổi có thể hoạt động như bộ cộng áp suất đơn giản nhất.

Trong các thiết bị điều chỉnh khí nén đã sử dụng khoang khí nén trao đổi với vai trò của bộ khuếch đại vòi phun - tấm chắn có tiết lưu không đổi tại lối vào và tiết lưu biến đổi dạng vòi phun - tấm chắn tại lối ra của khoang khí nén.

Có thể sử dụng khoang khí nén trao đổi để chế tạo các khâu không tuần hoàn.

Khoang khí nén không trao đổi chỉ có duy nhất 1 tiết lưu, thông qua tiết lưu chỉ có thể xảy ra hoặc việc điền khí, hoặc việc xả khí.

Khoang khí nén không trao đổi với các tiết lưu sẽ có các tính chất của mình tiệm cận đến khâu không tuần hoàn.

Còn khoang khí nén không trao đổi với thể tích đàm hồi biến thiên được sử dụng khi chế tạo các cơ cấu vi phân, cơ cấu tích phân khí nén, máy phát xung, cơ cấu dịch chuyển, role thời gian...

Khoang khí nén chứa phần tử đàn hồi mà không có tiết lưu được sử dụng trong tự động khí nén như chức năng của bình chứa được coi như bình tích nén.

Khi làm thay đổi lực cản của tiết lưu được gắn trong khoang khí nén, độ cứng và diện tích hiệu dụng của phần tử đàn hồi, cũng như thể tích sẽ làm ảnh hưởng đáng kể đến các đặc tính tĩnh và đặc tính động lực học của khoang khí nén.

Trong khoang khí nén không trao đổi chỉ sử dụng các tính chất động lực học, còn trong khoang khí nén trao đổi thì sử dụng cả các tính chất tĩnh cũng như các tính chất động lực học.

V.1.1. Tính học của khoang trao đổi khí nén

Trong hệ thống tự động khí nén sử dụng khá phổ biến khoang trao đổi khí nén có chứa 2 tiết lưu chảy rói.

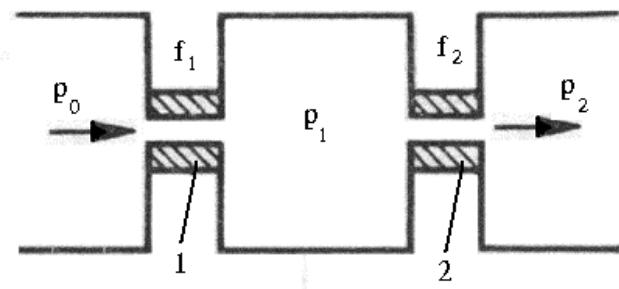
V.1.1.1. Tính học của khoang trao đổi khí nén có chứa 2 tiết lưu chảy rói

Trong khoang trao đổi khí nén loại này (hình V.1.1) có thể xảy ra 4 tổ hợp các chế độ chảy khác nhau qua các tiết lưu 1 và 2:

- Trạng thái chảy dưới tối hạn qua các tiết lưu 1 và 2 (? Д-?).
- Trạng thái chảy trên tối hạn qua tiết lưu 1 và trạng thái chảy dưới tối hạn qua tiết lưu 2 (? Д-?).
- Trạng thái chảy dưới tối hạn qua tiết lưu 1 và trạng thái chảy trên tối hạn qua tiết lưu 2 (? Н-?).
- Trạng thái chảy trên tối hạn qua các tiết lưu 1 và 2 (? Н-?).

Phương trình đặc tính tĩnh của khoang trao đổi khí nén có chứa 2 tiết lưu chảy rói có thể nhận được từ điều kiện cân bằng lưu lượng tại trạng thái dừng qua tiết lưu 1 và 2.

Đối với trạng thái chảy dưới tối hạn qua các tiết lưu 1 và 2 (? Д-?) thì phương trình đặc tính tĩnh qua tiết lưu có thể viết



Hình V.1.1. Sơ đồ khoang trao đổi khí nén với 2 tiết lưu chảy rói.

$$f_1 \sqrt{\frac{2p_1(p_0 - p_1)}{RT}} = f_2 \sqrt{\frac{2p_2(p_1 - p_2)}{RT}} \quad (\text{V.1.1})$$

trong đó:

f_1, f_2 - diện tích hiệu dụng của các tiết lưu 1, 2 là tích các diện tích hình học với hệ số lưu lượng.

Ký hiệu $p_2/p_0 = r, p_1/p_0 = r_1, p_2/p_1 = r_2$, khi đó đối với trạng thái chảy dưới tối hạn qua các tiết lưu 1 và 2 (? Δ- ?) với $r = r_1 r_2$, sẽ nhận được

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 = \frac{r_2 r (1-r_2)}{r_2 - r}; r_1 \geq 0,5; r_2 \geq 0,5 \quad (\text{V.1.2})$$

Bằng phương pháp tương tự sẽ nhận được phương trình đặc tính tinh đối với các trạng thái chảy còn lại qua các tiết lưu 1 và 2 của khoang trao đổi khí nén có chứa 2 tiết lưu chảy rồi:

- Đối với trạng thái chảy dưới tối hạn qua tiết lưu 1 và trạng thái chảy trên tối hạn qua tiết lưu 2 (? H- ?) thì

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 = \frac{4r^2 (1-r_2)}{r_2}; r_1 \leq 0,5; r_2 \geq 0,5 \quad (\text{V.1.3})$$

- Đối với trạng thái chảy trên tối hạn qua tiết lưu 1 và trạng thái chảy dưới tối hạn qua tiết lưu 2 (? Δ- ?) thì

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 = \frac{r}{4(r_2 - r)}; r_1 \geq 0,5; r_2 \leq 0,5 \quad (\text{V.1.4})$$

- Đối với trạng thái chảy trên tối hạn qua các tiết lưu 1 và 2 (? H- ?) thì

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{r}{r_2}; r_1 \leq 0,5; r_2 \leq 0,5 \quad (\text{V.1.5})$$

Tuy nhiên việc thực hiện các tính toán đặc tính tinh theo các công thức (V.1.2) ÷ (V.1.5) rất khó khăn vì không thể biết trước trạng thái chảy qua các tiết lưu 1, 2 của khoang trao đổi khí nén có chứa 2 tiết lưu chảy rồi.

Việc tính toán khoang trao đổi khí nén có chứa 2 tiết lưu chảy rồi sẽ đơn giản hơn nếu sử dụng biểu đồ theo hình V.4.3a, được xây dựng theo các công thức (V.1.2) ÷ (V.1.5).

Các đồ thị được chia thành 4 khu vực, mỗi khu vực tương ứng với một trong các trạng thái chảy có thể qua các tiết lưu của khoang trao đổi khí nén.

Biên giữa các khu vực $? - ?, ? - ?$ và $? - ?, ?, - ?$ được biểu thị bằng phương trình đường thẳng $r_2 = 0,5$.

Khi $r_2 \geq 0,5$ thì tại tiết lưu thứ hai luôn luôn tồn tại trạng thái chảy dưới tối hạn, còn khi $r_2 \leq 0,5$ thì tại tiết lưu thứ hai luôn luôn tồn tại trạng thái chảy trên tối hạn.

Phương trình biên giữa các khu vực? - ? và? - ? được xác định từ phương trình đối với các trạng thái chảy? - ? được lắp giá trị $r_2 = \frac{r}{r_1} = \frac{r}{0,5}$, giống như trên biên của các khu vực là $r_1 = 0,5$. Từ đó sẽ nhận được $\frac{f_1}{f_2} = 0,5$.

Phương trình biên giữa các khu vực? - ? và? - ? có thể được xác định nếu thay r trong phương trình tĩnh học đối với trạng thái chảy? - ? bằng tích $r_1 r_2$ và lắp giá trị $r_1 = 0,5$ vào biểu thức nhận được. Sau khi biến đổi, sẽ nhận được

$$\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 = r_2 (1 - r_2) \quad (\text{V.1.6})$$

Sử dụng biểu đồ theo hình V.4.3a sẽ xác định áp suất trong khoang giữa các tiết lưu p_1 nếu đã biết diện tích hiệu dụng của các tiết lưu f_1 và f_2 và áp suất p_0 và p_2 . Khi đó có thể xác định đồng thời trạng thái chảy qua các tiết lưu 1 và 2.

Khi chế tạo các đặc tính tĩnh của khoang trao đổi khí nén phải tính đến các hệ số lưu lượng qua các tiết lưu 1 và 2 bởi vì trong trường hợp ngược lại thì tính toán có thể đưa đến sai số đáng kể.

V.1.1.2. Khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu biến đổi.

Xác định hệ số lưu lượng khi tính toán đặc tính tĩnh

Trong hệ thống tự động khí nén, bên cạnh khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu cố định còn sử dụng khá phổ biến khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu biến đổi (bộ khuếch đại dạng vòi phun - tấm chắn) và khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu điều chỉnh được.

Đối với khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu cố định thì hệ số lưu lượng có thể coi gần đúng là không đổi, còn đối với khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu biến đổi (hình V.1.2a) thì hệ số lưu lượng sẽ được thay đổi trong phạm vi rộng.

Do đó trong khi tính toán các đặc tính tĩnh thì phải tính đến sự thay đổi của hệ số lưu lượng.

Trong trường hợp này thì đặc tính tĩnh là mối liên hệ giữa áp suất trong khoang giữa các tiết lưu với độ mở của tiết lưu tại trạng thái dừng.

Độ mở của tiết lưu có thể được đặc trưng bởi khoảng cách h giữa vòi phun và tấm chắn. Sẽ sử dụng phương pháp gần đúng liên tiếp để xác định hệ số lưu lượng.

Giả thiết cần xác định áp suất p_1 trong khoang giữa các tiết lưu đối với các giá trị cho trước của thiết diện thông dòng F_1 và F_2 và áp suất p_0 và p_2 .

Trong giá trị gần đúng thứ nhất cho giá trị áp suất p_1^{I*} sao cho $p_0 > p_1^I > p_2$.

Do đã biết tất cả các tham số của tiết lưu 1 và 2, theo đồ thị trên hình V.1.6b, sẽ xác định hệ số lưu lượng μ_1^I và μ_2^I .

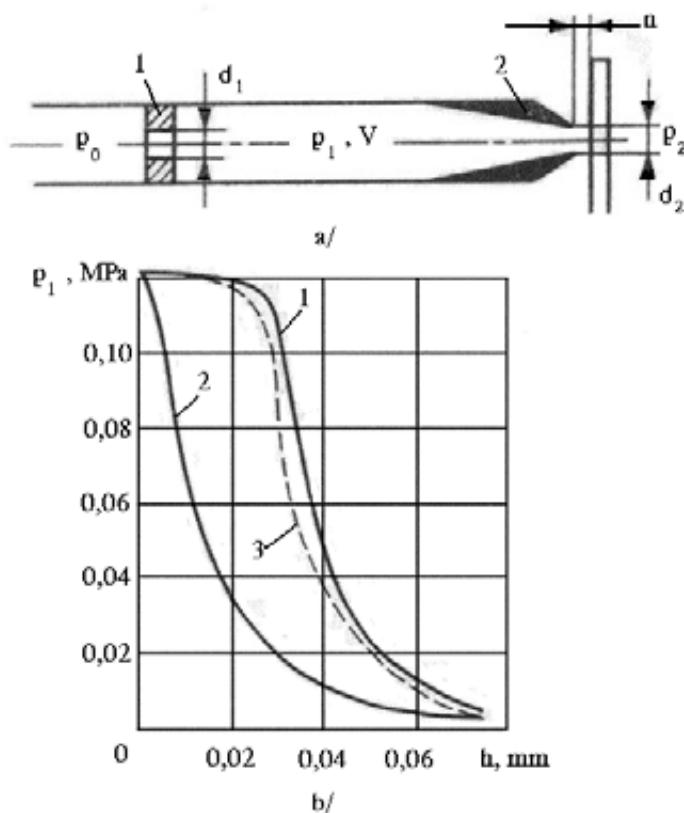
Tính tỉ số của các diện tích hiệu dụng

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)_I = \frac{\mu_1^I F_1}{\mu_2^I F_2} \quad (\text{V.1.7})$$

Theo đồ thị trên hình V.4.3a đổi với tỉ số đã cho p_2/p_0 , sẽ tìm được giá trị $(p_2/p_1)_H$.

So sánh giá trị này với với giá trị $(p_2/p_1)_I$ trước, nhận được bằng cách chia p_2 cho p_1^I .

Nếu chúng còn sai khác đáng kể thì chuyên đến giá trị gần đúng tiếp theo.



Hình V.1.2.

- a. Sơ đồ khoang trao đổi khí nén với tiết lưu biến đổi dạng vòi phun - tâm chấn.
- b. Đặc tính tĩnh của bộ khuếch đại dạng vòi phun - tâm chấn.

Khi đã biết giá trị mới $p_1^{\text{II}} = \frac{p_2}{(p_2/p_1)_{\text{II}}}$ thì tính μ_1^{II} và μ_2^{II} .

Đối với giá trị mới của tỉ số

$$\left(\frac{f_1}{f_2}\right)_{\text{II}} = \frac{\mu_1^{\text{II}} F_1}{\mu_2^{\text{II}} F_2} \quad (\text{V.1.8})$$

thì theo đồ thị trên hình V.4.3a sẽ tìm được giá trị mới $(p_2/p_1)_{\text{III}}$. Tiếp tục thực hiện như vậy cho đến khi tỉ số tìm được $(p_2/p_1)_{\text{N}}$ sẽ trở nên bằng với $(p_2/p_1)_{\text{N-1}}$, sau đó sẽ xác định p_1 .

Quá trình tìm p_1 sẽ được hội tụ sau 3 hoặc 4 giá trị gần đúng liên tiếp.

Trên hình V.1.2b biểu diễn các đặc tính tĩnh của khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn với các tham số nhận được. Trong đó:

1. Đặc tính tĩnh thực nghiệm.
2. Đặc tính tĩnh được xác định khi không tính đến sự biến đổi của hệ số lưu lượng.
3. Đặc tính tĩnh được xác định khi tính đến sự biến đổi của hệ số lưu lượng bằng phương pháp gần đúng liên tiếp.

Từ đồ thị nhận thấy nếu không tính đến sự biến đổi của hệ lưu lượng khi xác định đặc tính tĩnh của tiết lưu biến đổi dạng vòi phun - tâm chấn thì sẽ đưa đến sai số đáng kể.

V.1.1.3. Các phương pháp cải thiện đặc tính tĩnh của khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn

Hầu hết các thiết bị tính toán khí nén dạng màng đều sử dụng cơ cấu khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn.

Để nâng cao độ nhạy và độ chính xác của các thiết bị khí nén cần phải thực hiện các bước như sau để làm tăng sự thay đổi áp suất hoàn toàn trên phần công tác:

- Làm tăng độ cong phần công tác đối với đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn.
- Làm dịch chuyển phần công tác bên phải từ gốc toạ độ đến khu vực có áp suất cao.
- Làm dịch chuyển phía bên trái của phần công tác đến khu vực có áp suất cao.

Nói cách khác cần phải tận dụng khả năng cao nhất để sao cho đặc tính tĩnh tiệm cận đến đặc tính rôle (hình V.1.3). Sự biến đổi này của đặc tính tĩnh sẽ:

- Đưa ra khả năng làm giảm hành trình công tác đầy đủ của tâm chấn so với vòi phun.
- Làm hạn chế hành trình công tác đầy đủ của tâm chấn so với vòi phun bởi phần không lớn của khu vực tuyến tính của đặc tính tĩnh.

- Thực hiện việc đẩy tấm chắn khỏi vòi phun.

Để làm tiệm cận đặc tính tĩnh đến đặc tính role thì trong cơ cấu khuếch đại khí nén sẽ có cơ cấu chuyên dụng để duy trì độ giảm áp suất không đổi tại 1 trong các tiết lưu (cố định hoặc biến thiên) hoặc đồng thời tại cả hai loại này.

Tại đây sẽ xem xét ảnh hưởng của độ giảm áp suất không đổi lên hình dạng đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại khí nén.

Giả thiết có cơ cấu tự động duy trì độ giảm áp suất không đổi Δp_{nc} tại tiết lưu cố định. Khi $h = 0$ thì $p_1 = p_0$. Khi làm tăng h , thì áp suất p_1 sẽ bị giảm (hình V.1.4a).

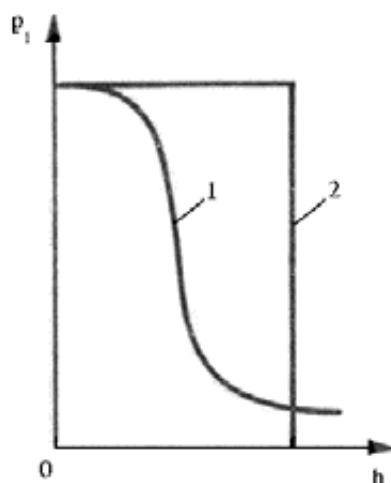
Tuy nhiên khi hiệu áp suất $p_0 - p_1$ chưa đạt đến giá trị giảm áp cho trước Δp_{nc} , thì áp suất p_0 sẽ giữ nguyên không đổi.

Do đó, khi $p_0 - p_1 < \Delta p_{nc}$ thì đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại được xem xét sẽ trùng với đặc tính tĩnh 1 của cơ cấu khuếch đại thông thường. Giá trị biên h sẽ là h_0 , trong đó $p_0 - p_1$ sẽ trở nên bằng giá trị đã cho Δp_{nc} .

Khi tiếp tục tăng h thì hiệu $p_0^* - p_1$ sẽ được duy trì không đổi, sẽ đảm bảo sự giảm tương ứng p_0^* khi làm giảm p_1 .

Như vậy, khi $h > h_0$ thì sự giảm áp suất lối ra p_1 sẽ xảy ra không chỉ do sự giảm lực cản tại vòi phun, mà còn do sự giảm áp suất nguồn cấp p_0^* . Do đó phần công tác của đặc tính tĩnh 2 sẽ có sự tăng độ cong.

Khảo sát hoạt động của cơ cấu khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tấm chắn với độ giảm áp suất không đổi tại tiết lưu biến đổi $\Delta p_{np} = p_1 - p_2^*$.



Hình V.1.3. Sự so sánh đặc tính của cơ cấu khuếch đại vòi phun - tấm chắn với đặc tính role.

1. Đặc tính tĩnh của bộ khuếch đại khí nén.
2. Đặc tính role.

Điều kiện $\Delta p_{np} = p_1 - p_2^*$ sẽ được thực hiện thậm chí khi $h = 0$.

Đặc tính tĩnh 3 của cơ cấu khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn với độ giảm áp suất không đổi tại tiết lưu biến đổi do áp suất cản được tạo nên phía sau vòi phun sẽ vượt cao hơn đặc tính tĩnh 1 của cơ cấu khuếch đại bình thường (hình V.1.4b).

Nhờ đó khi làm tăng h , thì đồng thời sẽ xảy ra:

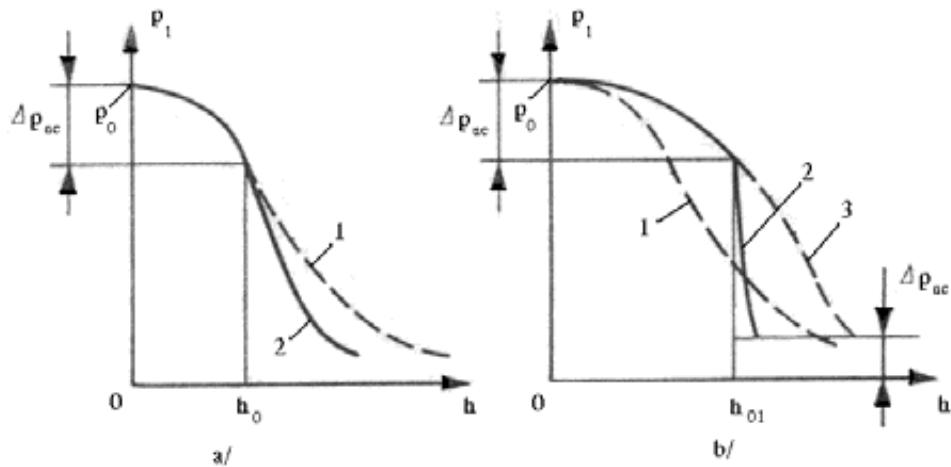
- Sự giảm áp suất p_2^* ,
- Đặc tính với độ giảm áp suất không đổi tại tiết lưu biến đổi với các giá trị trung bình và giá trị lớn nhất của h sẽ có độ cong lớn hơn so với đặc tính của cơ cấu khuếch đại bình thường.

Tuy nhiên với các giá trị nhỏ của h thì do độ giảm áp suất không đổi Δp_{np} tại tiết lưu biến đổi nên đặc tính cơ cấu khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn sẽ thoai thoái hơn so với đặc tính của cơ cấu khuếch đại bình thường.

Giá trị nhỏ nhất của áp suất dư p_1 tại khoang giữa các tiết lưu của cơ cấu khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn sẽ bằng Δp_{np} .

Sự tiệm cận lớn nhất giữa đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn và đặc tính rеле sẽ đưa đến việc tạo nên các độ giảm áp không đổi đồng thời trên các tiết lưu cố định và tiết lưu biến đổi.

Phần ban đầu đặc tính tĩnh 2 của cơ cấu khuếch đại khí nén dạng vòi phun - tâm chấn này sẽ được phân bố cao hơn so với đặc tính tĩnh 1 của cơ cấu khuếch đại bình thường.



**Hình V.1.4. Đặc tính của cơ cấu khuếch đại vòi phun - tâm chấn
với độ giảm áp suất không đổi tại các tiết lưu.**

- Với độ giảm áp suất không đổi tại tiết lưu cố định.
- Với độ giảm áp suất không đổi tại các tiết lưu cố định và biến đổi.

Khi $h > h_0$, thì hiệu áp suất cho trước sẽ đạt được $p_0^* - p_1$ và cơ cấu khuếch đại sẽ làm việc với độ giảm áp không đổi tại các tiết lưu cố định và tiết lưu biến đổi.

Phản công tác trên đặc tính tĩnh 2 của cơ cấu khuếch đại với độ giảm áp không đổi tại cả hai loại tiết lưu sẽ dốc đứng hơn phản công tác của đặc tính role với độ giảm áp không đổi chỉ tại tiết lưu cố định, còn áp suất dư nhỏ nhất p_1 tại khoang giữa các tiết lưu bằng Δp_{np} .

Thực hiện việc diễn giải các phương trình của các cơ cấu khuếch đại khí nén với độ giảm áp không đổi tại các tiết lưu đối với dòng chảy dưới tới hạn qua các tiết lưu thứ nhất và thứ hai.

Đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại khí nén với độ giảm áp không đổi tại tiết lưu cố định sẽ được biểu diễn bởi hệ 2 phương trình:

- Phương trình thứ nhất đối với phần $h_0 \geq h \geq 0$ tương ứng với phương trình đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại bình thường.

Phương trình này được đưa ra từ sự cân bằng lưu lượng trong trạng thái tĩnh tại các tiết lưu thứ nhất và thứ hai của cơ cấu khuếch đại khí nén.

Sử dụng biểu thức (V.1.15) với $f_1 = \mu_1 \pi d_1^2 / 4$ và $f_2 = \mu_2 \pi d_2 h$ sẽ nhận được

$$\frac{\mu_1 \pi d_1^2}{4} \sqrt{\frac{2p_1(p_0 - p_1)}{RT}} = \frac{\mu_2 \pi d_2 h}{4} \sqrt{\frac{2p_2(p_1 - p_2)}{RT}} \quad (\text{V.1.9})$$

Giải phương trình (V.1.9) sẽ nhận được giá trị của h

$$h = \frac{\mu_1 d_1^2}{4\mu_2 d_2} \sqrt{\frac{p_1(p_0 - p_1)}{p_2(p_1 - p_2)}} \quad (\text{V.1.10})$$

- Phương trình thứ hai đối với phản công tác ($h \geq h_0$) của đặc tính tĩnh có thể nhận được từ biểu thức (V.1.10) bằng cách thay $p_0 - p_1$ bằng Δp_{nc}

$$h = \frac{\mu_1 d_1^2}{4\mu_2 d_2} \sqrt{\frac{p_1 \Delta p_{nc}}{p_2(p_1 - p_2)}} \quad (\text{V.1.11})$$

Khi đó đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại với độ giảm áp không đổi tại tiết lưu cố định có thể được viết bằng hệ 2 phương trình

$$\begin{aligned} h &= \frac{\mu_1 d_1^2}{4\mu_2 d_2} \sqrt{\frac{p_1(p_0 - p_1)}{p_2(p_1 - p_2)}} \quad \text{khi } h_0 \geq h \geq 0, \\ h &= \frac{\mu_1 d_1^2}{4\mu_2 d_2} \sqrt{\frac{p_1 \Delta p_{nc}}{p_2(p_1 - p_2)}} \quad \text{khi } h \geq h_0 \end{aligned} \quad (\text{V.1.12})$$

Khoảng cách h_0 giữa vòi phun và tâm chấn xác định quá trình chuyển tiếp từ

phần bắt đầu sang phần công tác của đặc tính tĩnh.

Khoảng cách h_0 này có thể được xác định từ biểu thức (V.1.10) khi loại bỏ khối nó đại lượng p_1 bằng cách thay thế $p_1 = p_0 - \Delta p_{nc}$ đối với $h = h_0$

$$h_0 = \frac{\mu_1 d_1^2}{4\mu_2 d_2} \sqrt{\frac{\Delta p_{nc} (p_0 - \Delta p_{nc})}{p_2 (p_0 - \Delta p_{nc} - p_2)}} \quad (V.1.13)$$

Phương trình đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại khí nén với độ giảm áp không đổi tại các tiết lưu cố định và tiết lưu biến đổi sẽ được biểu diễn bởi hệ 2 phương trình:

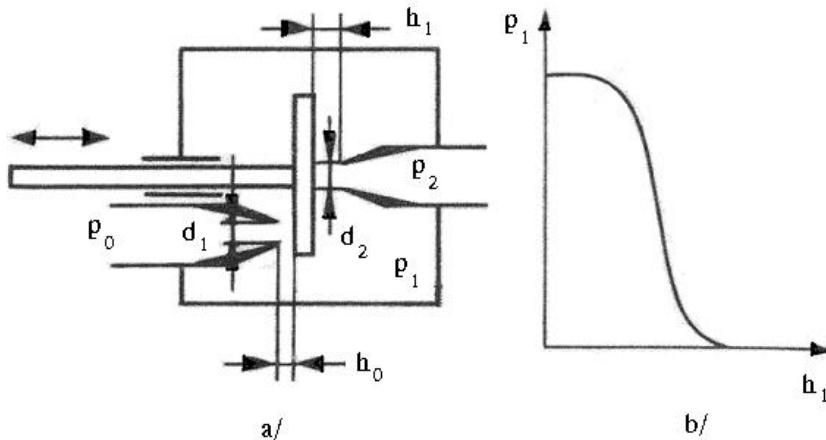
- Phương trình thứ nhất tương ứng với phương trình đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại với độ giảm áp không đổi tại tiết lưu biến đổi đối với phần $h_{01} \geq h \geq 0$.
 - Phương trình thứ hai tương ứng với phương trình đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại với độ giảm áp không đổi tại các tiết lưu cố định và tiết lưu biến đổi đối với phần công tác ($h \geq h_{01}$) .

$$h = \frac{\mu_1 d_1^2}{4\mu_2 d_2} \sqrt{\frac{p_1(p_0 - p_1)}{\Delta p_{np}(p_1 - \Delta p_{np})}} \quad \text{khi } h_{01} \geq h \geq 0 ,$$

$$h = \frac{\mu_1 d_1^2}{4\mu_2 d_2} \sqrt{\frac{p_1 \Delta p_{nc}}{\Delta p_{np}(p_1 - \Delta p_{np})}} \quad \text{khinh} \geq h_{01}$$
(V.1.14)

Khoảng cách h_{01} giữa vòi phun và tâm chấn (hình V.1.4b) xác định quá trình chuyển tiếp từ phần bắt đầu sang phần công tác của đặc tính tĩnh.

Khoảng cách h_0 này có thể được xác định từ biểu thức (V.1.10) khi thay thế đại lượng $p_0 - p_1$ bằng Δp_{nc} , $p_1 - p_2$ bằng Δp_{np} , p_1 bằng $p_0 - \Delta p_{nc}$ và p_2 bằng $p_0 - \Delta p_{nc} - \Delta p_{np}$.



Hình V.1.5. Cơ cấu khuếch đại khí nén với 2 vòi phun.

- a. Sơ đồ kết cấu.
 - b. Đặc tính tinh.

$$h_{01} = \frac{\mu_1 d_1^2}{4\mu_2 d_2} \sqrt{\frac{\Delta p_{nc}(p_0 - \Delta p_{nc})}{\Delta p_{np}(p_0 - \Delta p_{nc} - \Delta p_{np})}} \quad (V.1.15)$$

Trong thực tế thường sử dụng cơ cấu khuếch đại khí nén với 2 vòi phun (hình V.1.5a).

Độ cong cao của đặc tính tĩnh đối với cơ cấu khuếch đại được thực hiện nhờ sơ đồ vi phân.

Trong sơ đồ vi phân này thì sự giảm sức cản của tám chắn tương ứng với sự làm tăng sức cản của vòi phun trong cơ cấu vòi phun - tám chắn.

Áp suất còn lại của cơ cấu khuếch đại khí nén được chế tạo với sơ đồ có 2 vòi phun bằng không.

Tuy nhiên đặc tính của cơ cấu này khác rất nhiều so với đặc tính role (hình V.1.5b).

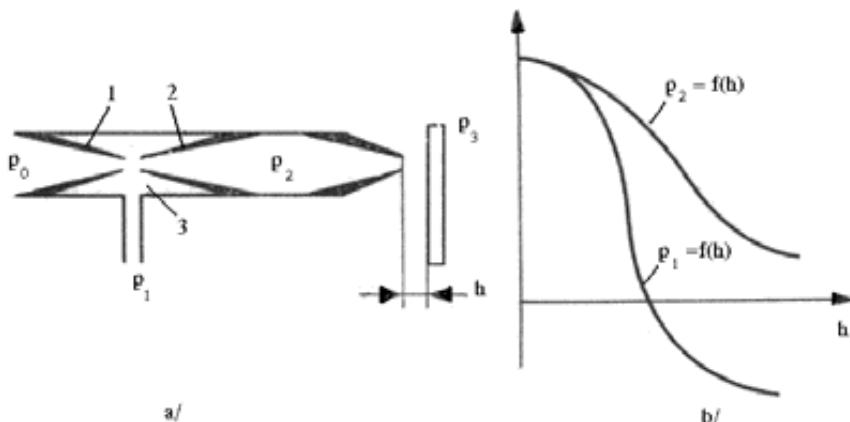
Phương trình đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại khí nén với 2 tiết lưu biến đổi đối với chế độ chảy? - ? có thể được biểu diễn

$$h_1 = \frac{h_m}{1 + \frac{\mu_2 d_2}{\mu_1 d_1} \sqrt{\frac{p_2(p_1 - p_2)}{p_1(p_0 - p_1)}}} \quad (V.1.16)$$

trong đó:

$$h_m = h_1 + h_0 \quad (V.1.17)$$

Trong khi chế tạo các tích phân khí nén sẽ có yêu cầu giữa vòi phun và tám chắn có một số khe hở để sao cho tại lối ra của cơ cấu khuếch đại khí nén tạo thành áp suất âm.



Hình V.1.6. Cơ cấu khuếch đại khí vòi phun - tám chắn với máy bơm phun.

- a. Sơ đồ kết cấu.
- b. Đặc tính tĩnh.

Trong trường hợp này sẽ thay thế tiết lưu cố định bằng role với máy bơm phun (hình V.1.6a). Máy bơm phun có cấu tạo gồm

- Hai vòi phun 1, 2 được đặt theo 1 trực đối diện với nhau. Đường kính của vòi phun 1 nhỏ hơn so với vòi phun 2.
- Khoang giữa các vòi phun 3, trong đó hình thành áp suất lối ra p_1 .

Làm tăng khoảng cách h giữa vòi phun và tấm chắn sẽ đưa đến vận tốc không khí thoát ra khỏi vòi phun 1 sẽ được tăng lên và sẽ xảy ra quá trình chuyển tiếp tích cực từ thế năng sang động năng của khí bị nén.

Nhờ đó áp suất p_1 sẽ giảm xuống và có thể sẽ thấp hơn áp suất khí quyển (áp suất âm).

Đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại khí nén với máy bơm phun (hình V.1.6b) có độ cong lớn.

Cơ cấu khuếch đại này sẽ đảm bảo công suất lối ra lớn vì có khả năng làm tăng thiết diện thông dòng của vòi phun nguồn cấp 1 khi không có áp suất thừa trong khoang giữa các tiết lưu.

Độ cong lớn của đặc tính tĩnh và sự tiệm cận tốt của đặc tính này đến đặc tính role sẽ nhận được bằng cách sử dụng ống mao dẫn chảy tầng thay thế tiết lưu cố định.

V.1.1.4. Tổ hợp các tiết lưu khí nén

Tổ hợp các tiết lưu khí nén là hệ thống các khoang trao đổi được nối liên tiếp nhau, được phân chia bởi các tiết lưu chảy rời với diện tích hiệu dụng như nhau (hình V.1.7).

Trong hệ thống chứa số lượng bất kỳ các tiết lưu được đặt nối tiếp nhau với diện tích hiệu dụng của thiết diện thông dòng là như nhau, chế độ chảy trên tới hạn khi làm giảm tỉ số áp suất phía sau tiết lưu cuối cùng đối với áp suất p_0 tại lối ra của tiết lưu.

Do tỉ số áp suất này không nhỏ nên chế độ chảy trên tới hạn chỉ được thiết lập tại tiết lưu cuối cùng, còn trong các tiết lưu còn lại thì hệ thống có chế độ chảy dưới tới hạn.

Như vậy không thể biết trước với tỉ số áp suất p_n/p_0 nào thì tại tiết lưu cuối cùng sẽ thiết lập trạng thái chảy trên tới hạn, nên trong trường hợp tổng quát không thể thiết lập phương trình đối với tổ hợp các tiết lưu khí nén.

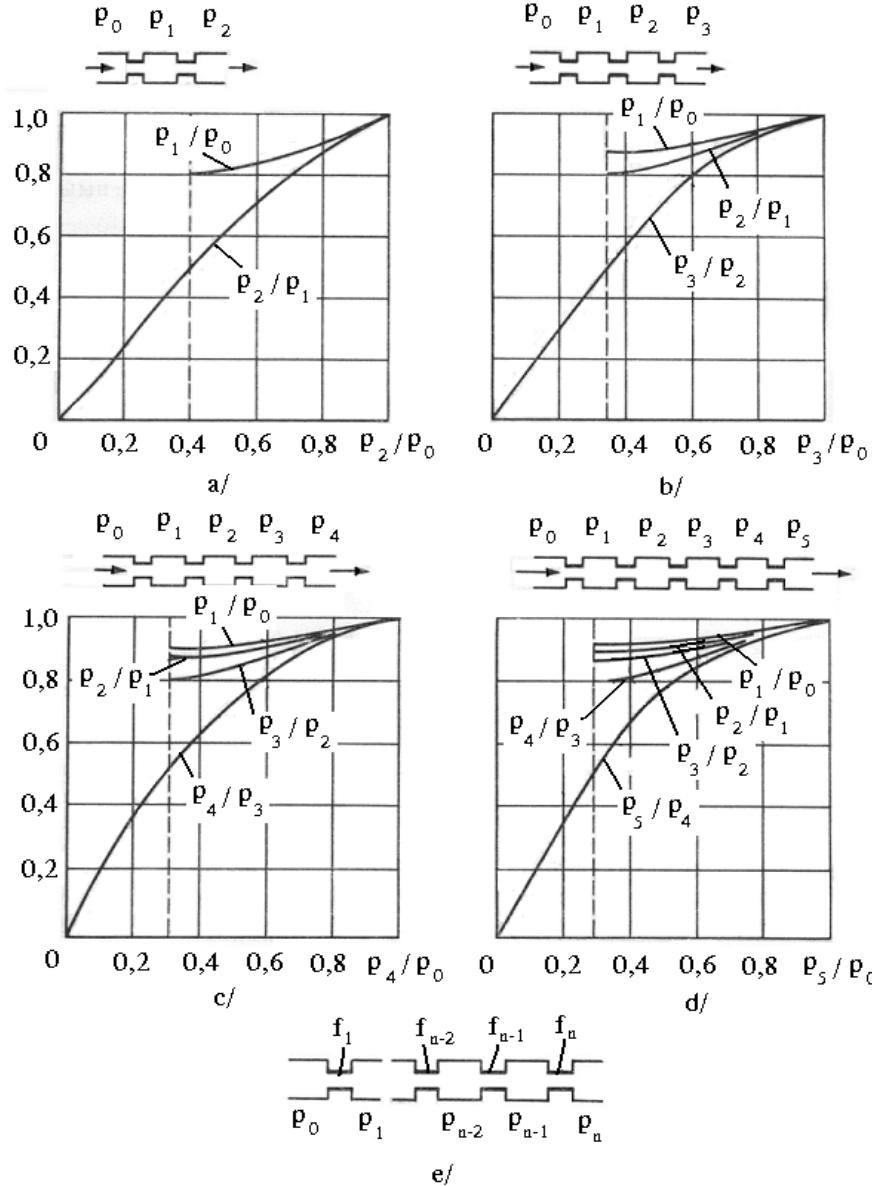
Do đó để xác định áp suất trong các khoang giữa các tiết lưu của tổ hợp các tiết lưu khí nén thì tốt nhất nên dùng biểu đồ chuyên dụng (hình V.1.7).

Với giả thiết:

- Các khoang trao đổi có 2 tiết lưu chảy rối.
 - Tại tiết lưu cuối cùng có trạng thái chảy dưới tối hạn.
- thì phương trình tính đối với tổ hợp các tiết lưu khí nén có số tiết lưu $n = 3$ có dạng

$$\begin{aligned} r_3(1-r_1) &= r(1-r_2), \\ r_1(1-r_2) &= r(1-r_3) \end{aligned} \quad (\text{V.1.18})$$

trong đó:



Hình V.1.7. Tổ hợp tiết lưu khí nén và đồ thị để xác định áp suất trong các khoang giữa các tiết lưu với số lượng n tiết lưu trong tổ hợp.

- $n=2$;
- $n=3$;
- $n=4$;
- $n=5$;
- Sơ đồ của tổ hợp có n tiết lưu.

$$r = r_1 r_2 r_3 , \quad (V.1.19)$$

$$r_1 = p_1/p_0; \quad r_2 = p_2/p_1; \quad r_3 = p_3/p_2; \quad r = p_3/p_0$$

Theo trực hoành biểu diễn tỉ số áp suất p_3/p_0 , còn theo trực tung biểu diễn tỉ số áp suất tại các tiết lưu $p_1/p_0; p_2/p_1; p_3/p_2$.

Suy ra đối với tổ hợp các tiết lưu khí nén có số tiết lưu $n = 3$ thì trên đồ thị phải có 3 đường cong.

Giải hệ phương trình (V.1.18) có sử dụng (V.1.19), sẽ nhận được đường cong để xác định áp suất p_2

$$r = \frac{r_3 [r_3(1-r_3)+1]}{[r_3(1-r_3)+1]^2 + r_3(1-r_3)} \quad (V.1.20)$$

Tỉ số này cho phép xác định $r = p_3/p_0$, trong đó tại tiết lưu cuối cùng sẽ có trạng thái chảy trên tới hạn.

Khi đó đặt $r_3 = 0,5$ vào biểu thức (V.1.20) và giá trị của biểu thức (V.1.20) sẽ là $r = p_3/p_0 = 0,345$.

Để tìm mối liên hệ giữa r và r_3 trong trạng thái chảy trên tới hạn ở tiết lưu cuối cùng sẽ phải lập điều kiện cân bằng lưu lượng qua các tiết lưu thứ nhất và thứ hai, cũng như qua các tiết lưu thứ hai và thứ ba.

Khi đó đối với tiết lưu thứ ba thì cần phải sử dụng phương trình (V.1.16). Suy ra $r_3 = 1,45r$.

Các đường cong $r_1 = f_1(r)$ và $r_2 = f_2(r)$ sẽ được xây dựng bằng việc sử dụng đường cong $r = f_3(r_3)$ đã được xây dựng và biểu thức (V.1.18).

Tương tự như vậy khi xây dựng các đường cong đối với tổ hợp các tiết lưu khí nén có n tiết lưu.

Trong trạng thái chảy dưới tới hạn tại các tiết lưu, khi biết tỉ số áp suất sau tiết lưu cuối cùng so với p_0 có thể xác định ngay được tất cả các tỉ số áp suất sau mỗi tiết lưu đối với áp suất trước tiết lưu, do đó sẽ xác định được áp suất trong các khoang giữa các tiết lưu.

Nếu trạng thái chảy trên tới hạn tại tiết lưu cuối cùng thì theo đồ thị đối với mỗi số lượng n tiết lưu cho trước sẽ chỉ xác định tỉ số áp suất phía sau so với áp suất phía trước của tiết lưu cuối cùng.

Sau đó sẽ xác định tỉ số áp suất trước tiết lưu cuối cùng so với p_0 , còn để tìm các tỉ số áp suất còn lại thì sẽ sử dụng đồ thị của tổ hợp các tiết lưu khí nén có $n-1$ số tiết lưu.

V.1.1.5. Tính học của khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy tầng

Trong tự động khí nén thì các tiết lưu chảy tầng được sử dụng trong điều kiện khi các tiết lưu làm việc tuyến tính.

Để đảm bảo độ giảm áp suất nhỏ tại các tiết lưu khi so sánh với các giá trị áp suất tuyệt đối.

Khi đó lưu lượng khí qua tiết lưu chảy tầng sẽ được biểu diễn thành hàm tuyến tính của độ giảm áp suất

$$G = \alpha(p_0 - p_1) \quad (\text{V.1.21})$$

trong đó:

α - hệ số độ dẫn của tiết lưu.

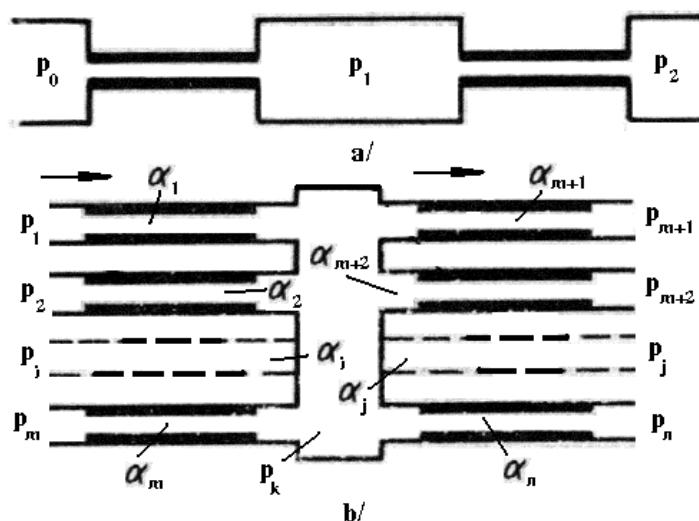
Đối với ống mao dẫn

$$\alpha = \frac{\pi d^4 p_1}{128 \mu l R T} \quad (\text{V.1.22})$$

Đối với tiết lưu khe hở hình trụ

$$\alpha = \frac{\pi D \delta^3 p_1}{12 \mu l R T} \quad (\text{V.1.23})$$

Sự thay đổi của độ giảm áp suất tại tiết lưu sẽ rất nhỏ so với các giá trị tuyệt đối của áp suất, bởi vì khối lượng riêng của không khí được coi như không đổi và được tính theo một trong các giá trị áp suất ở phía sau tiết lưu.



Hình V.1.8. Khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy tầng.

- a. Khoang với 2 tiết lưu chảy tầng;
- b. Bộ cộng khí nén trên các tiết lưu.

Khối lượng riêng có thể được tính theo áp suất p_0 ở phía trước tiết lưu, hoặc theo giá trị trung bình $(p_1 + p_0)/2$.

Từ phương trình lưu lượng trong tĩnh học đổi với khoang trao đổi (hình V.1.8a) có các tiết lưu tuyến tính, sẽ có

$$\alpha_1(p_0 - p_1) = \alpha_2(p_1 - p_2),$$

$$p_1 = \frac{\alpha_1 p_0 + \alpha_2 p_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (V.1.24)$$

Nếu áp suất p_2 không đổi và có thể nhận giá trị quy ước bằng không thì (V.1.24) sẽ có dạng

$$\bar{p}_1 = \frac{\alpha_1 \bar{p}_0}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (V.1.25)$$

trong đó:

\bar{p}_1, \bar{p}_0 - giá trị áp suất dư tương ứng được tính từ áp suất p_2 .

Từ biểu thức (V.1.25) nhận thấy rằng trong khoang có 2 tiết lưu tuyến tính được duy trì tỉ số áp suất dư \bar{p}_1/\bar{p}_0 không đổi và khoang này có thể là cơ cấu khuếch đại đơn giản nhất (bộ chia) với hệ số khuếch đại $k = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}$ nhỏ hơn đơn vị.

Khoang với các tiết lưu tuyến tính có thể đóng vai trò của bộ công đơn giản nhất. Trên hình V.1.8b biểu diễn khoang khí nén có chứa n tiết lưu tuyến tính, trong đó không khí sẽ đi vào khoang qua một số tiết lưu, còn qua một số tiết lưu khác thì không khí sẽ thoát ra.

Giả thiết qua m tiết lưu tuyến tính thì không khí đi vào khoang, còn qua $n - m$ tiết lưu thì không khí thoát ra khỏi khoang.

Lưu lượng không khí tại trạng thái chảy dừng vào trong khoang qua i tiết lưu và từ khoang ra ngoài qua j tiết lưu được biểu diễn qua các công thức

$$G_i = \alpha_i(p_i - p_k),$$

$$G_j = \alpha_j(p_k - p_j) \quad (V.1.26)$$

trong đó:

p_i, p_j - giá trị áp suất của tín hiệu đầu vào.

p_k - giá trị áp suất trong khoang.

Trong tĩnh học thì từ điều kiện cân bằng tổng của tất cả các lưu lượng chảy vào khoang bằng tổng của tất cả lưu lượng chảy ra khỏi khoang có thể viết

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i(p_i - p_k) = \sum_{j=m+1}^n \alpha_j(p_k - p_j) \quad (V.1.27)$$

Suy ra:

$$p_k = \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i p_i + \sum_{i=m+1}^n \alpha_j p_j}{\sum_{i=1}^m \alpha_i + \sum_{i=m+1}^n \alpha_j} \quad (\text{V.1.28})$$

Tương ứng với biểu thức (V.1.28) thì áp suất p_k là hàm tuyến tính với đối số là áp suất đầu vào.

Nếu lặp các tiết lưu như nhau ($\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_m = \alpha_{m+1} = \dots = \alpha_j = \dots = \alpha_n$) thì biểu thức (V.1.28) sẽ có dạng

$$p_k = \frac{\sum_{i=1}^m p_i + \sum_{i=m+1}^n p_j}{n} \quad (\text{V.1.29})$$

Đưa ra ký hiệu chung đối với áp suất đầu vào, sẽ nhận được

$$p_k = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (\text{V.1.30})$$

Từ công thức (V.1.30), nhận thấy rằng: khoang trao đổi với các tiết lưu tuyến tính có thể thực hiện chức năng của bộ cộng, áp suất đầu vào của bộ cộng này bằng trung bình số học của tất cả áp suất được cấp đến các tiết lưu.

Sai số của bộ cộng này sẽ phụ thuộc vào:

- Sự khác nhau của đặc tính lưu lượng của các tiết lưu trong bộ cộng so với các đặc tính lưu lượng tuyến tính (do độ nén được của không khí làm ảnh hưởng).
- Sự không trùng nhau của các đặc tính lưu lượng do có sự khác nhau về độ dài và đường kính.

V.1.1.6. Tĩnh học khoang trao đổi khí nén với các kiểu tiết lưu khác nhau

Sẽ tiến hành khảo sát khoang trao đổi có cả tiết lưu chảy tầng và tiết lưu chảy rói (hình V.1.9).

Trong đó tiết lưu chảy tầng được phân bố tại dòng chảy thứ nhất (hình V.1.9a), còn trong hình V.1.9b thì tiết lưu chảy tầng được phân bố tại dòng chảy thứ hai.

Để xác định áp suất $A(s)$ trong khoang trao đổi với tiết lưu chảy rói thì cần phải biết trước trạng thái chảy qua tiết lưu chảy rói (dưới tới hạn hoặc trên tới hạn).

Cho nên cũng như ở phần trước sẽ phải sử dụng đồ thị được xây dựng theo phương trình tĩnh của khoang trao đổi.

Đồ thị trên hình V.1.9c được xây dựng cho khoang trao đổi trên hình V.1.9a, trong đó tiết lưu chảy tầng đóng vai trò của ống mao dẫn.

Đồ thị được chia thành 2 khu vực? và?. Đường thẳng $r_2 = p_2/p_1 = 0,5$ là đường biên phân cách giữa 2 khu vực.

Khu vực bên trên đường thẳng $r_2 = p_2/p_1 = 0,5$ sẽ tương ứng với chế độ chảy dưới tối hạn qua tiết lưu chảy rói, còn khu vực bên dưới đường thẳng $r_2 = p_2/p_1 = 0,5$ sẽ tương ứng với chế độ chảy trên tối hạn qua tiết lưu chảy rói. Mỗi đường cong được xây dựng để xác định một giá trị xác định $r = p_2/p_0$.

Phương trình của các đường cong này được xác định từ điều kiện cân bằng trong tĩnh học của lưu lượng khói chảy qua cả tiết lưu chảy tầng và tiết lưu chảy rói, tương ứng với chế độ chảy dưới tối hạn và chế độ chảy trên tối hạn qua tiết lưu chảy rói

$$\frac{\pi d^4 (p_0^2 - p_1^2)}{256 \mu l R T} = f \sqrt{\frac{2p_2(p_1 - p_2)}{R T}} \text{ khi } r_2 = \frac{p_2}{p_1} \geq 0,5 , \quad (V.1.31)$$

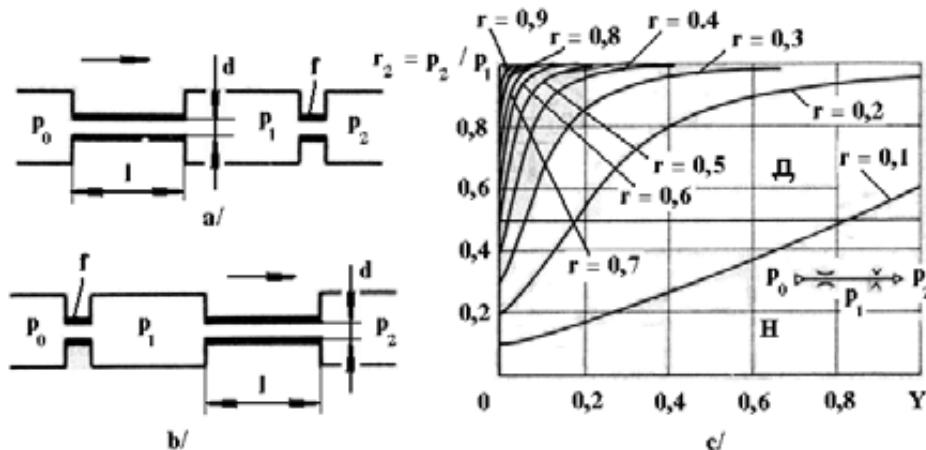
$$\frac{\pi d^4 (p_0^2 - p_1^2)}{256 \mu l R T} = f p_1 \sqrt{\frac{1}{2R T}} \text{ khi } r_2 = \frac{p_2}{p_1} \leq 0,5$$

Đối với chế độ chảy dưới tối hạn qua tiết lưu chảy rói sẽ nhận được

$$\frac{128.2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\mu l f \sqrt{R T}}{d^4 p_2} = \frac{r_2^2 - r^2}{r^2 r_2 \sqrt{r_2(1-r_2)}} \quad (V.1.32)$$

Còn đối với chế độ chảy trên tối hạn qua tiết lưu chảy rói sẽ có

$$\frac{128\sqrt{2}}{\pi} \frac{\mu l f \sqrt{R T}}{d^4 p_2} = \frac{r_2^2 - r^2}{r^2 r_2} \quad (V.1.33)$$



Hình V.1.9. Khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy tầng và tiết lưu chảy rói.

- a. Tiết lưu chảy tầng phân bố thứ nhất theo dòng chảy;
- b. Tiết lưu chảy tầng phân bố thứ hai theo dòng chảy.
- c. Đồ thị để xác định áp suất trong khoang trao đổi với các tiết lưu chảy tầng và tiết lưu chảy rói.

Để xác định áp suất trong khoang trao đổi (hình V.1.9a), cần phải tính giá trị

$$\frac{\mu_1 f \sqrt{RT}}{d^4 p_2} = Y, \quad (V.1.34)$$

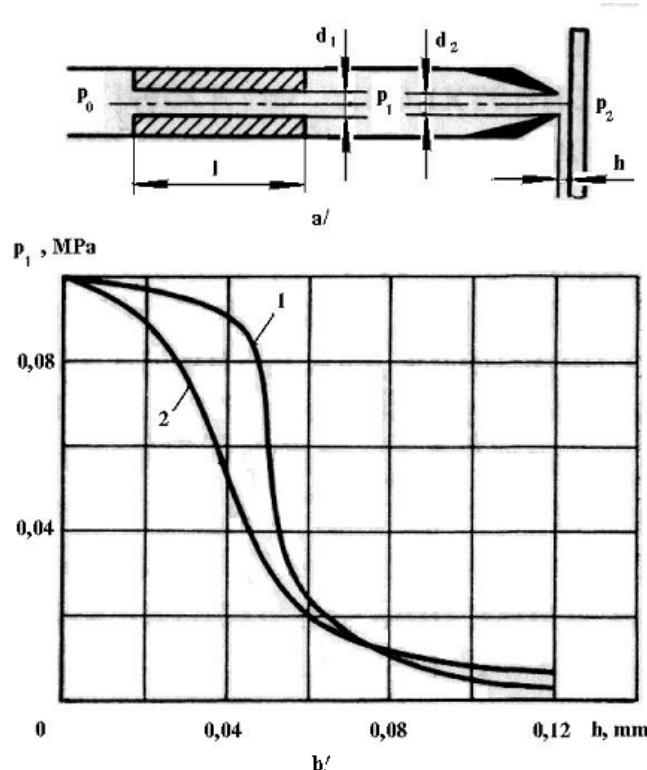
$$\frac{p_2}{p_0} = r$$

Sau đó theo đồ thị trên hình V.1.9c đổi với giá trị của r sẽ tính được $r_2 = p_2/p_1$.

Bằng phương pháp tương tự có thể xây dựng được đồ thị đổi với khoang trao đổi được biểu diễn trên hình V.1.9b.

Khoang trao đổi có cả tiết lưu chảy tầng và tiết lưu chảy rời thường được sử dụng trong thực tế như cơ cấu khuếch đại vòi phun - tấm chắn (hình V.1.10a).

Được biết rằng cơ cấu khuếch đại với tiết lưu chảy tầng không đổi sẽ đưa ra đặc tính tĩnh gần giống về hình dáng so với đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại với độ giảm áp không đổi tại các tiết lưu cố định và tiết lưu biến đổi.



**Hình V.1.10. Cơ cấu khuếch đại vòi phun - tấm chắn
với ống mao dẫn là tiết lưu không đổi.**

- a. Sơ đồ;
- b. Đặc tính tĩnh.

Trên hình V.1.10b thực hiện việc so sánh đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại voi phun - tâm chấn với tiết lưu có định chảy rói (đường cong 2) và đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại voi phun - tâm chấn với tiết lưu có định chảy tầng - ống mao dẫn (đường cong 1).

Khoang trao đổi có cả tiết lưu chảy tầng và tiết lưu chảy rói cũng được sử dụng khi chế tạo các thiết bị để khai cản và nâng lên luỹ thừa bậc hai.

Các thiết bị nêu trên hoạt động tại phạm vi thấp của áp suất công tác ($0 \div 100$ mm cột nước), cho nên phương trình của khoang trao đổi (hình V.1.9a) có thể có dạng

$$\begin{aligned}\alpha(p_0 - p_1) &= a\sqrt{p_1 - p_2}, \\ \alpha &= \frac{\pi d_1^4 p_2}{128\mu l R T}, \\ a &= f \sqrt{\frac{2p_2}{R T}}\end{aligned}\tag{V.1.35}$$

Chia biểu thức thứ nhất của (V.1.35) cho α , sẽ nhận được

$$\begin{aligned}(p_0 - p_1) &= a_1 \sqrt{p_1 - p_2}, \\ a_1 &= \frac{5,75f \mu l \sqrt{R T}}{d_1^4 \sqrt{p_2}}\end{aligned}\tag{V.1.36}$$

Nếu áp suất p_2 nhận giá trị quy ước là không thì khi $a_1 = 1$, sẽ có

$$\bar{p}_1 = (\bar{p}_0 - \bar{p}_1)^2\tag{V.1.37}$$

Như vậy áp suất p_1 trong khoang trao đổi bằng bình phương của độ giảm áp suất tại tiết lưu thứ nhất (tiết lưu chảy tầng).

Áp suất trong khoang trao đổi có thể cũng được xác định nhờ đồ thị trên hình V.1.9c. Bằng phương pháp tương tự có thể nhận được phương trình đổi với trường hợp khi tiết lưu chảy rói là tiết lưu thứ nhất (hình V.1.9b)

$$\begin{aligned}a_2 \bar{p}_1 &= \sqrt{p_0 - \bar{p}_1}, \\ a_2 &= \frac{0,174d_1^4 \sqrt{p_2}}{f \mu l \sqrt{R T}}\end{aligned}\tag{V.1.38}$$

Nếu $a_2 = 1$ thì $\bar{p}_1 = \sqrt{p_0 - \bar{p}_1}$.

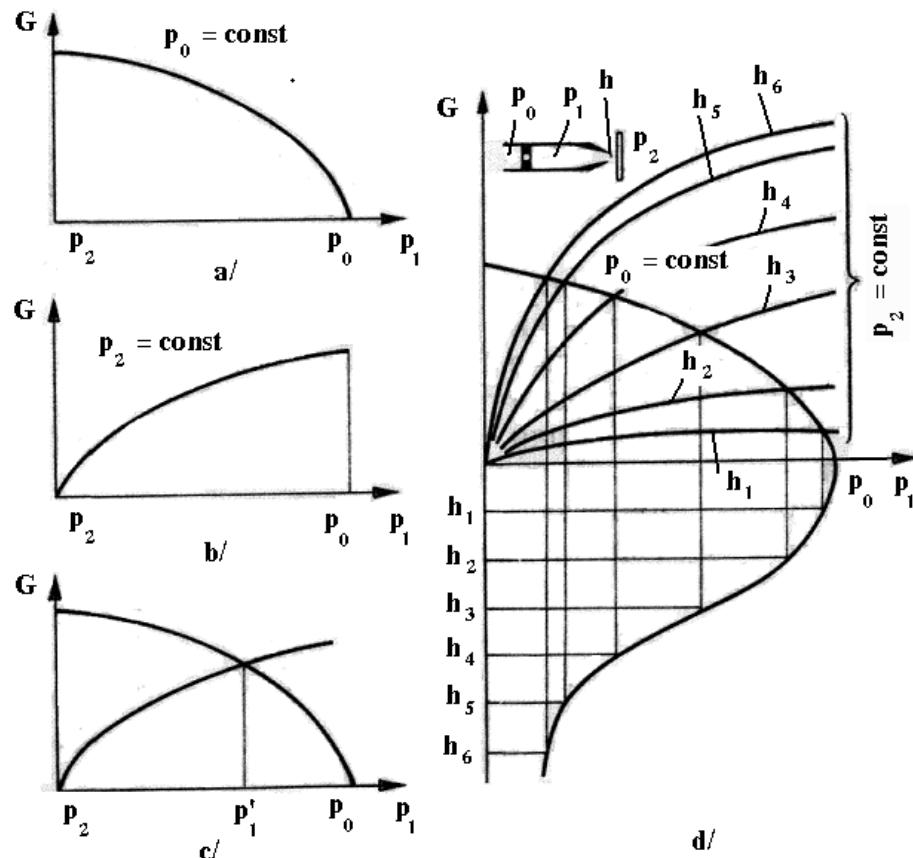
Sự dư thừa áp suất bên trên p_2 sẽ bằng căn bậc hai của độ giảm áp suất tại tiết lưu chảy rói. Nếu không biết đặc tính dòng khí chuyển động thì việc tính lưu lượng không khí qua tiết lưu rất khó. Trong trường hợp này để đơn giản thì sẽ nhận đặc tính lưu lượng của tiết lưu bằng thực nghiệm.

Có thể xác định áp suất trong khoang trao đổi có 2 tiết lưu bằng phương pháp đồ thị theo đặc tính lưu lượng.C

Nếu cho trước áp suất p_2 và p_1 , thì áp suất trong khoang trao đổi p_2 có thể tìm được bằng việc sử dụng các đặc tính lưu lượng của các tiết lưu thứ nhất và thứ hai (hình V.1.11a, b), nhận được đối với p_2 và p_1 phụ thuộc vào bằng cách xếp chồng các đặc tính lưu lượng lên nhau và xác định hoành độ của điểm giao nhau (hình V.1.11c).

Như vậy phương pháp sẽ dẫn đến việc tìm điểm giao nhau của các đường đặc tính lưu lượng của các tiết lưu. Điểm giao nhau này phải phù hợp với đẳng thức lưu lượng qua các tiết lưu thứ nhất và thứ hai trong tĩnh học.

Sử dụng phương pháp xây dựng đồ thị cũng có thể nhận được đặc tính tĩnh của khuếch đại khép kín kiểu vòi phun - tâm chấn (hình V.1.11d).



Hình V.1.11. Xây dựng đồ thị đặc tính tĩnh của cơ cấu khuếch đại vòi phun - tâm chấn .

- Đặc tính tĩnh của tiết lưu thứ nhất.
- Đặc tính tĩnh của tiết lưu thứ hai.
- Sự phối hợp các đặc tính lưu lượng của tiết lưu thứ nhất và tiết lưu thứ hai.
- Phương pháp đồ thị xây dựng đặc tính của cơ cấu khuếch đại.

CHƯƠNG V
KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC
CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG KHÍ NÉN
(Tiếp theo)
BÀI 12
KHOANG KHÍ NÉN VÀ
CÁC KÊNH THÔNG TIN LIÊN KẾT
(Tiếp theo)

V.1.2. Động lực học của khoang trao đổi khí nén.	
V.1.2.1. Phương trình tuyến tính hoá động lực học của khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy rói.	192
V.1.2.2. Phương trình vi phân phi tuyến của khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy rói.	196
V.1.2.3. Động lực học khoang trao đổi khí nén chứa các tiết lưu chảy tầng.	199
V.1.2.4. Bộ tích năng khí nén.	204
V.1.3. Đặc tính tĩnh của hệ thống kênh dẫn thông tin trong tự động khí nén.	
V.1.3.1. Tần số dọc đường.	205
V.1.3.2. Tần số cục bộ.	207
V.1.4. Đặc tính động lực học của hệ thống kênh dẫn thông tin trong tự động khí nén.	
V.1.5. Đường kênh dẫn dài.	209
V.1.5.1. Tại cuối đường kênh dẫn dài được nối với khoang khí nén có thể tích nhỏ ($C_K = 0$).	210
V.1.5.2. Tại cuối đường kênh dẫn được nối với khoang khí nén mà tỉ số giữa độ dài kênh dẫn với đường kính của khoang không lớn.	211

BÀI 12. KHOANG KHÍ NÉN VÀ CÁC KÊNH THÔNG TIN LIÊN KẾT (Tiếp theo)

V.1.2. Động lực học của khoang trao đổi khí nén

Sẽ khảo sát động lực học của khoang trao đổi khí nén có chứa các loại tiết lưu.

V.1.2.1. Phương trình tuyến tính hóa động lực học của

khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy rói

Khi thiết lập các phương trình vi phân của khoang trao đổi khí nén thường chấp nhận 2 giả thiết:

1. Lưu lượng không khí qua tiết lưu được coi là không phụ thuộc vào lực quán tính, được biểu thị qua sự thay đổi vận tốc dòng chảy theo thời gian tại mỗi điểm đã cho và giá trị tức thời của lưu lượng sẽ được coi bằng lưu lượng mà trong tĩnh học lưu lượng đó đã có tại các áp suất trước và sau tiết lưu.

Nói cách khác thì quá trình dòng không khí qua các tiết lưu được coi như quá trình gần tĩnh định.

2. Sự thay đổi trạng thái của không khí trong các khoang trao đổi khí nén xảy ra theo quy luật đẳng nhiệt.

Thực tế quá trình thay đổi trạng thái của không khí trong khoang trao đổi khí nén là quá trình trung gian giữa các quá trình đẳng nhiệt và quá trình đoạn nhiệt. Các đặc tính lưu lượng của tiết lưu chảy rói là đặc tính không tuyến tính.

Do đó khi thiết lập các phương trình vi phân của các khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy rói thì dẫn đến phải thực hiện việc tuyến tính hóa và chỉ khảo sát đến các độ lệch rất nhỏ các tham số của khoang trao đổi khí nén so với các tham số tại chế độ tĩnh ban đầu.

Đồng thời cũng giả thiết rằng sự tổng hợp của các chế độ chảy qua các tiết lưu, được đặc trưng cho chế độ tĩnh ban đầu sẽ được bảo toàn thậm chí cả trong quá trình chuyển tiếp. Thiết lập phương trình vi phân được tuyến tính hóa của khoang trao đổi khí nén (hình V.1.12).

Giả thiết rằng trong quá trình động lực học tất cả các đại lượng đặc trưng cho trạng thái của không khí trong khoang trao đổi khí nén có thể sẽ thay đổi:

- Áp suất nguồn cấp p_0 .
- Áp suất tại lối ra của khoang trao đổi khí nén p_2 .
- Thiết diện thông dòng hiệu dụng của các tiết lưu f_1, f_2 .
- Thể tích khoang trao đổi khí nén V do sự dịch chuyển x của piston (hoặc phần tử đàn

hồi).

Sau thời gian dt , khối lượng không khí trong khoang trao đổi khí nén sẽ thay đổi

$$dM = dM_1 - dM_2 \quad (\text{V.1.39})$$

trong đó:

dM_1 - khối lượng không khí cấp qua tiết lưu thứ nhất vào khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu sau thời gian dt .

dM_2 - khối lượng không khí thoát khỏi khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu sau thời gian dt qua tiết lưu thứ hai.

Lấy tích phân theo thời gian biểu thức (V.1.39), sẽ có

$$\frac{dM}{dt} = \frac{dM_1}{dt} - \frac{dM_2}{dt} = G_1 - G_2 = \frac{d\delta M}{dt} \quad (\text{V.1.40})$$

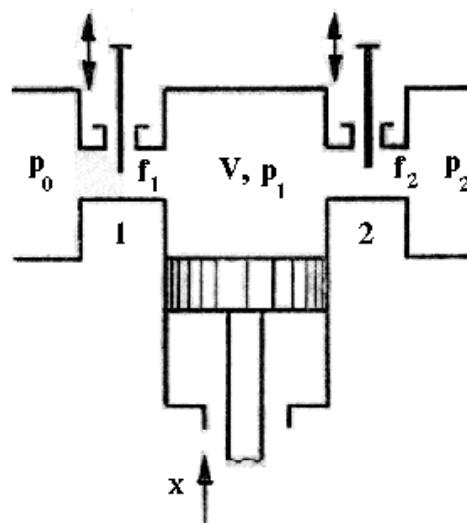
trong đó:

G_1, G_2 - lưu lượng khối lượng không khí được cấp vào khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu và thoát khỏi khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu.

Như vậy, lưu lượng không khí làm tăng áp suất trong khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu sẽ bằng hiệu giữa các lưu lượng này.

Khối lượng không khí trong khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu tại thời điểm bất kỳ được biểu thị

$$M = V\rho_1 \quad (\text{V.1.41})$$



Hình V.1.12. Sơ đồ khoang trao đổi khí nén, trong đó tất cả các đại lượng đầu vào đặc trưng cho trạng thái không khí trong khoang trao đổi khí nén có thể được thay đổi.

Lấy tích phân biểu thức (V.1.41), sẽ nhận được

$$dM = V d\rho_1 + \rho_1 dV \quad (V.1.42)$$

Biết rằng

$$\begin{aligned} V &= \delta V + V_C, \\ \rho_1 &= \rho_{1C} + \delta \rho_1 \end{aligned} \quad (V.1.43)$$

trong đó:

δ - giá số tuyệt đối của các đại lượng được khấu trừ từ giá trị của chúng tại chế độ tĩnh ban đầu.

C - chỉ số biểu thị giá trị tương ứng với chế độ tĩnh ban đầu.

Suy ra

$$dM = (\delta V + V_C) d(\delta \rho_1 + \rho_{1C}) + (\delta \rho_1 + \rho_{1C}) d(\delta V + V_C) \quad (V.1.44)$$

Bỏ qua giá số thể tích δV và giá số khối lượng riêng $\delta \rho_1$ so với giá trị V_C và ρ_C tại chế độ tĩnh ban đầu, sẽ nhận được

$$dM = V_C d\delta \rho_1 + \rho_{1C} d\delta V \quad (V.1.45)$$

Biết rằng

$$\delta \rho_1 = \frac{\delta p_1}{R T}, \quad \delta V = -F \delta x, \quad \rho_{1C} = \frac{p_{1C}}{R T} \quad (V.1.46)$$

trong đó:

F - diện tích piston hoặc diện tích tác dụng (tạo nên giá số thể tích) của phần tử đòn hồi bất kỳ (óng xiphông, màng...)

Biến đổi về phải của biểu thức (V.1.45), sẽ nhận được

$$d\delta M = \frac{V_C}{R T} d\delta p_1 - \frac{p_{1C} F}{R T} d\delta x \quad (V.1.47)$$

Lấy vi phân theo thời gian biểu thức (V.1.47), sẽ có

$$\frac{d\delta M}{dt} = \frac{V_C}{R T} \frac{d\delta p_1}{dt} - \frac{p_{1C} F}{R T} \frac{d\delta x}{dt} \quad (V.1.48)$$

Mặt khác sự thay đổi của lưu lượng đưa đến sự thay đổi áp suất trong khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu sẽ là hàm của các đại lượng p_0, p_1, p_2, f_1 và f_2

$$G_1 - G_2 = \frac{d\delta M}{dt} = G(p_0, p_1, p_2, f_1, f_2) \quad (V.1.49)$$

Do đó trong dạng tuyến tính gần đúng thì về phải của biểu thức (V.1.48) có thể có dạng như sau

$$\frac{d\delta M}{dt} = \frac{\partial G}{\partial p_0} \delta p_0 + \frac{\partial G}{\partial p_1} \delta p_1 + \frac{\partial G}{\partial p_2} \delta p_2 + \frac{\partial G}{\partial f_1} \delta f_1 + \frac{\partial G}{\partial f_2} \delta f_2 \quad (V.1.50)$$

Kết hợp hai biểu thức (V.1.48) và (V.1.50) sẽ nhận được

$$\frac{V_C}{R T} \frac{d\delta p_1}{dt} - \frac{p_{1C}}{R T} F \frac{d\delta x}{dt} = \frac{\partial G}{\partial p_0} \delta p_0 + \frac{\partial G}{\partial p_1} \delta p_1 + \frac{\partial G}{\partial p_2} \delta p_2 + \frac{\partial G}{\partial f_1} \delta f_1 + \frac{\partial G}{\partial f_2} \delta f_2 \quad (V.1.51)$$

Thực hiện phép biến đổi:

- Chia cả hai vế của biểu thức (V.1.51) cho $-\frac{\partial G}{\partial p_1} p_{1C}$.
- Chia thành phần có δp_0 cho p_{0C} , thành phần có $\frac{d\delta x}{dt}$ cho x_C , thành phần có δp_2 cho p_{2C} , thành phần có δf_1 cho f_{1C} , thành phần có δf_2 cho f_{2C} .

Sẽ nhận được giá số tương đối của các đại lượng tương ứng

$$\begin{aligned} \frac{\delta p_0}{p_{0C}} &= \Delta p_0, \quad \frac{\delta p_1}{p_{1C}} = \Delta p_1, \quad \frac{\delta p_2}{p_{2C}} = \Delta p_2, \\ \frac{\delta f_1}{f_{1C}} &= \Delta f_1, \quad \frac{\delta f_2}{f_{2C}} = \Delta f_2, \quad \frac{\delta x}{x_C} = \Delta x \end{aligned} \quad (V.1.52)$$

Kết hợp các biểu thức (V.1.51) và (V.1.52) sẽ nhận được phương trình vi phân của khoang trao đổi khí nén

$$T_v \frac{d\Delta p_1}{dt} + \Delta p_1 = T_x \frac{d\Delta x}{dt} + k_0 \Delta p_0 + k_2 \Delta p_2 + k_{f_1} \Delta f_1 + k_{f_2} \Delta f_2 \quad (V.1.53)$$

trong đó:

T_v, T_x - các hằng số thời gian

$$\begin{aligned} T_v &= -\frac{V_C}{R T \frac{\partial G}{\partial p_1}}, \\ T_x &= -\frac{F x_C}{R T \frac{\partial G}{\partial p_1}} \end{aligned} \quad (V.1.54)$$

$k_0, k_2, k_{f_1}, k_{f_2}$ - các hệ số khuếch đại

$$\begin{aligned} k_0 &= -\frac{\frac{\partial G}{\partial p_0}}{\frac{\partial G}{\partial p_1}} \frac{1}{r_1}, \quad k_2 = -\frac{\frac{\partial G}{\partial p_2}}{\frac{\partial G}{\partial p_1}} r_2, \\ k_{f_1} &= -\frac{\frac{\partial G}{\partial f_1}}{\frac{\partial G}{\partial p_1}} \frac{f_{1C}}{p_{1C}}, \quad k_{f_2} = -\frac{\frac{\partial G}{\partial f_2}}{\frac{\partial G}{\partial p_1}} \frac{f_{2C}}{p_{1C}} \end{aligned} \quad (V.1.55)$$

Mỗi lần hῆ giūa diēn tōch piston Mèi liān hō giā diōn tÝch piston F (hoặc diēn tich tác dụng (tạo nēn gāi sô thē tich) cùa phān tử đàm hōi bát ký (óng xiphōng, màng...)) và x có thē biēu diēn theo hàm chúc nāng $F = f(x)$. Khi đó

$$dV = -F dx - x dF \quad (V.1.56)$$

Đặt biēu thíc (V.1.56) vào (V.1.48), có thē viēt

$$\begin{aligned} \frac{d\delta M}{dt} &= G_1 - G_2 = \frac{V_c}{RT} \frac{d\delta p_1}{dt} - \frac{p_{1c}}{RT} \left(F_c \frac{dx}{dt} + x_c \frac{dF}{dt} \right) \\ &= \frac{V_c}{RT} \frac{d\delta p_1}{dt} - \frac{p_{1c}}{RT} \left(F_c + x_c \frac{dF}{dt} \right) x_c \frac{d\Delta x}{dt} \end{aligned} \quad (V.1.57)$$

Từ đây có thē đưa đêen việc xác định hằng số thời gian $F = f(x)$ theo biēu thíc

$$T_x = - \frac{x_c \left[F_c + x_c \left(\frac{dF}{dt} \right)_c \right]}{RT \frac{\partial G}{\partial p_1}} \quad (V.1.58)$$

trong đó:

$\left(\frac{dF}{dt} \right)_c$ - là tang của goc nghiêng tiêp tuyênn đói với đặc tính $F = f(x)$ tại điểm tương ứng với ché độ tinh ban đầu.

V.1.2.2. Phương trình vi phân phi tuyênn của khoang trao đói khí nén với các tiết lưu chảy rối

Nếu giả thiêt rằng:

- Thê tích của khoang trao đói khí nén là khong đói.
 - Các đại lượng đâu vào chỉ có thê chấp nhận sự thay đói bước nhảy.
- thì các phương trình vi phân phi tuyênn của khoang trao đói khí nén sê tích phân được.

Thiết lập phương trình vi phân sự thay đói áp suất trong khoang trao đói khí nén theo thời gian (hình V.1.1) với các giả thiêt:

- $T_0 = T_1 = T_2 = T$.
- Quá trình chuyển động của khong khí qua các tiết lưu khong phụ thuộc vào lực quán tính (lưu lượng khong khí qua tiết lưu khong phụ thuộc vào lực quán tính).
- Quá trình nhiệt động lực học của sự thay đói trạng thái của khong khí tại các tiết lưu là quá trình đoạn nhiệt.

Khối lượng khong khí trong khoang trao đói khí nén được tính

$$M = V\rho \quad (V.1.59)$$

Kết hợp sử dụng phương trình trạng thái khí, lấy vi phân biêu thíc (V.1.59) theo

thời gian, sẽ nhận được

$$\frac{dM}{dt} = \frac{V}{R T} \frac{dp_1}{dt} \quad (V.1.60)$$

trong đó:

$\frac{dM}{dt}$ - lưu lượng khói lượng của không khí trong khoang trao đổi khí nén (hoặc từ khoang trao đổi khí nén) ở chế độ động lực học

$$\frac{dM}{dt} = G_1 - G_2 \quad (V.1.61)$$

trong đó:

G_1, G_2 - lưu lượng khói lượng của không khí, được tính gần đúng theo (V.1.15) và (V.1.16) đối với quá trình đoạn nhiệt.

Kết hợp các biểu thức (V.1.60) và (V.1.61), sẽ có

$$\frac{V}{R T} \frac{dp_1}{dt} = G_1 - G_2 \quad (V.1.62)$$

Giống như trong tĩnh học, trong khảo sát động lực học cũng có thể có 4 tổ hợp các chế độ chảy khác nhau qua các tiết lưu 1 và 2:

- Trạng thái chảy dưới tối hạn qua các tiết lưu 1 và 2 (? Д-?).
- Trạng thái chảy trên tối hạn qua tiết lưu 1 và trạng thái chảy dưới tối hạn qua tiết lưu 2 (? Д-?).
- Trạng thái chảy dưới tối hạn qua tiết lưu 1 và trạng thái chảy trên tối hạn qua tiết lưu 2 (? Н-?).
- Trạng thái chảy trên tối hạn qua các tiết lưu 1 và 2 (? Н-?).

Đặt các biểu thức (V.1.15) và (V.1.16) vào (V.1.62), có thể nhận được 4 phương trình vi phân tương ứng với các chế độ chảy khác nhau.

Như vậy các biểu thức nhận được tại điều kiện của sự thay đổi bước nhảy của đại lượng bất kỳ trong số các tham số đầu vào sẽ là các phương trình bậc nhất với các biến số riêng biệt và có thể lấy tích phân.

Khi lấy tích phân thì các hệ số lưu lượng μ trong biểu thức nêu trên tại quá trình chuyển tiếp sẽ coi như không đổi. Sẽ nhận được các tích phân đối với mỗi chế độ chảy khác nhau:

- Đối với chế độ chảy? - ?

$$t = \frac{A}{2k} \left\{ \operatorname{arctg} \frac{2r_l - 1}{2\sqrt{r_l(1-r_l)}} - \frac{\beta_1 \beta_2}{2\varphi} \left[\operatorname{arctg} \frac{\beta_1^2(2r_l - 1) + r_l}{2\beta_1 \beta_2 \sqrt{r_l(1-r_l)}} - \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
 & -\operatorname{arctg} \frac{2r + \beta_1^2 - r_l}{2\sqrt{(r + \beta_1^2)(r_l - r)}} \Big] + \\
 & + \frac{\beta_3 \beta_4}{2\varphi} \ln \left| \frac{\beta_3 \sqrt{1-r_l} + \sqrt{\beta_4 r_l}}{\beta_3 \sqrt{1-r_l} - \sqrt{\beta_4 r_l}} \frac{\sqrt{\beta_3^2 - r} + \sqrt{r_l - r}}{\sqrt{\beta_3^2 - r} - \sqrt{r_l - r}} \right\| + C
 \end{aligned} \tag{V.1.63}$$

trong đó:

C - hằng số tích phân được xác định từ điều kiện ban đầu.
 $\varphi, A, k, r, r_1, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ - các tham số được xác định như sau

$$\begin{aligned}
 \varphi &= \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{r}{2k^2}\right)^2 + \frac{r^2}{k^2}}, \quad A = \frac{V}{f_2} \sqrt{\frac{2}{RT}}, \\
 k &= \frac{f_1}{f_2}, \quad r = \frac{p_2}{p_0}, \quad r_l = \frac{p_1}{p_0}, \\
 \beta_1 &= \sqrt{-\frac{1}{2} + \frac{r}{2k^2} + \varphi}, \quad \beta_2 = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{r}{2k^2} + \varphi}, \\
 \beta_3 &= \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{r}{2k^2} + \varphi}, \quad \beta_4 = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{r}{2k^2} - \varphi}
 \end{aligned} \tag{V.1.64}$$

- Đối với chế độ chảy? - ?

$$t = A \left[-\sqrt{\frac{1}{r_2} - 1} - \frac{k}{2r} \ln \left| \sqrt{\frac{1}{r_2} - 1} - \frac{k}{2r} \right| \right] + C \tag{V.1.65}$$

trong đó:

$$r_2 = \frac{p_2}{p_1} \tag{V.1.66}$$

- Đối với chế độ chảy? - ?

$$t = \frac{2A}{4k^2 + 1} \left[2k \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_l}{1-r_l}} - \ln \left| \sqrt{r_l} - 2k \sqrt{1-r_l} \right| \right] + C \tag{V.1.67}$$

- Đối với chế độ chảy? - ?

$$t = A \ln |k - r_l| + C \tag{V.1.68}$$

Trong trường hợp khi f_1 và f_2 tiến đến 0 thì các biểu thức (V.1.63) ÷ (V.1.68) sẽ được suy biến tương ứng thành các phương trình của sự tháo hết hoặc điền vào khoang trao đổi khí nén đã chật cứng.

Khi $f_1 = 0$ thì đối với trạng thái chảy dưới tối hạn sẽ có

$$t = -A \sqrt{\frac{1}{r_2} - 1} + C \tag{V.1.69}$$

Còn đối với trạng thái chảy trên tới hạn khi $f_1 = 0$ thì sẽ có

$$t = -A \ln \frac{1}{r_2} + C \quad (V.1.70)$$

Khi $f_2 = 0$ thì đối với trạng thái chảy dưới tới hạn sẽ có

$$t = -A_1 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_1}{1-r_1}} + C \quad (V.1.71)$$

trong đó:

$$A_1 = \frac{V}{f_1} \sqrt{\frac{2}{RT}} \quad (V.1.72)$$

Còn đối với trạng thái chảy trên tới hạn khi $f_2 = 0$ thì sẽ có

$$t = A_1 r_1 + C \quad (V.1.73)$$

Ghi nhận rằng các phương trình của các quá trình chuyển tiếp trong các khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu không chỉ phụ thuộc vào giá trị tuyệt đối của các áp suất mà còn phụ thuộc vào các tỉ số giữa chúng với nhau.

Để tính toán các quá trình chuyển tiếp trong các khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu thì cần thiết phải biết trước:

- Các chế độ chảy nào sẽ xuất hiện trong quá trình đó (có thể có 3 chế độ chảy khác nhau qua các tiết lưu thứ nhất và thứ hai).
- Chế độ tĩnh ban đầu sẽ liên quan đến chế độ chảy nào và các tham số nào của nó.

Bài toán này có thể được giải quyết bằng việc dùng đồ thị (hình V.1.3a) được xây dựng bằng việc sử dụng phương trình tĩnh của khoang trao đổi khí nén.

Ngoài ra khi tính toán quá trình chuyển tiếp xảy ra trong khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu thì cần thiết phải biết giá trị của các hệ số lưu lượng μ_1 và μ_2 của các tiết lưu.

Khoang trao đổi khí nén trong các cơ cấu tự động khí nén thường đóng vai trò của cơ cấu khuếch đại vòi phun - tấm chắn (hình V.1.2a).

Sự phụ thuộc của hệ số lưu lượng của tiết lưu vào các tham số của cơ cấu khuếch đại vòi phun - tấm chắn thông thường được cho bằng đồ thị (hình V.1.6a).

V.1.2.3. Động lực học khoang trao đổi khí nén chứa các tiết lưu chảy tầng

Trong khi thiết lập phương trình vi phân của khoang trao đổi khí nén (V.1.53) đã không đưa ra bất kỳ giả thiết nào về sự liên hệ tương đối của lưu lượng không khí qua các tiết lưu trong khoang trao đổi khí nén đối với các tham số hình học và tham số nhiệt động lực học của các tiết lưu.

Do đó các biểu thức (V.1.53) ÷ (V.1.55) cũng có thể sử dụng được đối với các khoang trao đổi khí nén chứa các tiết lưu chảy tầng.

Vì trong biểu thức lưu lượng không khí của các tiết lưu chảy tầng sẽ thay thế diện tích thiết diện thông dòng bằng độ dẫn α của các tiết lưu.

Khi có sự thay đổi độ giảm áp trong phạm vi rộng thì sẽ giả thiết rằng lưu lượng khối lượng của không khí qua các tiết lưu của khoang trao đổi khí nén được xác định

$$\begin{aligned} G_1 &= \dot{\alpha}_1 (p_0^2 - p_1^2), \\ G_2 &= \dot{\alpha}_2 (p_1^2 - p_2^2) \end{aligned} \quad (V.1.73)$$

Đối với ống mao dẫn

$$\alpha' = \frac{\pi d^4}{256\mu l R T} \quad (V.1.74)$$

Đối với tiết lưu khe hở trụ

$$\alpha'' = \frac{\pi D \delta^3}{24\mu l R T} \quad (V.1.75)$$

Phương trình vi phân của khoang trao đổi khí nén (V.1.53) cũng đúng đối với trường hợp khi kết nối lỗ lỗn với cả các tiết lưu chảy rối và với các tiết lưu chảy tầng.

Khi đó cần thiết phải đưa ra biểu thức hệ số của phương trình vi phân có tính đến công thức tương ứng đối với hiệu của các lưu lượng G .

Trong tự động khí nén thường sử dụng các khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy tầng như vai trò của các khâu không tuần hoàn chính xác như bộ tích phân và bộ vi phân.

Do đó các khâu này sẽ chứa hoặc là tiết lưu cố định, hoặc là tiết lưu điều chỉnh được mà độ dẫn của chúng sẽ không đổi trong quá trình chuyển tiếp và có khoang trao đổi khí nén giữa các tiết lưu với thể tích V không đổi.

Ngoài ra nhờ việc lựa chọn phạm vi thay đổi áp suất công tác và các tham số hình học tương ứng sẽ đảm bảo được các điều kiện làm việc của các tiết lưu chảy tầng khi có thể bỏ qua sự nén được của không khí, và có thể coi rằng lưu lượng sẽ phụ thuộc tuyến tính vào độ giảm áp.

Thiết lập phương trình vi phân của khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy tầng (hình V.1.13a) với giả thiết lưu lượng không khí qua tiết lưu phụ thuộc tuyến tính vào độ giảm áp nên không cần thiết phải tuyến tính hóa và phân tích độ lệch đối với các tham số ở trạng thái tĩnh ban đầu.

Phương trình vi phân của khoang trao đổi khí nén có chứa các tiết lưu tuyến tính

được biểu thị bằng cách thay thế các đại lượng G_1 và G_2 trong biểu thức (V.1.62) bằng các biểu thức $G_1 = \alpha_1(p_0 - p_1)$ và $G_2 = \alpha_2(p_1 - p_2)$.

Sau khi biến đổi, sẽ nhận được

$$T_p \frac{dp_1}{dt} + p_1 = k_0 p_0 + k_2 \Delta p_2 \quad (\text{V.1.76})$$

trong đó:

T_p - hằng số thời gian của khâu không tuần hoàn

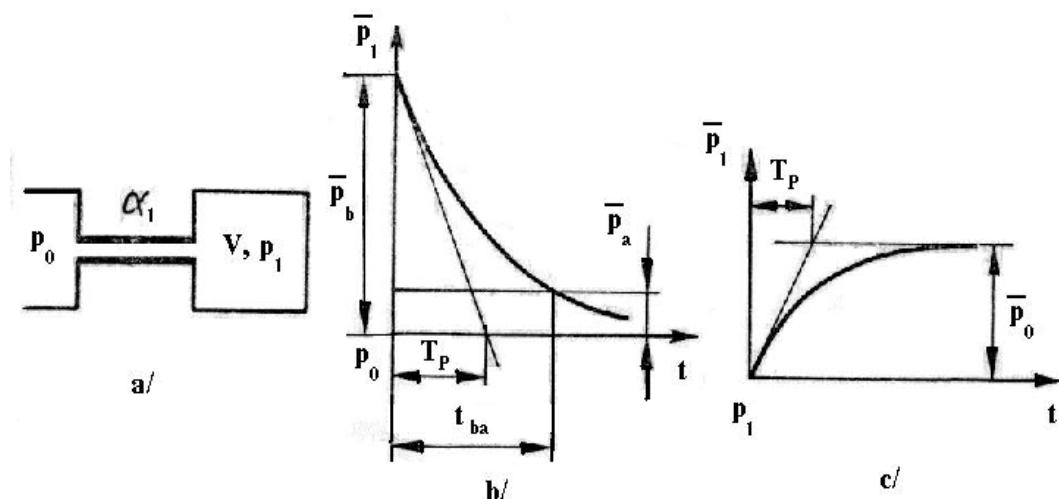
$$T_p = \frac{V}{R T(\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (\text{V.1.77})$$

k_2, k_0 - các hệ số khuếch đại (nhỏ hơn 1)

$$k_0 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} = 1 - k_1, \quad (\text{V.1.78})$$

$$k_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Nếu độ dẫn của tiết lưu thứ hai là $\alpha_2 = 0$ thì phương trình vi phân của khoang trao đổi khí nén sẽ suy biến thành vi phân của khoang trao đổi khí nén chật cứng (hình V.1.13a)



Hình V.1.13. Sơ đồ tính toán khoang trao đổi khí nén chật cứng.

- a. Sơ đồ khoang trao đổi khí nén chứa các tiết lưu chảy tầng.
- b. Phương trình chuyển tiếp khi tháo hết.
- c. Phương trình chuyển tiếp khi điền đầy vào khoang.

$$T_p \frac{dp_1}{dt} + p_1 = p_0 \quad (V.1.79)$$

trong đó:

$$T_p = \frac{V}{R T \alpha_1} \quad (V.1.80)$$

Giả thiết rằng áp suất p_0 là giá trị mức cố định số đọc, còn áp suất được tính từ mức cố định này được ký hiệu là \bar{p}_1 .

Khi đó

$$T_p \frac{d\bar{p}_1}{dt} = -\bar{p}_1 \quad (V.1.81)$$

Lấy tích phân biểu thức (V.1.81), sẽ nhận được

$$T_p \ln \bar{p}_1 = -t + C \quad (V.1.82)$$

trong đó:

C - hằng số tích phân.

Để xác định hằng số tích phân C , ký hiệu áp suất khi $t = 0$ là \bar{p}_b . Khi đó biểu thức (V.1.82) sẽ có dạng

$$C = T_p \ln \bar{p}_b \quad (V.1.83)$$

Kết hợp các biểu thức (V.1.82) và (V.1.83), sẽ nhận được

$$\bar{p}_1 = \bar{p}_b e^{-\frac{t}{T_p}} \quad (V.1.84)$$

Như vậy sự sụt áp trong khoang trao đổi khí nén sẽ xảy ra theo quy luật hàm mũ (hình V.1.13b).

Thời gian để áp suất trong khoang trao đổi khí nén sẽ tụt từ \bar{p}_b đến \bar{p}_a

$$t_{ba} = -T_p \ln \frac{\bar{p}_a}{\bar{p}_b} \quad (V.1.85)$$

Các biểu thức (V.1.84) và (V.1.85) được đưa ra đối với trường hợp thoát hết khí nén khỏi khoang trao đổi khí nén khi $p_1 > p_0$.

Nếu $p_0 > p_1$ thì sẽ xảy ra trường hợp điền đầy khoang trao đổi khí nén.

Phương trình vi phân của khoang trao đổi khí nén khi đó sẽ có dạng

$$T_p \frac{d\bar{p}_1}{dt} + \bar{p}_1 = \bar{p}_0 \quad (V.1.86)$$

Giá trị các áp suất \bar{p}_1 và \bar{p}_0 được tính từ giá trị ban đầu của áp suất p_1 , được coi như mức không của số đọc. Giả thiết áp suất đầu vào tại thời điểm $t = 0$ chấp nhận sự thay đổi bước nhảy từ 0 đến \bar{p}_0 .

Nghiệm của phương trình vi phân không thuần nhất (V.1.86) sẽ là tổng của hai nghiệm:

- Nghiệm của phương trình vi phân thuần nhất tương ứng với (V.1.86).
- Nghiệm riêng của (V.1.86).

Vì vé phải của biểu thức (V.1.86) là hằng số, nên nghiệm riêng có thể được biểu diễn dưới dạng

$$u = B \quad (V.1.87)$$

trong đó:

B - hằng số.

Đặt B vào vị trí của \bar{p}_1 trong biểu thức (V.1.86), sẽ có

$$B = \bar{p}_0 \quad (V.1.88)$$

Nghiệm của phương trình đặc trưng là h_{01} , nên nghiệm của phương trình (V.1.86) có thể biểu diễn như sau

$$\bar{p}_1 = A e^{-\frac{t}{T_p}} + \bar{p}_0 \quad (V.1.89)$$

trong đó:

A - hằng số bất kỳ được xác định từ điều kiện khi $t = 0, \bar{p}_1 = 0$

$$A = -\bar{p}_0 \quad (V.1.90)$$

Như vậy sẽ có biểu thức nghiệm có dạng

$$\bar{p}_1 = \bar{p}_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_p}} \right) \quad (V.1.91)$$

Đồ thị biểu thức nghiệm (V.1.91) được biểu diễn trên hình V.1.13c.

Xác định hằng số thời gian theo đồ thị của phương trình chuyển tiếp bằng cách lấy giá trị hình chiếu của đường tiếp tuyến với đường giá trị dùng $\bar{p}_1 = \bar{p}_0$.

Đường kính d của ống mao dẫn có độ dài l mà tại đó thực hiện giá trị đã cho của hằng số thời gian T_p đối với khoang trao đổi khí nén chất cứng (hình V.1.13a) có thể tích V sẽ được xác định

$$d = \sqrt[4]{\frac{128\mu V l}{\pi p_0 T_p}} \quad (V.1.92)$$

Đặt giá trị của T_p (V.1.80) vào (V.1.92), sẽ nhận được giá trị của độ dẫn của ống mao dẫn

$$\alpha \approx \frac{\pi d^4 p_0}{128\mu R T l} \quad (V.1.93)$$

V.1.2.4. Bộ tích năng khí nén

Sơ đồ bộ tích năng khí nén được biểu diễn trên hình V.1.14. Tại vị trí của ống xiphông có thể sử dụng:

- Phần tử đàn hồi khác bất kỳ, được đặc trưng bởi mối liên hệ tuyến tính giữa thể tích và độ giảm áp.
- Các bình thông nhau dạng áp kế chất lỏng vi phân dạng chữ U với các đường kính như nhau và không đổi.

Khi không có cữ chặn dưới tác dụng của độ giảm áp $p_1 - p_2$ thì độ dịch chuyển của ống xiphông được xác định

$$x = \frac{F}{C_1} (p_1 - p_2) = \frac{F}{C_1} \Delta p \quad (\text{V.1.94})$$

trong đó:

F - diện tích hiệu dụng của ống xiphông.

C_1 - độ cứng của ống xiphông.

Khối lượng của không khí chứa trong ống xiphông được xác định

$$M = V_0 \rho + x F \rho \quad (\text{V.1.95})$$

trong đó:

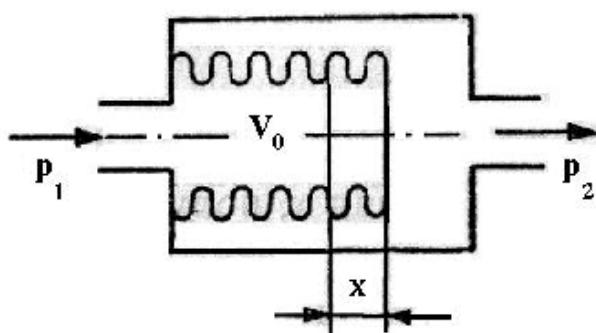
V_0 - thể tích ban đầu.

ρ - khối lượng riêng.

Lấy vi phân theo thời gian biểu thức (V.1.95) với giả thiết $p_1 = \text{const}$, sẽ nhận được biểu thức xác định lưu lượng không khí trong ống xiphông

$$\frac{dM}{dt} = G = F \rho \frac{dx}{dt} \quad (\text{V.1.96})$$

Loại bỏ x , sẽ nhận được



Hình V.1.14. Sơ đồ bộ tích năng khí nén.

$$G = \frac{F^2 \rho}{C_1} \frac{d\Delta p}{dt} = C \frac{d\Delta p}{dt} \quad (V.1.97)$$

trong đó:

C - dung tích khí nén.

Giả thiết lưu lượng khối lượng G tương tự như cường độ dòng điện I, độ giảm áp Δp tương tự như điện áp U, có thể đưa đến kết luận rằng bình tích năng khí nén $\left(G = C \frac{d\Delta p}{dt} \right)$ hoàn toàn tương tự như tụ điện $\left(I = C \frac{dU}{dt} \right)$.

V.1.3. Đặc tính tĩnh của hệ thống kênh dẫn thông tin trong tự động khí nén

Trong hệ thống tự động khí nén có 2 loại kênh dẫn:

- Kênh dẫn ngắn.
- Kênh dẫn dài.

Kênh dẫn ngắn cần thiết để nối các phần tử phun tia hoặc các phần tử khác trong các cụm của cơ cấu khí nén.

Kênh dẫn dài hoặc các kênh thông tin giữa các cụm riêng biệt, giữa các tổ hợp.

Trong hoạt động của kênh dẫn khí nén tại các trạng thái dừng thì phải đặc biệt chú ý đến:

- Xác định tổn thất áp suất tại chỗ cản.
- Tính toán lưu lượng của mạch phân nhánh.

Tồn thất áp suất được phân thành 2 loại:

- Tổn thất cục bộ: là tổn thất tại lối vào, lối ra, chỗ uốn của đường ống...
- Tổn thất dọc đường: là tổn thất do ma sát nhớt gây ra dọc theo chiều dài của kênh dẫn.

Thông thường phải tiệm cận đến tổn thất nhỏ nhất. Để có được điều này thì phải lựa chọn tương ứng cấu trúc của kênh dẫn T, thiết diện cắt của các kênh dẫn thông tin được mắc nối tiếp với nhau. Sẽ tiến hành khảo sát các loại tổn thất trong các kênh dẫn thông tin khí nén.

V.1.3.1. Tổn thất dọc đường

Tổn thất dọc đường được xác định theo công thức

$$\Delta p = \xi_l \frac{\rho v^2}{2} = \lambda \frac{1}{d_{tl}} \frac{\rho v^2}{2} \quad (V.1.98)$$

trong đó:

ξ_l - hệ số tổn thất dọc đường

$$\xi_l = \lambda \frac{1}{d_{tl}} \quad (V.1.99)$$

ρ - khói lượng riêng của không khí.

v - vận tốc trung bình của thiết diện dòng chảy.

l - độ dài của kinh dẫn.

λ - hệ số ma sát phụ thuộc vào chế độ chảy, hình dáng thiết diện và độ nhám tương đối.

vận tốc trung bình của thiết diện dòng chảy

d_u - đường kính thuỷ lực, là tỉ số giữa 4 lần diện tích thiết diện f và chu vi W của kinh dẫn

$$d_u = \frac{4f}{W} \quad (\text{V.1.100})$$

Biết rằng bán kính thuỷ lực được xác định

$$R_u = \frac{d_u}{4} \quad (\text{V.1.101})$$

Đối với chế độ chảy tầng ($Re \leq 2300$) trong kinh có thiết diện tròn thì hệ số ma sát là $\lambda = \frac{64}{Re}$.

Đối với chế độ chảy rối không phát triển thì hệ số ma sát được xác định theo công thức Blaziuc $\lambda = 0,316\sqrt{Re}$.

Trong trường hợp tổng quát đối với kinh có thiết diện tròn tại tất cả các chế độ chảy thì hệ số ma sát được xác định theo công thức Nikuratze.

Nếu hình dạng thiết diện của kinh dẫn không phải là hình tròn thì hệ số ma sát λ không chỉ phụ thuộc vào số Re , mà còn phụ thuộc vào tỉ số h/b

$$\lambda = f(h/b, Re) \quad (\text{V.1.102})$$

trong đó:

h, b - độ cao và chiều rộng tương ứng của kinh dẫn.

Việc xác định số Raynol được xác định theo công thức

$$Re = \frac{vd_u}{v} \quad (\text{V.1.103})$$

- Đối với thiết diện cắt của kinh dẫn là hình chữ nhật

$$Re = \frac{2vh}{v(b+h)} = \frac{2Q}{v(b+h)} \quad (\text{V.1.104})$$

trong đó:

v - vận tốc chuyển động của dòng không khí

$$v = \frac{Q}{bh} \quad (\text{V.1.105})$$

Q - lưu lượng thể tích của dòng không khí.

- Đối với thiết diện cắt của kênh dẫn là hình tròn

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{4Q}{\nu \pi d} \quad (V.1.106)$$

trong đó:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (V.1.107)$$

V.1.3.2. Tồn thắt cục bộ

Tồn thắt cục bộ phụ thuộc vào hệ số tồn thắt cục bộ ξ_{cb} . Hệ số tồn thắt cục bộ ξ_{cb} này phụ thuộc vào số Raynol tại các chế độ chảy tầng và chế độ chảy chuyển tiếp, vào hình dạng của kênh dẫn, còn tại chế độ chảy rói chỉ phụ thuộc vào hình dạng của kênh dẫn.

Ngoài ra, tại các chế độ chảy rối và chế độ chảy chuyển tiếp thì hệ số tồn thất cục bộ ξ_{ch} còn phụ thuộc vào độ nhám của thành ống.

Cách xác định hệ số tồn thất cục bộ ξ_{cb} được nêu cụ thể trong sách “Thủy lực, máy và truyền động thủy khí” nên không nhắc lại trong giáo trình này.

V.1.4. Đặc tính động lực học của hệ thống kênh dẫn thông tin

trong tự động khí nén

Đặc tính động lực học của hệ thống khí nén được xác định bởi các đặc tính động lực học của các khâu riêng biệt trong hệ thống (các phần tử khí nén, các kênh dẫn thông tin).

Trong thực tế khi chế tạo các hệ thống điều khiển khí nén có thể tồn tại hệ thống có đầy đủ các đặc tính tĩnh học theo yêu cầu nhưng không có khả năng hoạt động trong các chế độ động lực học.

Nguyên nhân là do không tính đến các đặc tính động lực học của các kênh dẫn khí nén.

Trong hệ thống điều khiển phun tia thì các phần tử khí nén liên kết với nhau bằng kênh dẫn thông tin có thiết diện không lớn và độ dài ngắn ($l/d_t < 10$). Đó là các kênh dẫn thông tin ngắn.

Trong hệ thống tự động khí nén dùng màng hoặc dùng màng - phun tia thì do sự tác động nhanh nhô nên thường sử dụng kênh dẫn thông tin dài.

Còn trong việc truyền các tín hiệu khí nén từ các cảm biến đến hệ thống điều khiển, từ hệ thống điều khiển đến dẫn động sẽ được thực hiện theo kênh dẫn thông tin dài.

Quá trình xảy ra trong các kênh dẫn phụ thuộc vào nhiều yếu tố và rất phức tạp. Trong khi truyền các tín hiệu khí nên theo các kênh dẫn có tổ hợp của 2 quá trình:

- Quá trình lấy đà của khối lượng môi trường.
- Quá trình sóng.

Tính đến tất cả các yếu tố rất phức tạp bởi vì chưa giải thích được các nguyên nhân được coi là tồn tại trong mỗi yếu tố đó.

Trong thực tế thường sử dụng phương pháp tính toán gần đúng để tính các đặc tính của kênh dẫn thông tin, và tiến hành số lượng lớn các thực nghiệm để đánh giá sai số của các phương pháp tính gần đúng và thiết lập các hệ số tham khảo.

Trong khi xử lý các dữ liệu thực nghiệm đã cho rằng kênh dẫn thông tin là sự mắc nối tiếp của khâu trễ và khâu không tuần hoàn nên áp suất đầu ra p_1 được liên hệ với áp suất tại lối vào kênh dẫn p_0 theo biểu thức

$$T_p \frac{dp_1}{dt} + p_1 = K p_0^{\dot{}} , \quad (V.1.108)$$

$$p_0^{\dot{}} = p_0 (t - \tau)$$

trong đó:

$p_0^{\dot{}} -$ áp suất trung gian (hình V.1.15).

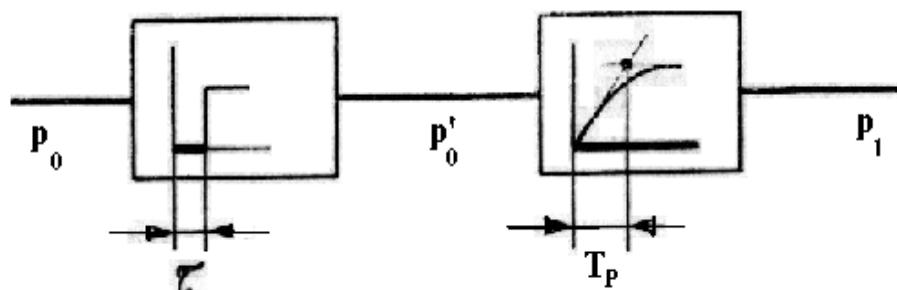
τ - thời gian giữ chậm, được xác định trên cơ sở các dữ liệu thực nghiệm

$$\tau = \eta \frac{L}{a} \quad (V.1.109)$$

L - độ dài của kênh dẫn.

a - vận tốc âm thanh trong không khí.

η - hệ số tỉ lệ, được xác định trên cơ sở các dữ liệu thực nghiệm đối với kênh dẫn có thiết diện cắt $1,5 * 1,5$ mm .



Hình V.1.15. Sơ đồ cấu trúc thu gọn để tính toán kênh dẫn thông tin.

Đối với các kênh dẫn có thiết diện cắt như trên, nếu tồn tại tiết lưu tại các đầu của kênh dẫn, được xác định bằng các kích thước thiết diện đầu vào và thiết diện đầu ra đối với kênh dẫn của các phần tử phun tia thì hằng số thời gian của khâu không hoàn toàn sẽ là $T_p = 15,5 \cdot 10^{-10}$ Ls.

Hằng số này nhận được đối với kênh dẫn có độ dài $L = 100 \div 900$ mm. Khi đánh giá thời gian tổng cộng T_l của việc truyền tín hiệu theo kênh dẫn thông tin sẽ chấp nhận

$$T_l = T_p + \tau \quad (\text{V.1.110})$$

V.1.5. Đường kênh dẫn dài

Quá trình truyền sóng của tín hiệu khí nén tương tự như quá trình truyền sóng trong đường điện và được biểu thị bằng hệ các phương trình đạo hàm riêng. Trong trường hợp tổng quát thì phương trình truyền sóng của tín hiệu khí nén có dạng

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} + R Q + L \frac{\partial Q}{\partial t} &= 0, \\ \frac{\partial Q}{\partial x} + C \frac{\partial p}{\partial t} &= 0 \end{aligned} \quad (\text{V.1.111})$$

trong đó:

R, L, C - các hệ số được xác định

$$R = \frac{8\pi\mu}{f^2}, \quad L = \frac{\rho}{f}, \quad C = \frac{f}{\rho a^2} \quad (\text{V.1.112})$$

f - diện tích thiết diện cắt của kênh dẫn.

μ - hệ số độ nhớt động lực học của không khí.

ρ - khối lượng riêng của không khí.

a - vận tốc âm thanh.

Biểu thức (V.1.111) với giả thiết sự thay đổi của áp suất trên kênh dẫn rất nhỏ so với áp suất tại chế độ tĩnh ban đầu. Do đó không khí có thể coi là không nén được. Ngoài ra giả thiết rằng tồn thất do ma sát sẽ được xác định như trạng thái chảy tầng dừng của chất lỏng trong đường ống.

Biểu thức (V.1.111) có thể đưa đến 1 phương trình đạo hàm riêng bậc hai đối với lưu lượng thể tích Q

$$L \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} + R \frac{\partial Q}{\partial t} - C^{-1} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad (\text{V.1.113})$$

hoặc 1 phương trình đạo hàm riêng bậc hai đối với áp suất p

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - LC \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - RC \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (\text{V.1.114})$$

Thường sử dụng phương pháp toán tử để lấy tích phân các biểu thức (V.1.111) ÷ (V.1.114) sẽ đưa đến một số trường hợp riêng. Khảo sát trường hợp đường khenh dẫn dài với sự thay đổi dạng bước nhảy của nhiễu tại lối vào, nhiễu này rất nhỏ so với áp suất trong khenh dẫn tại chế độ tĩnh ban đầu. Tại lối ra của khenh dẫn được nối với khoang khí nén.

Trong trường hợp tổng quát thì phương trình liên hệ giữa lưu lượng thể tích Q và sự thay đổi áp suất p trong khoang khí nén có dạng

$$Q = C_K \frac{dp}{dt} \quad (V.1.115)$$

trong đó:

C_K - hệ số được xác định

+ Đối với khoang chật cứng có thể tích không đổi

$$C_K = \frac{V}{p_0} \quad (V.1.116)$$

+ Đối với khoang chật cứng có thể tích thay đổi

$$C_{K^*} = \frac{V}{p_0} + \frac{F^2}{C^*} \quad (V.1.117)$$

V - thể tích không đổi của khoang.

V_0, p_0 - thể tích và áp suất của khoang ở chế độ tĩnh ban đầu.

F - diện tích mặt hoạt động.

C^* - độ cứng của ống xiphông hoặc lò xo tác dụng lên màng, lên piston hoặc lên phần tử thay đổi thể tích.

Khảo sát quá trình thay đổi áp suất trong đường đối với 2 trường hợp riêng thường được xảy ra trong thực tế:

- Tại cuối đường khenh dẫn dài được nối với khoang khí nén có thể tích nhỏ ($C_K = 0$).
- Tại cuối đường khenh dẫn dài được nối với khoang khí nén mà tỉ số giữa đôi dài khenh dẫn với đường kính của khoang không lớn.

V.1.5.1. Tại cuối đường khenh dẫn dài được nối với khoang khí nén có thể tích nhỏ ($C_K = 0$)

Trong trường hợp này áp suất tại lối vào sẽ thay đổi bước nhảy tại thời điểm $t = 0$ từ giá trị ban đầu (quy ước là $p = 0$) đến giá trị $p_{x=0}$ được duy trì không đổi.

Sử dụng phương pháp toán tử sẽ xác định áp suất trong đường ống ở khoảng cách x tại thời gian t

$$p(x,t) = p_{x=0} \left[1 + \frac{e^{-\alpha t}}{l^2 LC} \sum_{j=0}^{\infty} (1-)^j \left(\frac{e^{\beta_j t}}{-\alpha + \beta_j} - \frac{e^{-\beta_j t}}{-\alpha - \beta_j} \right) * \right. \\ \left. * \frac{(2j+1)\pi}{2\beta_j} \cos \frac{(2j+1)}{2} \frac{(1-x)}{2} \pi \right], j = 0 \div \infty \quad (V.1.118)$$

trong đó:

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \beta_j = \sqrt{\alpha^2 - \frac{1}{LC} \left(\frac{2j+1}{2l} \pi \right)^2} \quad (V.1.119)$$

Khi đã biết các hằng số R, L, C, theo biểu thức (V.1.119) có thể tính:

- Các giá trị α và β_j khi $j = 0 \div \infty$ và đối với x không đổi sẽ tính được các thành phần của chuỗi đối với các giá trị khác nhau của t . Trong trường hợp này sẽ tìm được sự thay đổi áp suất theo thời gian tại mỗi thiết diện xác định của đường ống.
- Khi t không đổi sẽ tính được các thành phần của chuỗi đối với các giá trị khác nhau của x trong biểu thức (V.1.118) đối với áp suất $p(x,t)$. Trong trường hợp này sẽ tìm được sự thay đổi áp suất dọc theo đường ống tại mỗi thời điểm xác định. Số lượng các thành phần của chuỗi được chọn tuỳ theo độ chính xác được yêu cầu.

V.1.5.2. Tại cuối đường kênh dẫn được nối với khoang khí nén mà tỉ số giữa dài kênh dẫn với đường kính của khoang không lớn

Trong điều kiện này có thể bỏ qua sự ảnh hưởng của ma sát nhớt và giả thiết $R = 0$. Tại lối vào đường ống thì áp suất sẽ thay đổi bước nhảy khi $t = 0$ đến giá trị $p_{x=0}$ và sau đó sẽ giữ nguyên không đổi. Nghiệm của phương trình (V.1.111) nhận được theo phương pháp toán tử sẽ có dạng

$$p(x,t) = p_{x=0} \left[1 - 4 \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\sin \left(\beta_j \frac{x}{l} \right)}{2\beta_j + \sin(2\beta_j)} \cos \left(\frac{\beta_j}{l\sqrt{LC}} t \right) \right] \quad (V.1.120)$$

trong đó:

β_j - hệ số được xác định theo phương trình $\operatorname{ctg} \beta_j = \frac{\beta_j}{\delta}$, thường tìm theo đồ thị hoặc

theo bảng.

Tại các giá trị lớn của j thì hệ số β_j có thể được xác định theo công thức

$$\beta_j = (j-1)\pi + \frac{\delta}{(j-1)\pi} \quad (V.1.121)$$

CHƯƠNG V
KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC
CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG KHÍ NÉN
(Tiếp theo)
BÀI 13

CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC

V.2.1. Các phần tử phun tia lôgic hoạt động trên cơ sở tác dụng tương tác của các dòng phun tia chảy rói.

V.2.1.1. Các phần tử chức năng cơ bản.	212
V.2.1.1.1. Các phần tử tác dụng tích cực.	213
V.2.1.1.2. Các phần tử tác dụng thụ động.	218
V.2.1.1.3. Các thuật toán lôgic được thực hiện trên các phần tử phun tia.	219
V.2.1.2. Phương pháp tính toán các dòng phun tia va đập nhau.	221
V.2.1.3. Tính gần đúng góc lệch lớn nhất của dòng phun tia trong phần tử bộ nhớ với mạch phản hồi dương.	224

BÀI 13

CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC

Hiện nay tồn tại số lượng lớn các cơ cấu phun tia, bao gồm các phần tử, các môđun và các hệ thống điều khiển tác dụng không liên tục.

Tuy nhiên các phần tử phun tia lôgic được ứng dụng khá rộng rãi. Mỗi phần tử phun tia lôgic bất kỳ có các đặc tính chức năng tương ứng với chức năng của nó, các đặc tính đó bao gồm:

- Đặc tính áp suất.
- Đặc tính lưu lượng.
- Đặc tính tải trọng.

Nhờ có các đặc tính áp suất có thể xác định được việc thực hiện các thuật toán lôgic trong các giá trị của áp suất (Sự phụ thuộc của áp suất đầu ra của phần tử phun tia đối với áp suất điều khiển $p_R = f_1(p_{dk})$).

Đặc tính lưu lượng biểu diễn mối liên kết giữa lưu lượng trong kênh dẫn của các phần tử phun tia. Đặc tính này có thể là mối liên hệ giữa lưu lượng trong kênh dẫn nguồn cấp đối với áp suất nguồn cấp hoặc lưu lượng tại kênh ra đối với lưu lượng điều khiển $[Q_0 = f_2(p_0), Q_R = f_3(Q_{dk})]$.

Đặc tính tải trọng là các đặc tính của đầu vào và đầu ra $[Q_{dk} = f_4(p_{dk}), Q_R = f_5(p_R)]$.

V.2.1. Các phần tử phun tia lôgic hoạt động trên cơ sở tác dụng tương tác của các dòng phun tia chảy rói

Đã sử dụng sự tương tác lực của các dòng phun tia để xây dựng các phần tử phun tia thực hiện các thuật toán lôgic đơn giản như “??” (Đồng ý), “??” (Không), “???” (Hoặc), “?” (Và) cũng như các thuật toán phức tạp hơn.

V.2.1.1. Các phần tử chức năng cơ bản

Các phần tử phun tia có hoạt động của dựa trên cơ sở độ lệch về lực của dòng khí chuyển động được phân thành:

- Phần tử tác dụng tích cực.
- Phần tử tác dụng thụ động.

Trong phần tử tác dụng tích cực có kênh nguồn cấp chuyên dụng được cấp áp suất nguồn. Phần tử tác dụng thụ động không có kênh dẫn này và tín hiệu đầu ra của chúng được hình thành bởi tín hiệu điều khiển.

V.2.1.1. Các phần tử tác dụng tích cực

Nếu trong không gian chảy ra từ vòi phun dưới góc phẳng có sự tương tác giữa các dòng phun tia chảy rời (hình V.2.1a):

- Một dòng đồng trực với nguồn cấp.
- Dòng khác tạo thành góc phẳng đối với dòng kia.

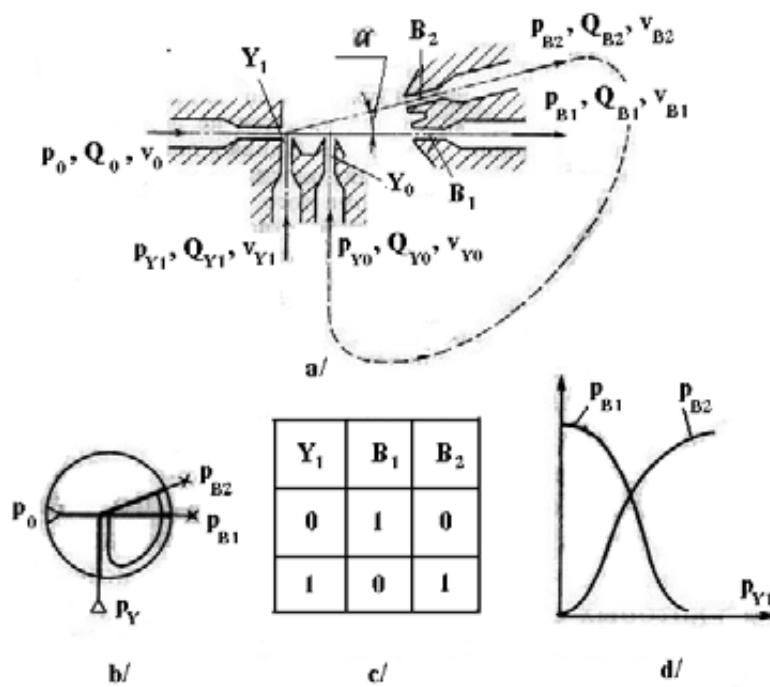
Sơ đồ này sẽ nhận được phần tử phun tia lôgic thực hiện các thuật toán lôgic “ДА” (Đồng ý) và “НЕ” (Không).

Chất lỏng công tác chịu tác dụng của áp suất p_0 được cấp đến kênh dẫn nguồn cấp và chảy ra từ chúng với vận tốc v_0 tạo nên lưu lượng Q_0 .

Tín hiệu điều khiển (tín hiệu đầu vào) dưới áp suất p_{Y1} được cấp đến kênh dẫn điều khiển Y_1 , tại mặt cắt của kênh dẫn có thiết lập vận tốc v_{Y1} và lưu lượng Q_{Y1} .

Dòng phun tia chảy ra từ kênh dẫn điều khiển Y_1 nghiêng góc so với dòng phun tia nguồn cấp chính. Từ các kênh dẫn ra B_1 và B_2 sẽ có các áp suất đầu ra p_{B1} và p_{B2} .

Một phần công suất từ đầu ra B_2 sẽ được cấp theo kênh dẫn của mạch phản hồi dương đến kênh điều khiển thứ hai Y_0 .



Hình V.2.1. Cơ cấu khuếch đại phun tia với 1 đầu vào.

- a. Sơ đồ nguyên lý.
- b. Ký hiệu quy ước.
- c. Bảng đầu nối vào.
- d. Các đặc tính tĩnh.

Mạch phản hồi dương cho phép là tăng độ cong của đường đặc tính và hệ số khuếch đại của phần tử.

Phần tử lôgic của dạng được khảo sát sẽ thực hiện các thuật toán lôgic lặp lại (tín hiệu đầu ra p_{B_2}) và thuật toán lôgic phủ định (tín hiệu đầu ra p_{B_1}).

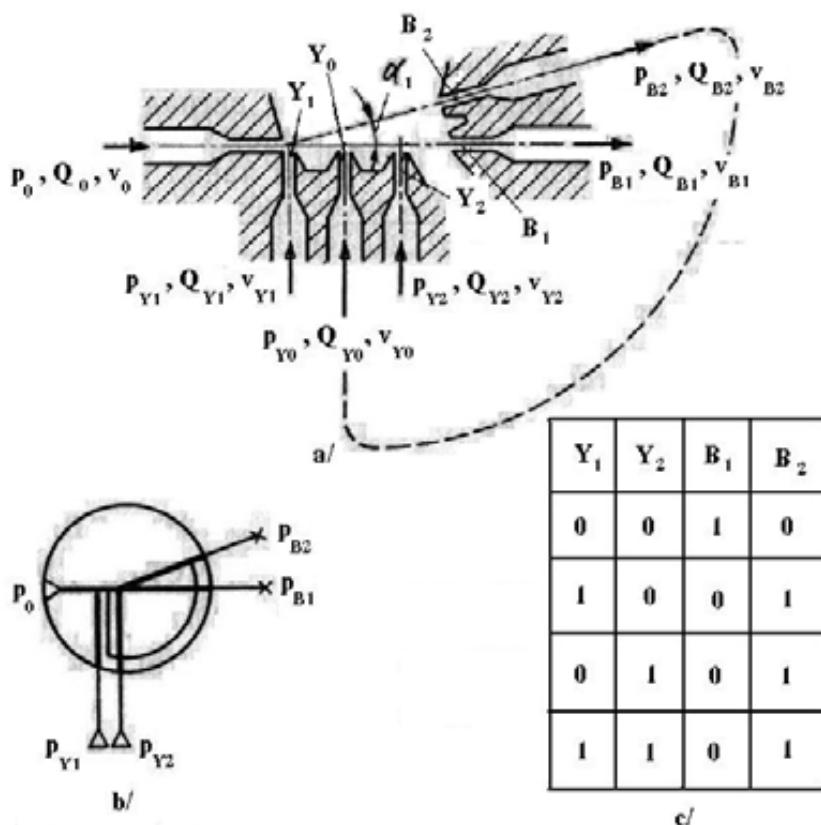
Công của phần tử này được biểu thị bằng các liên hệ lôgic

$$B_2 = Y_1 ; B_1 = \bar{Y}_1 \quad (V.2.1)$$

Ký hiệu quy ước và bảng đưa tín hiệu đầu vào được biểu trên hình V.2.1b và hình V.2.1c tương ứng.

Đồng thời với việc thực hiện thuật toán lôgic, phần tử phun tia lôgic sẽ thực hiện việc khuếch đại của tín hiệu đầu vào (Tại các lối ra B_1 và B_2 các tín hiệu p_{B_1} và p_{B_2} lớn hơn tín hiệu đầu vào p_{Y_1}).

Các đặc tính tĩnh học (hình V.2.1d) biểu thị sự thay đổi áp suất p_{B_1} và p_{B_2} tại các lối ra của phần tử phun tia lôgic phụ thuộc vào áp suất p_{Y_1} .



Hình V.2.2. Phần tử phun tia với 2 kênh dẫn điều khiển.

- a. Sơ đồ nguyên lý; b. Ký hiệu quy ước;
- c. Bảng đầu nối vào.

Đối với các phần tử phun tia có 2 lối vào (điều khiển) của kênh dẫn (hình V.2.2a):

Một trong 2 hoặc đồng thời cả 2 tín hiệu điều khiển (tín hiệu đầu vào) dưới áp suất p_{Y_1} (vận tốc v_1 , lưu lượng Q_1) và áp suất p_{Y_2} (vận tốc v_2 , lưu lượng Q_2) sẽ được cấp đến các kênh dẫn điều khiển Y_1 và Y_2 .

Dưới tác dụng bất kỳ của một trong các tín hiệu này (hoặc đồng thời cả 2 tín hiệu) thì dòng phun tia nguồn cấp sẽ bị lệch, khi đó tại kênh dẫn ra B_1 thì áp suất sẽ giảm, còn tại kênh dẫn ra B_2 thì áp suất sẽ tăng.

Như vậy từ các kênh dẫn ra B_1 và B_2 sẽ có các tín hiệu đầu ra p_{B_1} và p_{B_2} .

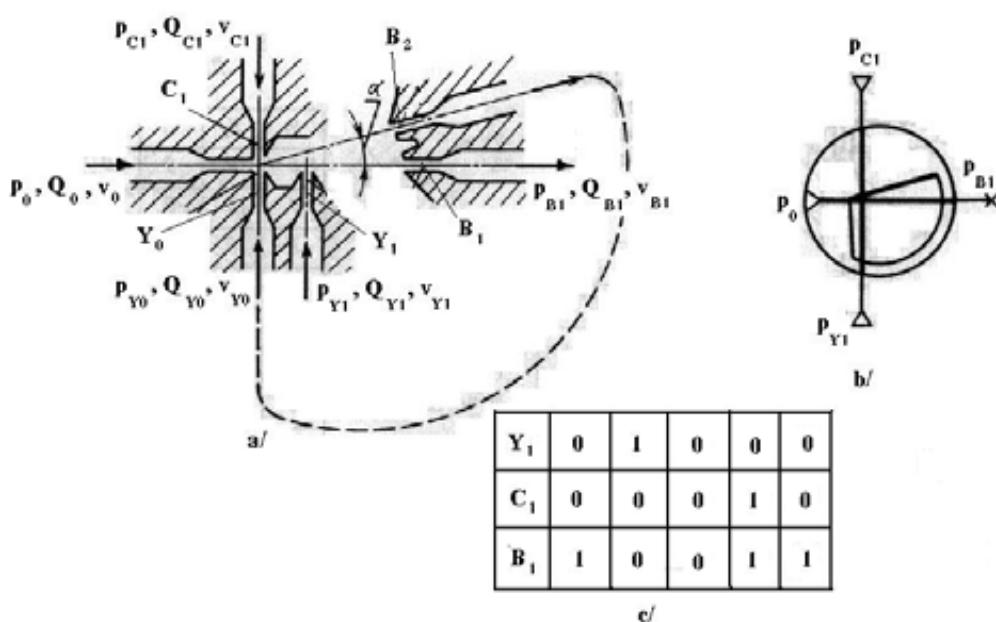
Trong phần tử được khảo sát để làm tăng độ cong của đặc tính sẽ được đưa mạch phản hồi dương sẽ nối kênh dẫn ra B_2 với kênh điều khiển Y_0 .

Phần tử logic sẽ thực hiện các thuật toán logic “ИЛИ” (Hoặc), “НЕ - ИЛИ” (Không - Hoặc).

Công của phần tử này được biểu thị bằng các liên hệ logic

$$B_2 = Y_1 + Y_2 ; B_1 = \overline{Y_1 + Y_2} \quad (\text{V.2.2})$$

Ký hiệu quy ước và bảng đưa tín hiệu đầu vào được biểu trên hình V.2.2b và hình V.2.2c tương ứng.



Hình V.2.3. Phần tử phun tia của bộ nhớ với 2 kênh dẫn điều khiển.

- a. Sơ đồ nguyên lý;
- b. Ký hiệu quy ước;
- c. Bảng đầu vào.

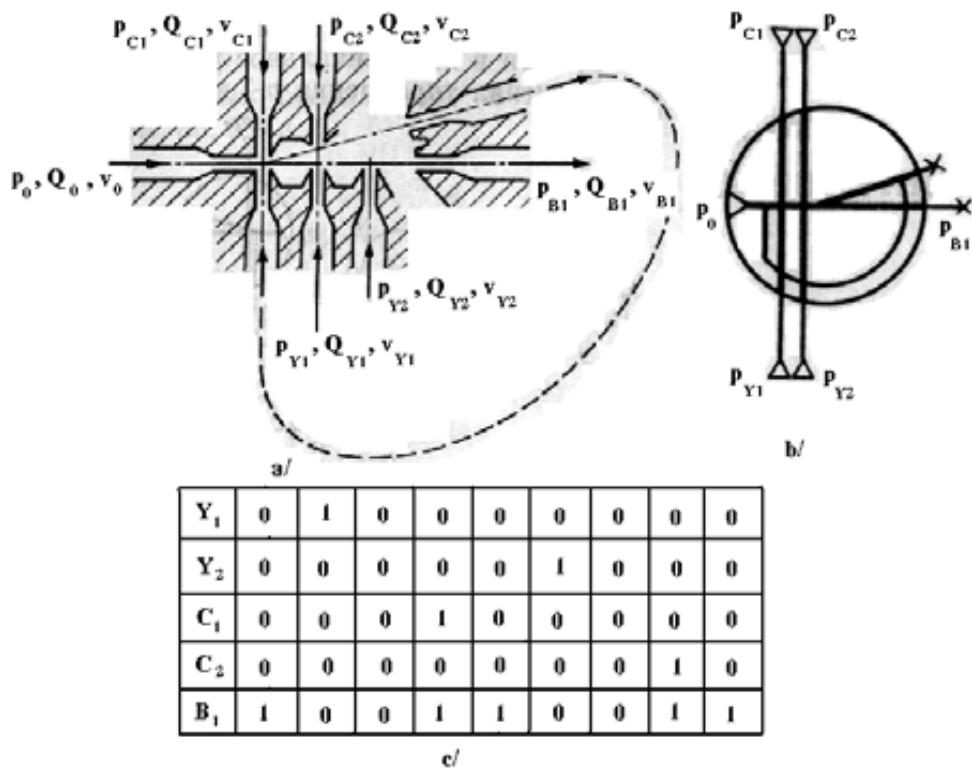
Nếu phần lớn tín hiệu từ kênh dẫn đầu ra bị nghiêng của phần tử phun tia tích cực được cấp đến kênh điều khiển gần với kênh nguồn cấp thì sẽ nhận được phần tử bộ nhớ (hình V.2.3a).

Phần tử bộ nhớ sẽ thực hiện việc ghi nhớ sự kiện của tín hiệu điều khiển đầu vào nhờ sự tồn tại của mạch phản hồi dương mạnh.

Ngoài kênh dẫn điều khiển Y_1 , trong phần tử phun tia còn có kênh dẫn điều khiển C_1 (kênh xả), khi có sự cấp tín hiệu đến kênh C_1 thì phần tử phun tia sẽ chuyển về trạng thái ban đầu.

Hoạt động của phần tử như sau: Khi cấp áp suất nguồn p_0 đến kênh dẫn nguồn (hình V.2.3a) thì dòng phun tia có hướng đến kênh dẫn ra B_1 có áp suất p_{B1} (lưu lượng Q_{B1}). Phần tử bộ nhớ ở trong một trạng thái ổn định.

Nếu cấp tín hiệu điều khiển p_{Y1} đến kênh dẫn Y_1 thì do tác dụng của lực lên dòng phun tia nguồn cấp và tác dụng của mạch phản hồi dương mạnh thì dòng nguồn cấp sẽ hướng về kênh dẫn B_2 có áp suất p_{B2} .



Hình V.2.4. Phần tử phun tia của bộ nhớ với 4 kênh dẫn điều khiển.

- Sơ đồ nguyên lý.
- Ký hiệu quy ước.
- Bảng đầu nối vào.

Dòng nguồn cấp này sẽ được chuyển hóa hoàn toàn để tạo nên mạch phản hồi dương mạnh.

Trong kênh dẫn B_1 khi đó sẽ $p_{B1} = 0$. Phần tử bộ nhớ sẽ chuyển sang một trạng thái ổn định khác.

Nếu trong trạng thái ổn định này do kết quả của hướng dòng chảy trong kênh dẫn của mạch phản hồi dương và xuất hiện sự luân chuyển của dòng nguồn cấp thì tín hiệu điều khiển sẽ bị mất, trạng thái của phần tử bộ nhớ sẽ không bị thay đổi.

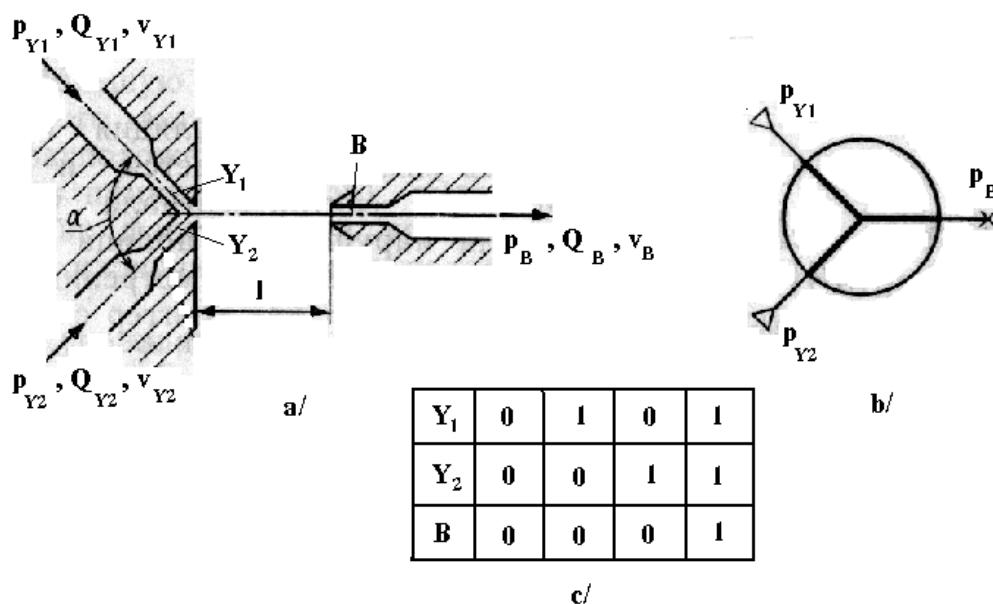
Để chuyển phần tử bộ nhớ về trạng thái ổn định ban đầu cần phải cấp tín hiệu điều khiển p_{C1} đến kênh dẫn C_1 .

Do tác dụng của tín hiệu p_{C1} thì sự luân chuyển của dòng nguồn cấp sẽ bị phá vỡ, mạch phản hồi sẽ bị ngắt và tín hiệu p_{C1} sẽ lại được hướng đến kênh dẫn B_1 . Khi mất tín hiệu điều khiển thì trạng thái của phần tử bộ nhớ sẽ không bị phá vỡ.

Theo bảng đầu nối vào (hình V.2.3c) thì phần tử bộ nhớ làm việc như trige với các đầu vào riêng biệt.

Các phần tử bộ nhớ có thể tổng hợp hơn trong mối liên hệ chức năng nếu như được bổ xung thêm 2 kênh điều khiển (hình V.2.4a).

Phần tử này không chỉ thực hiện thuật toán ghi nhớ mà còn thực hiện thuật toán “????” (Hoặc) theo mỗi cặp đầu vào p_{Y1}, p_{Y2} và p_{C1}, p_{C2} .



Hình V.2.5. Phần tử logic thụ động “I” (Và).

- Sơ đồ nguyên lý.
- Ký hiệu quy ước.
- Bảng đầu nối vào.

Giống như phần tử khuếch đại với 1 lối vào ở trường hợp đã khảo sát trên thì tất cả các phần tử logic tích cực sẽ đồng thời là phần tử khuếch đại.

V.2.1.1.2. Các phần tử tác dụng thụ động

Các phần tử tác dụng thụ động sẽ thực hiện các thuật toán logic 1 chu kỳ. Một trong các phần tử này là phần tử tác dụng thụ động “K” (Và) được biểu diễn trên hình V.2.5.

Các tín hiệu đầu vào (điều khiển) được cấp đến các kênh dẫn Y_1 và Y_2 . Các tín hiệu đầu ra sẽ được hình thành trong kênh dẫn B.

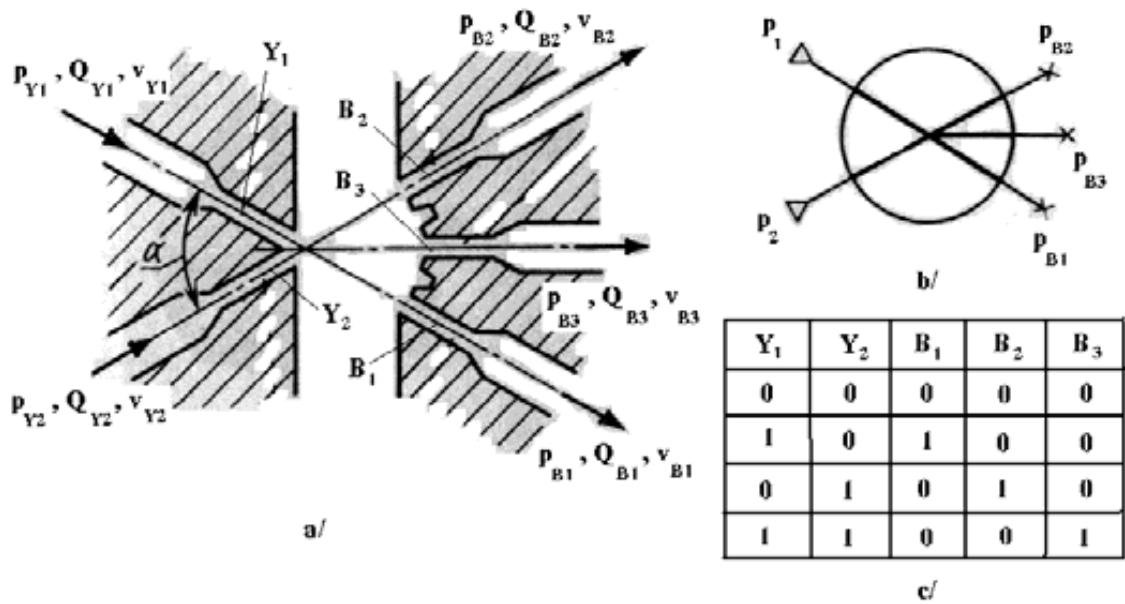
Bằng việc lựa chọn tương ứng góc α và khoảng cách l giữa các mép nhọn của kênh dẫn đầu vào và kênh dẫn đầu ra sẽ đạt được tại vị trí mà tín hiệu tại kênh dẫn ra B sẽ chỉ xuất hiện khi tồn tại các tín hiệu ở kênh dẫn Y_1 cũng như Y_2 .

Tín hiệu đầu vào được cấp đến 1 trong các kênh dẫn điều khiển sẽ được hướng vào khoang có áp suất khí quyển mà không cấp đến kênh dẫn đầu ra B.

Sử dụng sự tương tác của các dòng khí sẽ tạo nên được phần tử logic thụ động thực hiện một số các thuật toán logic.

Phần tử này được gọi là phần tử logic liên hợp (hình V.2.6).

Các tín hiệu điều khiển đầu vào được cấp đến các kênh dẫn Y_1 và Y_2 .



Hình V.2.6. Phần tử logic liên hợp thụ động “K”.

- Sơ đồ nguyên lý.
- Ký hiệu quy ước.
- Bảng đầu vào.

Phụ thuộc vào sự tổ hợp của các tín hiệu đầu vào tại kênh dẫn bất kỳ trong các kênh dẫn đầu ra thì tín hiệu đầu ra sẽ được hình thành.

Nếu tín hiệu được cấp chỉ đến kênh dẫn Y_1 thì tín hiệu sẽ xuất hiện tại lối ra B_1 . Nếu tín hiệu được cấp chỉ đến kênh dẫn Y_2 thì tín hiệu sẽ xuất hiện tại lối ra B_2 .

Khi tồn tại đồng thời các tín hiệu tại các kênh dẫn Y_1 và Y_2 thì tín hiệu đầu ra đơn vị sẽ được hình thành tại kênh dẫn ra B_3 .

Như vậy phần tử logic liên hợp thụ động “K” sẽ thực hiện các thuật toán logic sau

$$B_1 = Y_1 \overline{Y_2}; B_2 = \overline{Y_1} Y_2; B_3 = Y_1 Y_2 \quad (\text{V.2.3})$$

V.2.1.1.3. Các thuật toán logic được thực hiện trên các phần tử phun tia

Sẽ tiến hành khảo sát một số sự kết hợp các phần tử phun tia nhằm thực hiện các thuật toán logic:

- Hàm đẳng trị.
- Hàm cộng theo 2 môđun.
- Hàm phủ định “И” (Đường đứt Sephera).
- Uẩn hàm.
- Hàm phủ định “ИЛИ” (Mũi tên Pirsa).
- Trig với các đầu vào riêng biệt.

Hàm đẳng trị được thực hiện trên 2 phần tử logic (hình V.2.7a):

- Phần tử logic liên hợp thụ động.
- Phần tử khuếch đại với 2 lối vào.

Các biến số logic x_1 và x_2 được đưa đến lối vào của phần tử logic thụ động. Các tín hiệu từ các lối ra biên của phần tử logic thụ động sẽ điều khiển phần tử khuếch đại.

Tín hiệu lối ra y , được lấy từ lối ra nghịch đảo của phần tử khuếch đại sẽ thực hiện hàm đẳng trị tìm được theo công thức

$$\begin{aligned} \overline{x_1 \overline{x_2}} + x_2 \overline{x_1} &= (\overline{x_1} + x_2)(x_1 + \overline{x_2}) = x_1 \overline{x_1} + x_1 x_2 + \overline{x_1} \overline{x_2} + x_2 \overline{x_2} \\ &= x_1 x_2 + \overline{x_1} \overline{x_2} = x_1 \square x_2 = y \end{aligned} \quad (\text{V.2.4})$$

Hàm cộng theo 2 môđun (hình V.2.7b), được sử dụng để xây dựng các bộ cộng đôi. Hàm này tương đương với thuật toán phủ định của hàm đẳng trị và theo sự thực hiện của mình sẽ tương tự thuật toán hàm đẳng trị chỉ với sự sai khác này.

Như vậy tín hiệu từ kênh dẫn đầu ra trực tiếp của phần tử khuếch đại sẽ là tín hiệu y . Khi đó thuật toán logic sẽ được thực hiện

$$\overline{x_1 \bar{x}_2} + \overline{x_2 \bar{x}_1} = \overline{x_1 \square x_2} = x_1 \nabla x_2 = y \quad (\text{V.2.5})$$

Hàm phủ định “И” (Đường đứt Sephera) được thực hiện trên 1 phần tử lôgic liên hợp thụ động và 1 phần tử khuếch đại (hình V.2.7c).

Theo các biến lôgic x_1 và x_2 được cấp đến lối vào của phần tử lôgic thụ động sẽ thực hiện thuật toán “И” với sự đảo chiều tiếp theo trong phần tử khuếch đại.

Tín hiệu y được lấy ra từ lối ra đảo chiều của phần tử khuếch đại.

Thuật toán sẽ được thực hiện tương ứng với biểu thức lôgic

$$\overline{x_1 x_2} = x_1 / x_2 = y \quad (\text{V.2.6})$$

Sơ đồ măc nối tiếp phần tử lôgic thụ động với phần tử khuếch đại nhằm thực hiện uẩn hàm (hình V.2.7d) theo biểu thức lôgic

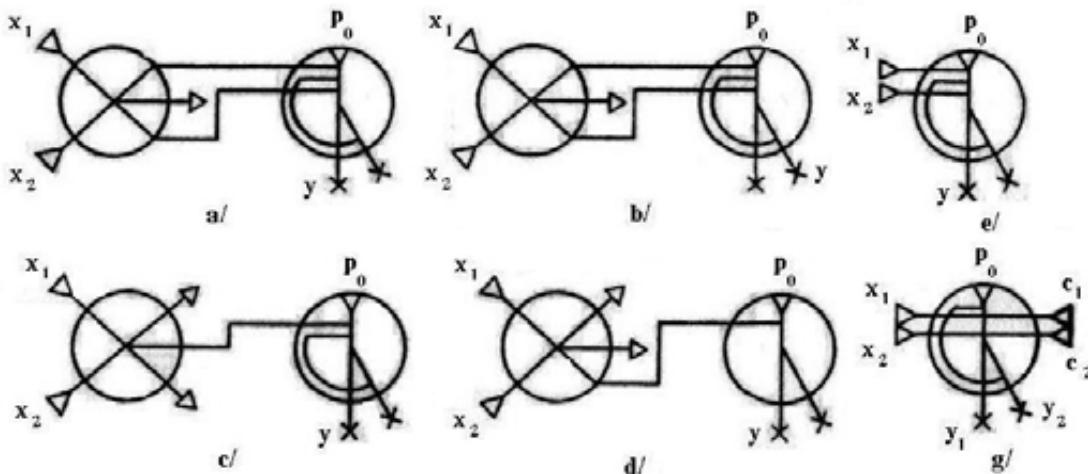
$$\overline{x_1 \bar{x}_2} = x_1 \rightarrow x_2 = y \quad (\text{V.2.7})$$

Hàm phủ định “ИЛИ” (Mũi tên Pirsa) thực hiện trên 1 phần tử theo biểu thức lôgic (hình V.2.7e)

$$\overline{x_1 + x_2} = x_1 \downarrow x_2 = y \quad (\text{V.2.8})$$

Các hàm được khảo sát ở trên đã đưa ra khả năng tổng hợp các hàm đại số logic bất kỳ phức tạp hơn. Tồn tại các phương pháp khác nhau thực hiện các hàm phức tạp từ các phần tử lôgic. Thường hay sử dụng 2 phương pháp trong đại số lôgic để tổng hợp các sơ đồ lôgic:

- Phương pháp đánh số lại các đối số.
- Phương pháp đặt hàm mới vào vị trí của đối số của hàm đã cho.



Hình V.2.7. Các thuật toán logic được thực hiện trên các phần tử phun tia.

- a. Tính đăng trị;
- b. Cộng theo 2 môđun (loại trừ “ИЛИ”);
- c. Phủ định “И” (Đường đứt Sephera);
- d. Uẩn hàm;
- e. Phủ định “ИЛИ” (Mũi tên Pirsa);
- f. Trige với các đầu vào riêng biệt.

V.2.1.2. Phương pháp tính toán các dòng phun tia va đập nhau

Tính chất của các dòng phun tia chảy ngập rói và các liên hệ động lực học chủ yếu, đặc trưng cho sự lan truyền của các dòng chảy rói và các dòng phun tia chảy rói đã được nghiên cứu khá cụ thể trong nhiều tài liệu.

Dòng phun tia chảy rói có cấu tạo gồm 2 phần (hình V.2.8a):

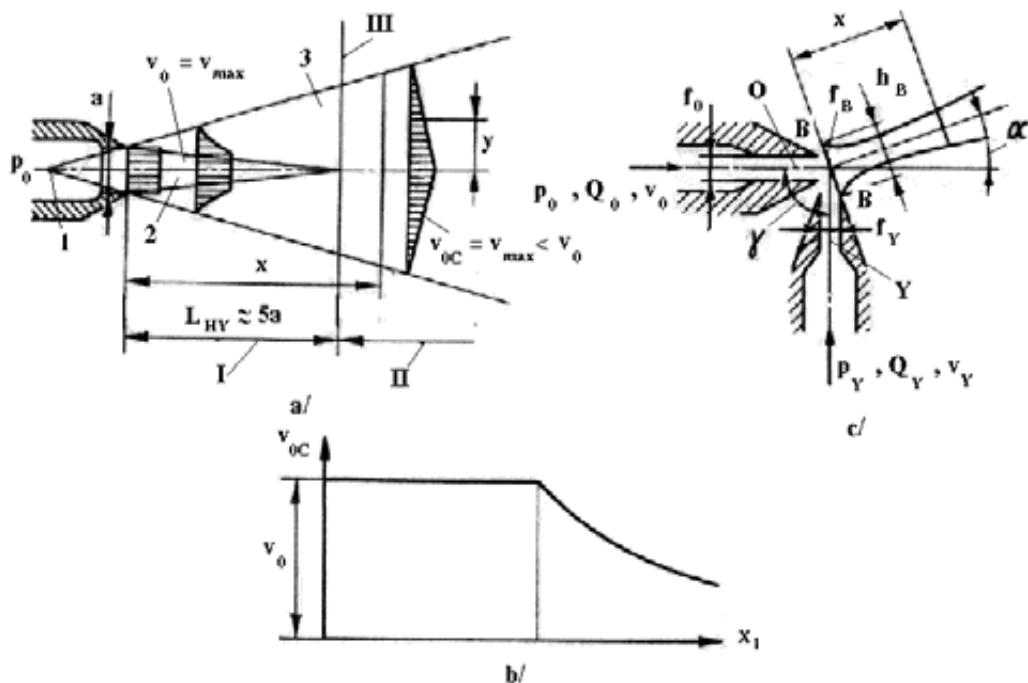
- Phần ban đầu.
- Phần chủ yếu.

Trong cấu tạo của dòng phun tia có:

- Khu vực nhân 2, tại đó vận tốc không đổi.
- Lớp biên 3, trong đó vận tốc sẽ giảm dần đến biên của dòng phun tia.

Khi có sự tương tác giữa 2 dòng phun tia, chảy ra từ kênh dẫn nguồn cấp O và kênh dẫn điều khiển Y (hình V.2.8c).

Giả thiết rằng dòng phun tia chảy ngập tự do (dòng phun tia điều khiển) có vận tốc v_Y , từ kênh dẫn Y có diện tích thiết diện ngang là f_Y , sẽ tác động lên dòng phun tia chảy ngập tự do (dòng phun tia của nguồn cấp) có vận tốc v_0 , từ kênh dẫn O có diện tích thiết diện ngang là f_0 .



Hình V.2.8. Sự tương tác giữa các dòng phun tia.

- Sơ đồ dòng phun tia.
- Biểu đồ thay đổi vận tốc dọc theo trục của dòng phun tia.
- Sơ đồ tính toán sự tương tác giữa các dòng phun tia chảy rói.

Để đơn giản khi khảo sát sẽ giả thiết góc γ tạo nên bởi hướng của các dòng phun tia chảy ra là 90° .

Giá trị áp suất, lưu lượng và vận tốc của dòng phun tia tổng hợp trong thiết diện BB được ký hiệu tương ứng là p_B, Q_B, v_B .

Có thể xây dựng các phần tử phun tia biểu thị việc xác định góc nghiêng α của dòng phun tia tổng hợp.

Khi đã biết góc nghiêng α này có thể phân bố khen dãn nhận vào vị trí xác định và sẽ xác định được giá trị áp suất, lưu lượng và vận tốc trong khen dãn nhận.

Tồn tại nhiều phương pháp tính toán sự tương tác của các dòng phun tia chảy rồi.

Một trong những phương pháp này là phương pháp dựa trên cơ sở của lý thuyết dòng chảy có thể của chất lỏng lý tưởng. Chấp nhận một số giả thiết:

- Hướng và các kích thước của dòng phun tia tổng hợp sẽ được xác định bởi sự tương tác lực của các dòng phun tia chỉ trong phạm vi được phân bố sát với các mép của khen dãn mà từ đó dòng chảy thoát ra.

Dòng phun tia tổng hợp được hình thành và lan truyền như dòng phun tia chảy rồi. Điều này cho phép coi dòng phun tia tổng hợp như dòng phun tia chảy rồi ngập đơn.

- Trong toàn bộ phạm vi có sự tương tác của các dòng phun tia thì áp suất tĩnh không thay đổi.

- Dòng không khí chuyển động được coi như có độ giảm áp rất nhỏ nên tĩnh nén được của không khí có thể bỏ qua và khối lượng riêng coi như không đổi (quá trình đẳng tích).

- Dòng chảy phẳng.

Theo giả thiết trong toàn bộ phạm vi có sự tương tác của các dòng phun tia thì áp suất tĩnh không thay đổi nên động năng trên các hình chiếu x và y được biểu thị

$$\begin{aligned} G_0 v_0 &= G_B v_B \cos\alpha, \\ G_Y v_Y &= G_B v_B \sin\alpha \end{aligned} \quad (V.2.9)$$

trong đó:

G_0, G_Y, G_B - lưu lượng khối lượng trong các khen dãn nguồn cấp, điều khiển và trong phạm vi tương tác của các dòng phun tia.

v_0, v_Y, v_B - vận tốc chuyển động dọc theo dòng chảy.

Biến đổi biểu thức (V.2.9) sẽ nhận được

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{f_Y v_Y^2}{f_0 v_0^2} = \frac{G_Y v_Y}{G_0 v_0} \quad (V.2.10)$$

Biết rằng động lượng của dòng chảy $G v = \rho f v^2$, còn bình phương của vận tốc là $v^2 \equiv p$, đặt chúng vào (V.2.10), sẽ nhận được

$$\alpha = \text{artg} \left(\frac{f_Y}{f_0} \frac{p_Y}{p_0} \right) \quad (\text{V.2.11})$$

Để xác định vận tốc (lưu lượng) của dòng tổng cộng sẽ khảo sát dòng phun tia tổng hợp như dòng phun tia chảy ngập đơn được tính từ gốc toạ độ trong mặt phẳng đi qua giao điểm các trục của kênh dẫn nguồn cấp và kênh dẫn điều khiển và tạo với trục của kênh dẫn điều khiển góc α . Dòng phun tia tổng hợp chảy ra khỏi các kênh dẫn có diện tích thiết diện f_B và vận tốc v_B .

Để xây dựng các phần tử logic phun tia cần phải biết sự phân bố vận tốc của dòng chảy và áp suất dư toàn bộ. Các đại lượng này đặc trưng cho dòng phun tia tổng hợp trong phạm vi phần chủ yếu của dòng phun tia tổng hợp, được phân bố bên ngoài khu vực tương tác của các dòng phun tia. Trong dòng phun tia chảy rời đơn thì phần của yếu được bắt đầu khi $x/h_B \approx 5$ (h_B là độ rộng của kênh dẫn).

Việc tìm giá trị vận tốc v_B trong mặt phẳng BB, là mặt cắt quy ước của vòi phun đối với dòng phun tia tổng hợp có diện tích f_B . Để tính vận tốc v_B , sẽ thiết lập 2 phương trình:

- Phương trình động lượng của chuyển động đối với 2 dòng phun tia tương tác với nhau (V.2.9).

Từ phương trình động lượng (V.2.9) có thể nhận được

$$\begin{aligned} (G_B v_B)^2 &= (G_0 v_0)^2 + (G_Y v_Y)^2, \\ (f_B v_B^2) &= (f_0 v_0^2)^2 + (f_Y v_Y^2)^2 \end{aligned} \quad (\text{V.2.12})$$

- Phương trình liên tục của dòng chảy tại khu vực bắt đầu sự tương tác của các dòng phun tia

$$f_B v_B = f_0 v_0 + f_Y v_Y \quad (\text{V.2.13})$$

Kết hợp các biểu thức (V.2.12) và (V.2.13), sẽ nhận được

$$\begin{aligned} v_B &= \sqrt{\frac{(f_0 v_0^2)^2 + (f_Y v_Y^2)^2}{f_0 v_0 + f_Y v_Y}}, \\ v_B &= \sqrt{\frac{(f_0 v_0 + f_Y v_Y)^2}{(f_0 v_0^2)^2 + (f_Y v_Y^2)^2}} \end{aligned} \quad (\text{V.2.14})$$

V.2.1.3. Tính gần đúng góc lệch lớn nhất của dòng phun tia trong phần tử bộ nhớ với mạch phản hồi dương

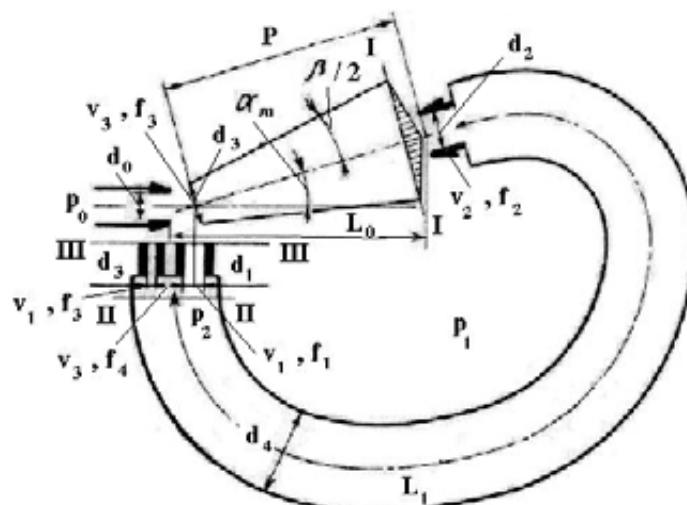
Trong khi thiết kế các phần tử bộ nhớ của dòng phun tia với mạch phản hồi dương thì cần phải biết góc nghiêng của dòng phun tia nguồn cấp, được tạo nên khi có tác dụng của dòng phun tia, chảy ra từ kênh dẫn của mạch phản hồi

Việc tính toán chính xác dòng chảy trong phần tử phun tia là điều rất khó khăn. Nhằm đơn giản hóa việc tính toán đã chấp nhận sơ đồ rút gọn của dòng chảy (hình V.2.9) và một số giả thiết:

- Chất khí không nén được.
- Dòng chảy dừng.
- Biên dạng vận tốc của dòng phun tia bị lệch sẽ không bị biến dạng phía trước kênh dẫn nhận.
- Vòi phun nhận được đặt ở phần chủ yếu của dòng phun tia chảy rồi ngập tự do.
- Độ cong đối với kênh dẫn của mạch phản hồi và tổn thất liên quan đến nó rất nhỏ, có thể bỏ qua.
- Đường kính d_1 của vòi phun điều khiển và đường kính d_3 của giclo tải có cùng hệ số tổn thất thuỷ lực ξ .

Do đó vận tốc dòng chảy qua các thiết diện này là như nhau.

- Dòng phun tia điều khiển khi có sự tương tác trong mức độ tương đối sẽ phủ chùm dòng phun tia nguồn cấp.



Hình V.2.9. Sơ đồ tính toán độ lệch của các dòng phun tia trong phần tử bộ nhớ với mạch phản hồi dương.

Điều này đưa đến có thể quy ước đường kính của vòi phun điều khiển d_1 và đường kính của vòi phun nguồn cấp d_0 .

Góc lệch lớn nhất α_{\max} giữa các trục của kênh dẫn nguồn cấp và kênh dẫn nhận tương ứng với việc làm trùng trục của dòng phun tia bị lệch với trục của kênh dẫn nhận.

Giả thiết rằng dòng phun tia nguồn cấp được hướng đến đến kênh dẫn nhận của mạch phản hồi dương, sẽ được tạo nên do sự dịch chuyển tương đối của 2 dòng phun tia, trong đó dòng phun tia tổng hợp chảy ra lỗ có đường kính quy ước là d_* .

Tâm của thiết diện thông dòng f_* tương ứng với đường kính này được phân bố tại khoảng cách $d_1/2$ tính từ đầu mút của vòi phun nguồn cấp ($l_0 = d_1/2 + h \cos \alpha_{\max}$).

Có thể coi rằng trước khi có sự dịch chuyển của các dòng phun tia nguồn cấp và dòng phun tia điều khiển thì sẽ không xảy ra sự tăng lưu lượng do có sự pha thêm không khí từ môi trường xung quanh tại khoảng cách $d_1/2$ tính từ vòi phun nguồn cấp.

Phương trình đổi với đường kính d_* và vận tốc tương đương v_* sẽ nhận được tương ứng từ phương trình liên tục đổi với thiết diện f_* và các thiết diện f_1, f_0 và phương trình bảo toàn động lượng đổi với thiết diện f_* .

Giả thiết rằng biên dạng của các vận tốc tại thiết diện f_* là tịnh tiến

$$\begin{aligned} G_* v_* &= f_0 v_0 + f_1 v_1, \\ (G_* v_*)^2 &= (G_0 v_0)^2 + (G_1 v_1)^2 \end{aligned} \quad (\text{V.2.15})$$

Suy ra

$$\begin{aligned} d_* &= \left(d_1^2 v_1 + d_0^2 v_0 \right) \sqrt[4]{\left(d_1^4 v_1^4 + d_0^4 v_0^4 \right)^{-1}}, \\ v_* &= \sqrt{d_1^4 v_1^4 + d_0^4 v_0^4} \sqrt[4]{\left(d_1^2 v_1 + d_0^2 v_0 \right)^{-1}} \end{aligned} \quad (\text{V.2.16})$$

trong đó:

G_0, G_1, G_* - lưu lượng khói lượng qua các vòi phun nguồn cấp, vòi phun điều khiển và thiết diện tương đương.

Vận tốc dòng chảy từ vòi phun nguồn cấp được xác định

$$v_0 = \varphi_1 \sqrt{\frac{2(p_0 - p_1)}{\rho}} \quad (\text{V.2.17})$$

Khảo sát 3 thiết diện trên hình V.2.9:

- Thiết diện I - I được chọn lân cận với đầu mút của vòi phun nhận đổi với mạch phản hồi dương.
- Thiết diện II - II đi qua mặt cắt của vòi phun điều khiển với đường kính d_1 .
- Thiết diện III - III đi qua mặt cắt của tiết lưu tải trọng với đường kính d_3 .

Thiết lập phương trình Bernoulli đối với 3 thiết diện đó:

$$\begin{aligned} p_1 + \frac{\alpha_1 \rho v_2^2}{2} &= p_2 + \frac{\alpha_2 \rho v_3^2}{2} + \lambda \frac{l_1 \rho v_3^2}{2d_4}, \\ p_2 + \frac{\alpha_2 \rho v_3^2}{2} &= p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \xi \frac{\rho v_1^2}{2} \end{aligned} \quad (V.2.18)$$

trong đó:

α_1, α_2 - hệ số động năng của dòng khí qua các thiết diện I - I (đối với $r = d_2/2$), II - II ($\alpha_2 \approx 1,1$).

v_2 - vận tốc trung bình của dòng khí qua thiết diện I - I (đối với $r = d_2/2$).

v_3 - vận tốc trung bình của dòng khí qua thiết diện II - II.

v_1 - vận tốc trung bình của dòng khí qua thiết diện III - III.

λ - hệ số ma sát của kênh dẫn của mạch phản hồi dương có độ dài l_1 .

ξ - hệ số tổn thất cục bộ của hệ thống bao gồm: voi phun điều khiển với đường kính d_1 và tiết lưu tải trọng với đường kính d_3 .

Giá trị tính toán của áp suất trong kênh dẫn của mạch phản hồi dương có sai khác so với giá trị thực tế vì không tính hết được các tổn thất thuỷ lực và một số yếu tố khác.

Thiết lập phương trình liên tục

$$v_3 f_4 = v_1 (f_1 + f_3) \quad (V.2.19)$$

Kết hợp các biểu thức (V.2.18) và (V.2.19), sẽ nhận được vận tốc v_1

$$v_1 = \varphi v_2 \quad (V.2.20)$$

trong đó:

$$\varphi = \sqrt{\frac{\alpha_1}{1 + \xi + \lambda \frac{l_1}{d_4} \frac{(d_1^2 + d_3^2)^2}{d_4^4}}} \quad (V.2.21)$$

Vận tốc v_2 có thể được xác định

$$v_2 = \frac{\int v df}{f_2} = \frac{2 \int_0^r v y dy}{r^2} \quad (V.2.22)$$

Phương trình xác định vận tốc tại thiết diện I - I có dạng

$$v = \frac{v_*}{0,3 + 0,14 \frac{h}{d_*}} \left[1 - \sqrt{\frac{y^3}{\left(h \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \frac{d_*}{2} \right)^3}} \right]^2 \quad (V.2.23)$$

Kết hợp các biểu thức (V.2.16), (V.2.20), (V.2.22) và (V.2.23) sẽ nhận được phương trình vi phân rất phức tạp phụ thuộc vào vận tốc v_2 . Để xác định các vận tốc v_1, v_2 , sẽ sử dụng phương pháp gần đúng liên tiếp.

Giá trị các vận tốc gần đúng thứ nhất được xác định với giả thiết $d_* = d_0, v_* = v_0$

$$\begin{aligned} v' &= D'v_0 \left(1 - B' \sqrt{y^3}\right)^2, \\ \dot{v}_2' &= D'v_0 C', \\ \dot{v}_1' &= D'\varphi v_0 C' \end{aligned} \quad (V.2.24)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} D' &= \frac{1}{0,3 + 0,14 \frac{h}{d_0}}, \quad B' = \frac{1}{h \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \frac{d_0}{2}}, \\ C' &= 1 - \frac{8B' \sqrt{r^3}}{7} + \frac{2B'^2 r^3}{5} \end{aligned} \quad (V.2.25)$$

Giá trị các vận tốc gần đúng thứ hai được xác định với giả thiết vận tốc của dòng không khí từ vòi phun điều khiển có tính đến sự trộn lẫn của dòng phun tia điều khiển đến dòng phun tia nguồn cấp

$$\begin{aligned} v'' &= D''v_0 \left(1 - B'' \sqrt{y^3}\right)^2, \\ v_2'' &= D''v_0 C'' \frac{\sqrt{d_*^4 + d_1^4 D'^4 \varphi^4 C'^4}}{d_*^2 + d_1^2 D'\varphi C'}, \\ v_1'' &= D''\varphi v_0 C'' \frac{\sqrt{d_*^4 + d_1^4 D'^4 \varphi^4 C'^4}}{d_*^2 + d_1^2 D'\varphi C'} \end{aligned} \quad (V.2.26)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} D'' &= \frac{1}{0,3 + 0,14 \frac{h}{d_*}}, \quad B'' = \frac{1}{h \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \frac{d_*}{2}}, \\ C'' &= 1 - \frac{8B'' \sqrt{r^3}}{7} + \frac{2B''^2 r^3}{5} \end{aligned} \quad (V.2.27)$$

Dùng lại ở giá trị gần đúng thứ hai và cho rằng $v_1 \approx v_1''$.

Góc nghiêng lớn nhất của dòng phun tia dưới tác dụng của dòng phun tia điều khiển được xác định

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{G_1 v_1}{G_0 v_0} = \frac{d_1^2 v_1^2}{d_0^2 v_0^2} \quad (V.2.28)$$

CHƯƠNG V
KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC
CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG KHÍ NÉN

(Tiếp theo)

BÀI 14

CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC

(Tiếp theo)

V.2.2. Các phần tử phun tia tác dụng không liên tục, hoạt động
trên cơ sở tương tác của dòng chảy với thành.

V.2.2.1. Các phần tử phun tia thực hiện thuật toán lôgic và
thuật toán ghi nhớ các tín hiệu.

V.2.2.1.1. Hiện tượng bám vào thành của dòng phun tia. 228

V.2.2.1.2. Các phần tử sử dụng hiệu ứng của hiện tượng bám
vào thành của dòng phun tia để thực hiện các chức năng. 231

V.2.2.2. Trigge dòng phun tia với đầu vào đếm được. 236

V.2.2.3. Chọn tham số hình học của phần tử công tác theo
nguyên lý tách lớp biên.

V.2.2.3.1. Sự ảnh hưởng độ cong của thành đến đặc tính công tác
của phần tử dòng phun tia. 238

V.2.2.3.2. Sự ảnh hưởng hình dáng của bộ ngắt đến
đặc tính của phần tử dòng phun tia. 240

BÀI 14. CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC (Tiếp theo)

V.2.2. Các phần tử phun tia tác dụng không liên tục, hoạt động trên cơ sở tương tác của dòng chảy với thành

Hiện nay trên thế giới đã áp dụng nhiều phần tử phun tia mà hoạt động của chúng dựa trên hiệu ứng của sự tương tác giữa dòng chảy với thành.

V.2.2.1. Các phần tử phun tia thực hiện thuật toán lôgic và thuật toán ghi nhớ các tín hiệu

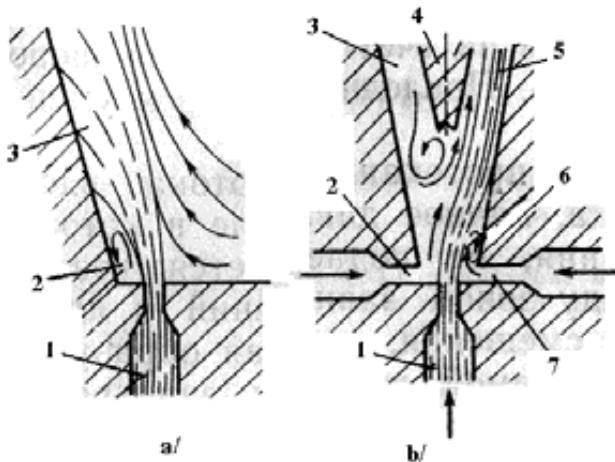
Công trình khảo sát của nhà bác học người Rumani Genri Coanda (năm 1932) đã phát hiện rằng: dòng phun tia thoát ra từ vòi phun sẽ tiệm cận đến việc nghiêng theo hướng đến thành và trong các điều kiện xác định sẽ bám vào thành.

V.2.2.1.1. Hiệu tượng bám vào thành của dòng phun tia

Điều này được giải thích như sau: thành bên 3 (hình V.2.10a) sẽ gây cản trở việc cấp khí tự do từ 1 phía của dòng phun tia 1, sẽ tạo nên xoáy trong khu vực có áp suất thấp 2.

Bổ xung thêm sơ đồ trên hình V.2.10b có thể nhận được phần tử phun tia đơn giản nhất.

Trên sơ đồ của hình V.2.10b có thành thứ hai 5, các khe dẫn điều khiển 2, 7 và bộ ngắt 4, làm nhiệm vụ ngắt 2 khe dẫn đầu ra. Khi thoát ra từ khe dẫn 1K, dòng phun tia sẽ bám vào 1 trong các thành (thành 5) và sẽ được hướng đến 1 trong các khe dẫn đầu ra.



Hình V.2.10. Hiệu ứng bám vào thành của dòng phun tia.

- Sơ đồ sự bám vào thành bên của dòng phun tia chảy rời;
- Sơ đồ phần tử phun tia đơn giản nhất, mà hoạt động của nó dựa trên cơ sở hiệu ứng Coanda.

Nếu cấp tín hiệu điều khiển đến 1 trong các kênh dẫn điều khiển (kênh 7), thì áp suất trong khu vực tạo xoáy 6 sẽ tăng lên, dòng phun tia nguồn cấp sẽ di chuyển và bám vào thành đối diện (thành 3).

Sử dụng sự tương tác của dòng khí với biên dạng đường cong có thể thực hiện các thuật toán role và thuật toán logic, cũng như việc ghi nhớ và sinh ra các dao động.

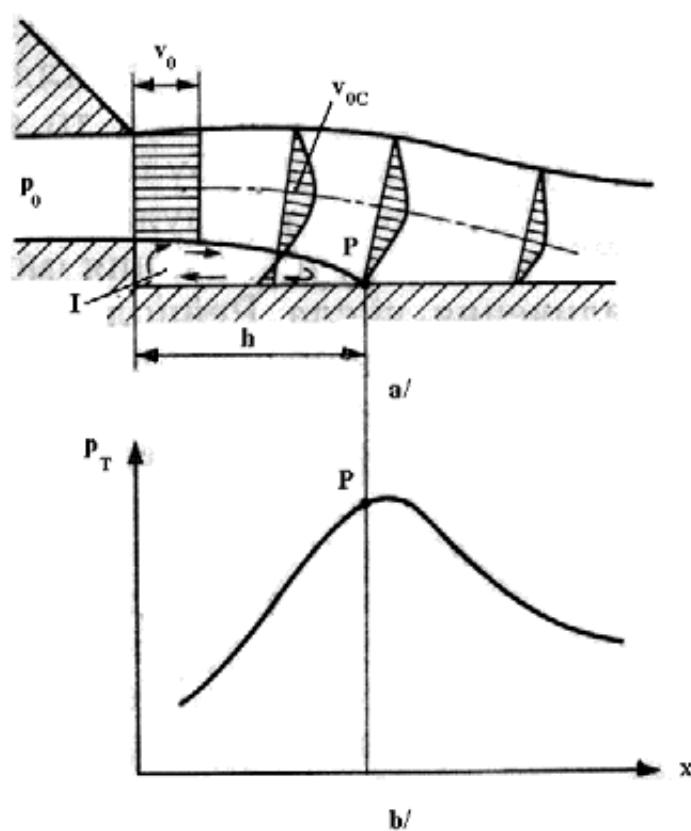
Khi dòng khí chảy bao thành cứng thì dòng khí có thể sẽ bám vào thành.

Dòng khí bám vào thành dưới tác dụng của dòng điều khiển khác sẽ có thể bị tách khỏi thành.

Quá trình khí động lực học đặc trưng cho hiệu ứng này rất phức tạp và diễn giả toán học chính xác các quá trình này vẫn chưa nhận được.

Do đó chỉ khảo sát bản chất vật lý của quá trình.

Giả thiết dòng phun tia chảy ra từ kênh dẫn sát thành (hình V.2.11).



Hình V.2.11. Sự lan truyền của dòng phun tia chảy rồi sát thành cứng.

- Sơ đồ của sự lan truyền.
- Đồ thị sự thay đổi áp suất tĩnh.

Dòng chảy từ vòi phun sẽ bám vào thành do sự tạo nên thành khu vực có áp suất bị giảm - khu vực tạo xoáy 1.

Được lan truyền đến điểm bám P (hình V.2.11), dòng khí sẽ kéo theo môi trường từ biên của khu vực có áp suất bị giảm chuyển động cùng với nó, sẽ tạo nên sự dịch chuyển chảy rói của chúng.

Một phần dòng chảy khi đó sẽ được quay theo hướng ngược lại đến khu vực tạo xoáy 1.

Trong khu vực tạo xoáy, do có chuyển động xoáy nên áp suất sẽ bị giảm xuống.

Trong chế độ dừng thì lưu lượng được kéo theo từ khu vực xoáy phải bằng lưu lượng được quay về khu vực xoáy và xảy ra ngay sát điểm bám.

Như vậy ở bên trong khu vực xoáy sẽ liên tục luân chuyển một phần của dòng khí mà áp suất tĩnh trong đó thấp hơn áp suất của môi trường xung quanh.

Đường phân cách sẽ chia dòng khí này khỏi dòng khí chính, bám vào thành và được lan truyền dọc theo thành.

Theo hướng chuyển động thì toàn bộ dòng khí sẽ được mở rộng ra và bùn chất vật lý của hiện tượng là: môi trường xung quanh tiếp xúc với dòng khí cũng sẽ tham gia vào chuyển động.

Khi dòng khí được phân bố sát thành, sẽ xảy ra sự cuốn theo của môi trường xung quanh trên các biên của dòng khí chỉ từ 1 phía, đối diện với thành.

Việc cuốn theo của môi trường từ 1 phía của dòng khí được giới hạn bởi thành và do đó sẽ tạo nên khu vực tạo xoáy, áp suất trong khu vực này sẽ bị giảm.

Tại phía đối diện của dòng khí sẽ có áp suất cao hơn, sự cuốn theo của môi trường xung quanh sẽ không bị hạn chế và sẽ đẩy dòng khí chủ yếu vào thành.

Nếu cấp dòng khí điều khiển đến khu vực tạo xoáy với lưu lượng đủ để làm bằng mức áp suất cả 2 phía của dòng khí chủ yếu thì dòng khí chủ yếu sẽ được tách khỏi thành.

Nếu mức độ chảy rói của dòng khí chủ yếu càng lớn thì càng cuốn theo mạnh các phần tử của môi trường xung quanh và sự bám càng mạnh.

Trên hình V.2.11 biểu diễn biên dạng chuyển động của dòng khí dọc theo thành, phần trung tâm của dòng khí không chịu tác động của môi trường xung quanh và áp suất toàn phần trong phần này bằng áp suất của nguồn cấp.

Giữa khu vực tạo xoáy và nhân của dòng khí có khu vực bên trong của sự dịch chuyển, khu vực này được tạo nên từ dòng nguồn cấp và môi trường, được cuốn theo từ

khu vực tạo xoáy.

Tại bên trong nhân của dòng khí thì vận tốc không đổi.

Giá trị của các vận tốc trong dòng chuyển động dừng sẽ tuân theo quy luật phân bố vận tốc, mà quy luật này sẽ ngừng tác dụng sau khi có sự bám vào thành do ảnh hưởng của lực ma sát nhót tác dụng lên lớp biên, cũng như lực cuốn theo môi trường.

Biểu đồ phân bố áp suất tĩnh p_T dọc theo thành được biểu diễn trên hình V.2.11b.

Nếu xuất hiện sự giảm áp suất theo hướng của dòng khí thì sẽ gây nên dòng ngược chiều đi qua lớp biên vào khu vực có áp suất thấp, do đó dòng khí sẽ bị tách khỏi thành và sẽ lại quay trở về tương tự như khi xảy ra hiện tượng chảy bao quanh cánh của máy bay.

Sẽ tiến hành khảo sát một số các phần tử có biên dạng thẳng hoặc thành phẳng.

V.2.2.1.2. Các phần tử sử dụng hiệu ứng của hiện tượng bám vào thành của dòng phun tia để thực hiện các chức năng

Sơ đồ của phần tử dòng phun tia role điều chỉnh môô được biểu diễn trên hình V.2.12.

Phần tử dòng phun tia chuẩn có cấu tạo gồm:

- Vòi phun nguồn cấp được cấp không khí có áp suất p_0 .
- Kênh dẫn điều khiển Y_1 .
- Các thành C_1 và C_2 .
- Các kênh dẫn đầu ra B_1 và B_2 .
- Các khoang O_1 và O_2 được nối với môi trường xung quanh (khí quyển).

Thuật toán chức năng được thực hiện bởi phần tử này được xác định bởi hình dáng hình học của phần tử.

Vị trí ban đầu của dòng phun tia nguồn cấp cũng sẽ phụ thuộc vào các tham số hình học của phần tử.

Tại vị trí trung gian trên khoảng cách bằng nhau giữa các thành thì dòng phun tia không ổn định tĩnh học.

Cấu trúc của phần tử sẽ được tính toán để sao cho dòng phun tia nguồn cấp tại vị trí ban đầu đã bám vào một trong các thành (thành C_2).

Điều này sẽ được đảm bảo bằng sự không đổi xứng không lớn trong sự phân bố các kênh dẫn đầu ra và của chêm ngắt đối với kênh nguồn cấp.

Việc chuyển mạch của dòng phun tia từ 1 thành đến thành khác sẽ xảy ra khi cấp

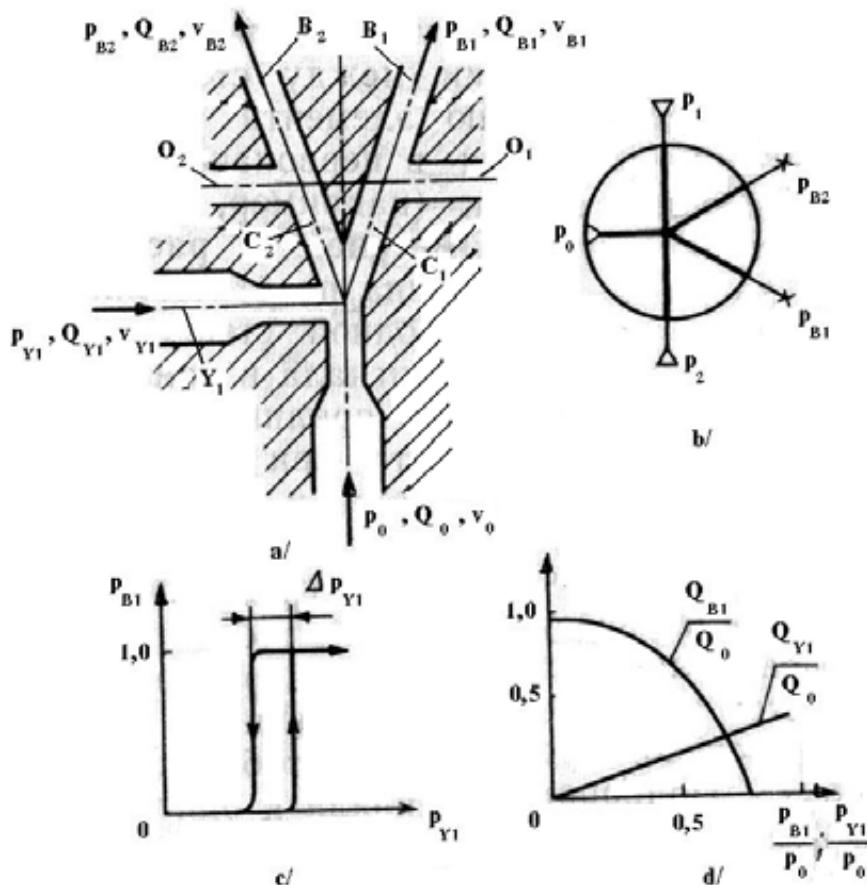
tín hiệu điều khiển vào kênh dẫn Y_1 .

Nếu tại vị trí ban đầu dòng phun tia bám vào thành C_2 và hướng đến kênh dẫn đầu ra B_2 thì khi cấp tín hiệu vào kênh dẫn Y_1 sẽ xảy ra sự tách của dòng phun tia khỏi thành C_2 và sự bám của dòng phun tia vào thành C_1 .

Bằng việc chọn các chêm ngắt của các thành C_1 và C_2 và việc chọn các góc nghiêng của thành có thể nhận được các chế độ hoạt động khác nhau của phần tử phun tia.

Khi độ dài của thành nhỏ và góc nghiêng của thành lớn thì phần tử sẽ hoạt động ở chế độ của role khuếch đại.

Đặc tính chức năng của phần tử này được biểu thị trên hình V.2.12c.



**Hình V.2.12. Phần tử dòng phun tia role mà hoạt động của nó
dựa trên cơ sở hiệu ứng Coanda.**

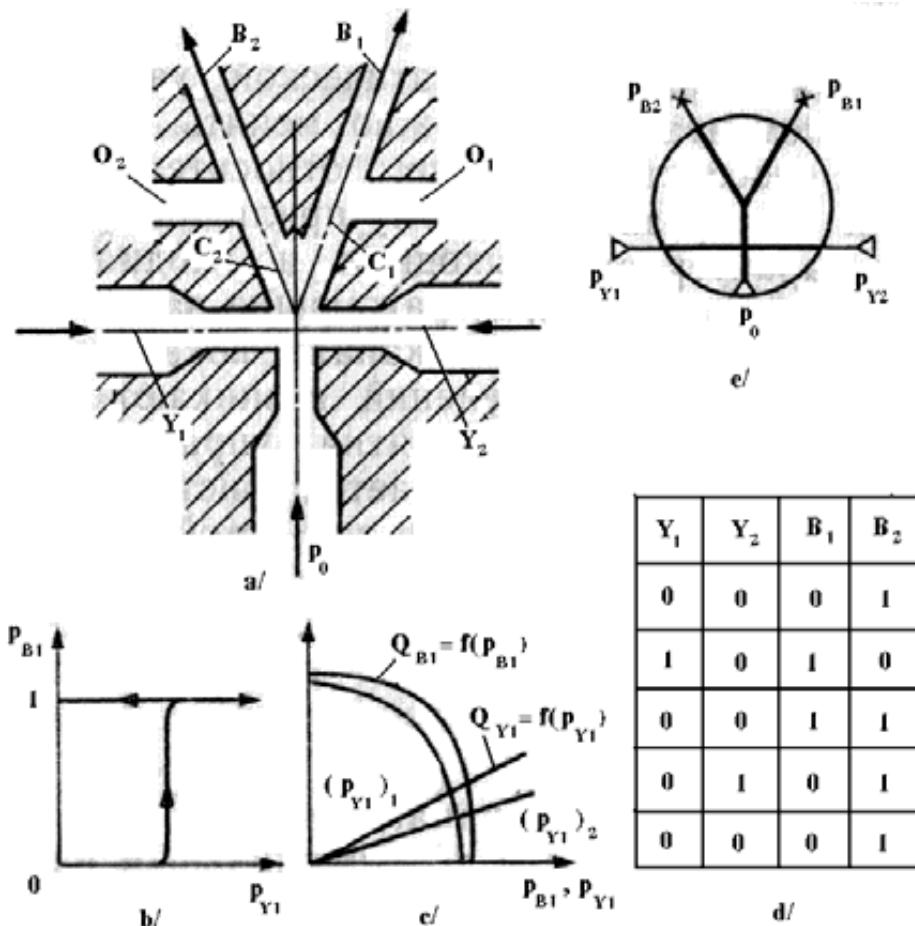
- Sơ đồ của phần tử;
- Ký hiệu quy ước.
- Đặc tính chức năng của phần tử.
- Các đặc tính đầu vào và đầu ra trong hệ toạ độ tương đối.

Nhờ có phần tử này có thể thực hiện được các thuật toán lôgic phủ định ($B_2 = \overline{Y_1}$) và thuật toán lôgic lặp lại tín hiệu đầu vào ($B_1 = Y_1$).

Vòng trẽ của đặc tính tĩnh đối với phần tử dòng phun tia role có thể thay đổi bằng cách làm thay đổi kích thước hình học của phần tử: Làm tăng độ dài của thành sẽ làm cho khả năng bám của dòng phun tia tốt hơn và làm tăng vòng trẽ.

Các đặc tính tĩnh học tải trọng đầu vào và đầu ra biểu thị mối liên hệ của lưu lượng phụ thuộc vào áp suất trong kênh dẫn tương ứng biểu thị trên hình V.2.12d.

Do có sự giảm áp suất sẽ xuất hiện lực duy trì dòng phun tia cạnh thành sau khi ngắt tín hiệu điều khiển (hình V.2.13).



Hình V.2.13. Phần tử bộ nhớ (Trigge với các lối vào riêng biệt).

- Sơ đồ của phần tử;
- Đặc tính chức năng.
- Các đặc tính tải trọng đầu vào và đầu ra;
- Ký hiệu quy ước;
- Bảng đầu nối vào.

Như vậy sẽ nhận được phần tử điều chỉnh kép.

Dòng phun tia trong phần tử này sẽ chiếm 2 trạng thái ổn định, còn phần tử sẽ mang tên gọi là phần tử bộ nhớ hoặc trigger với các đầu vào riêng biệt.

Trình tự hoạt động của phần tử dòng phun tia trong chế độ đã nêu được biểu thị trên hình V.2.13e.

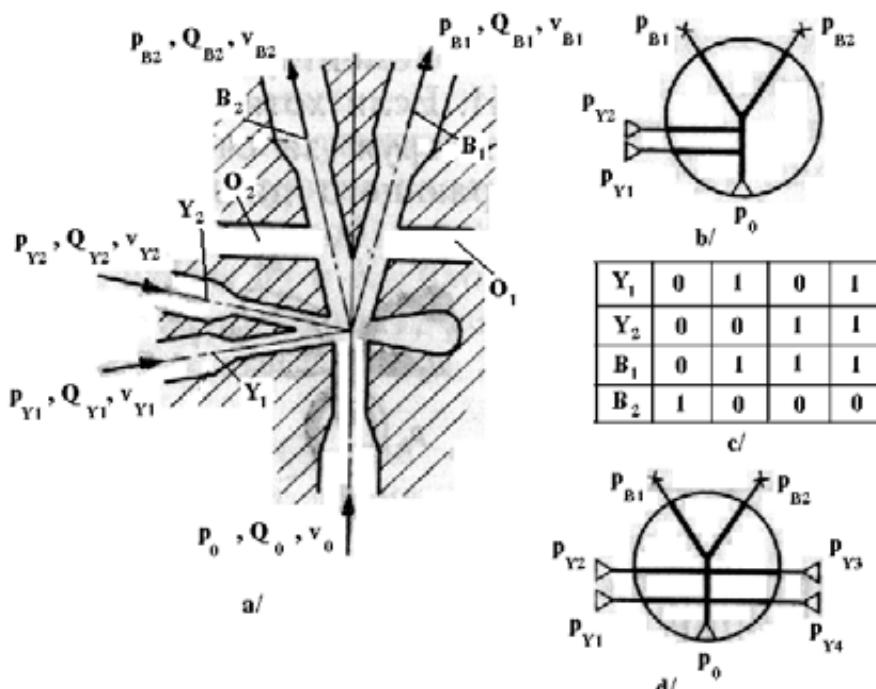
Các đặc tính tĩnh và đặc tính tải trọng của phần tử bộ nhớ được biểu thị trên hình V.2.13c, d.

Làm biến đổi các kích thước hình học, có thể nhận được các phần tử dòng phun tia với các chức năng khác nhau, đặc tính của các chức năng này sẽ được thay đổi trong phạm vi tương đối rộng.

Trong các trường hợp riêng độ trễ của đặc tính có thể được thay đổi từ giá trị đảm bảo sự xuất hiện của hiệu ứng ghi nhớ đến giá trị không thực tế.

Hệ số khuếch đại được bảo toàn tương đối lớn.

Khảo sát một số các dạng của phần tử dòng phun tia đã khảo sát. Các phần tử này sẽ đảm bảo thực hiện các thuật toán logic khác. Trên hình V.2.14 là sơ đồ của phần tử thực hiện các thuật toán logic ИЛИ, НЕ - ИЛИ.



Hình V.2.14. Phần tử logic (ИЛИ, НЕ - ИЛИ).

- Sơ đồ của phần tử;
- Ký hiệu quy ước;
- Bảng đầu nối vào;
- Sơ đồ quy ước biến thể của phần tử.

Nếu tham chí 1 trong các tín hiệu điều khiển không có, thì dòng phun tia nhờ có sự không đối xứng (hoặc do việc cấp của áp suất chống đỡ vào kênh dẫn, được phân bố đối diện các kênh dẫn điều khiển không được biểu thị trên hình V.2.14) tại trạng thái ban đầu sẽ luôn được hướng đến kênh dẫn đầu ra B_2 .

Khi cấp tín hiệu điều khiển vào kênh dẫn Y_1 hoặc Y_2 hoặc cả 2 kênh dẫn đồng thời thì dòng phun tia nguồn cấp sẽ bị nghiêng, sẽ bám vào thành bên phải và hướng đến kênh dẫn đầu ra B_1 .

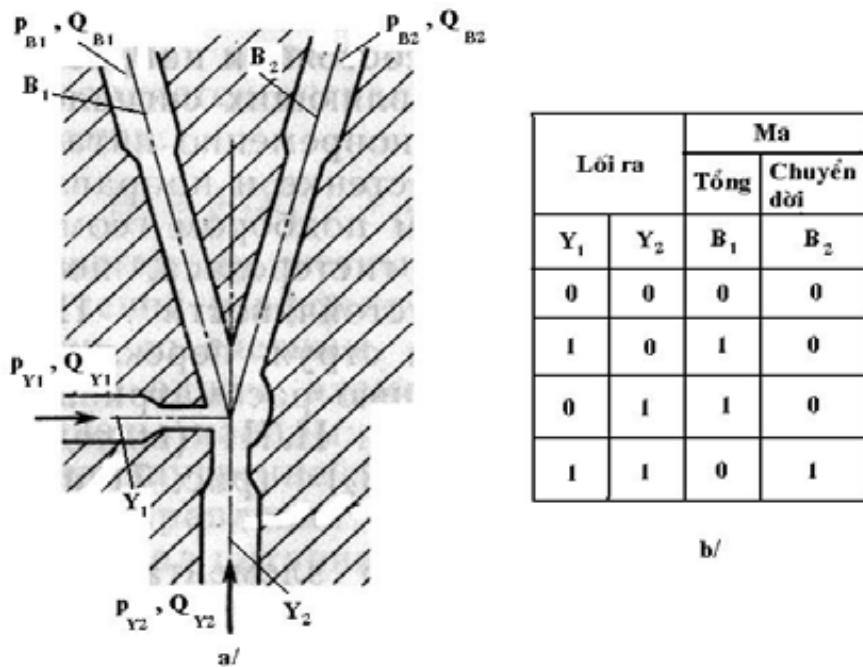
Bằng việc chọn tương ứng hình học của phần tử có thể thiết lập giá trị cần thiết của độ trễ để đảm bảo tính chống nhiễu được yêu cầu.

Khi ngắt tín hiệu điều khiển thì dòng phun tia nguồn cấp sẽ được chuyển mạch đến thành bên trái.

Như vậy nhờ phần tử đã được khảo sát sẽ thực hiện được các thuật toán lôgic ИЛИ (kênh dẫn đầu ra B_1) và thuật toán lôgic HE - ИЛИ (kênh dẫn đầu ra B_2) theo hình V.2.14c.

Khi đó sẽ có các đẳng thức

$$B_1 = Y_1 + Y_2; \quad B_2 = \overline{Y_1 + Y_2} \quad (\text{V.2.29})$$



Hình V.2.15. Bộ cộng nửa dòng phun tia nhị phân.

- a. Sơ đồ của bộ cộng nửa nhị phân trên 1 phần tử dòng phun tia;
- b. Bảng đầu nối vào.

Một trong các phương án của phần tử dòng phun tia của kiểu đã khảo sát sẽ có thể thay đổi chế độ làm việc và phụ thuộc vào phương pháp nối mạch sẽ thực hiện hoặc các thuật toán logic HE - ИЛИ (hình V.2.14a, b, c) hoặc thuật toán ghi nhớ tín hiệu (hình V.2.13).

Phần tử có một số các chế độ làm việc thông thường có 2 cặp các tín hiệu điều khiển, được phân bố đối xứng so với kênh dẫn nguồn cấp (hình V.2.14d).

Khi cộng các số được cho trước trong mã nhị phân, sẽ sử dụng bộ cộng nhị phân trên số lượng xác định n dây, bao gồm $n - 1$ các bộ cộng 1 dây.

Sơ đồ của bộ cộng 1 dây có thể được tạo nên từ 5 phần tử tiêu chuẩn ИЛИ - HE - ИЛИ.

Sơ đồ bộ cộng nửa nhị phân trên 1 phần tử có 2 đầu vào Y_1 và Y_2 và 2 đầu ra B_1 và B_2 (hình V.2.15).

Trên 2 đầu vào Y_1 và Y_2 sẽ được cấp mã của các chữ số được cộng, thì trên đầu ra B_1 sẽ nhận được mã tổng và trên đầu ra B_2 sẽ nhận được mã chuyển vị.

Sự nối tiếp của các thuật toán được biểu thị trên hình V.2.15b. Thực tế dòng phun tia được cấp chỉ đến đầu vào Y_2 sẽ được hướng đến đầu xả B_1 .

Cũng xảy ra như vậy khi cấp tín hiệu đến đầu vào Y_1 khi dòng phun tia chảy bao thành cong lõm sẽ được hướng đến kênh dẫn đầu ra B_1 .

Chỉ khi tồn tại cả 2 tín hiệu đầu vào p_{Y_1} và p_{Y_2} thì dòng phun tia tổng cộng sẽ được hướng đến kênh dẫn B_2 , nơi sẽ xuất hiện tín hiệu p_{B_2} .

Khi đó các thuật toán được thực hiện sẽ là

$$B_1 = Y_2 \bar{Y}_1 + Y_1 \bar{Y}_2; B_2 = Y_1 Y_2 \quad (\text{V.2.30})$$

V.2.2.2. Trigge dòng phun tia với đầu vào đếm được

Sử dụng các tính chất của dòng chảy sát thành và hiệu ứng Coanda, sẽ tạo nên được trigge dòng phun tia với đầu vào đếm được.

Sơ đồ nguyên gốc của trigge này trên 1 phần tử được biểu thị trên hình V.2.16.

Dòng phun tia nguồn cấp sẽ có thể ở 2 trạng thái ổn định (hình V.2.16a, b).

Trong trạng thái ổn định thứ nhất (hình V.2.16a) thì dòng phun tia nguồn cấp thoát ra khỏi kênh nguồn cấp 5 dưới áp suất p_0 , được hướng đến kênh dẫn lối ra 1 có áp suất p_{B_1} .

Khi đó dòng phun tia nguồn cấp đang bám vào thành bên trái sẽ làm đóng vòi phun bên trái của kênh dẫn vòng tròn 3.

Điều này xảy ra do sự cuộn theo của không khí qua vòi phun bên trái từ kênh

dẫn 3, cũng như sự cuộn theo từ môi trường xung quanh qua các lỗ khí quyển và khi cấp không khí qua vòi phun bên phải đến kênh dẫn 3, trong kênh dẫn này sẽ xuất hiện sự tạo xoáy của dòng khí có hướng theo chiều quay của kim đồng hồ.

Trong trạng thái ổn định thứ hai (hình V.2.16b) thì dòng phun tia nguồn cấp đang bám vào thành bên phải sẽ được hướng đến kênh dẫn lối ra 2 có áp suất p_{B2} .

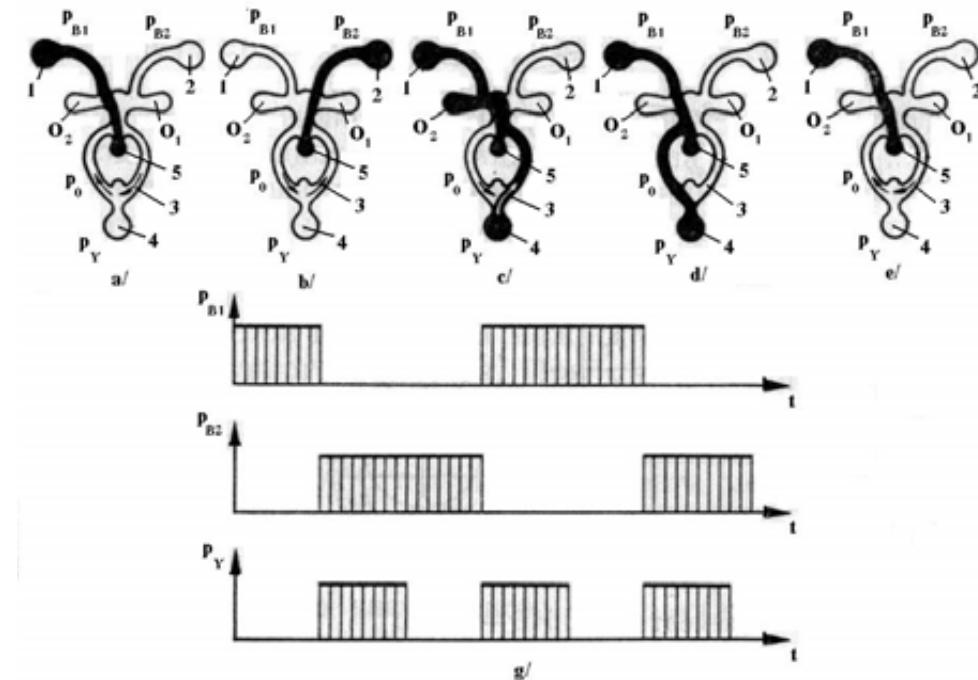
Khi đó vòi phun bên phải của kênh dẫn 3 bị đóng, khu vực lân cận vòi phun sẽ được tạo nên sự tụt áp và sự tạo xoáy của dòng khí trong kênh dẫn 3 sẽ thay đổi hướng của mình.

Hoạt động của trigger dòng phun tia với đầu vào đếm được như sau:

Giả thiết vị trí ban đầu của dòng phun tia sẽ sao cho dòng khí nguồn cấp sẽ được hướng đến kênh dẫn 2 (hình V.2.16b).

Dòng khí điều khiển với áp suất p_Y được cấp đến kênh dẫn 4 sẽ cuốn theo dòng khí tạo xoáy trong kênh dẫn 3, được hướng đến vòi phun bên phải và tương tác với dòng khí nguồn cấp (hình V.2.16c), sẽ làm tách dòng khí nguồn cấp khỏi thành bên phải.

Dòng phun tia nguồn cấp sẽ được hướng đến kênh dẫn lối ra 1 nơi tạo nên áp suất p_{B1} (hình V.2.16e).



Hình V.2.16. Trigger dòng phun tia với lối vào đếm được.

- a, b, c, d, e. Sơ đồ các trạng thái khác nhau của phần tử trigger khi hoạt động;
- g. Biểu đồ chu trình hoạt động.

Sau khi ngắt tín hiệu điều khiển p_Y thì dòng phun tia nguồn cấp sẽ tiếp tục dừng lại ở vị trí cân bằng ổn định mới, còn sự tạo xoáy của dòng khí trong kênh dẫn 3 sẽ xảy ra theo chiều quay của kim đồng hồ (hình V.2.16e).

Do đó khi cấp xung điều khiển tiếp theo thì dòng phun tia chịu tác dụng của áp suất điều khiển p_Y (hình V.2.16d) sẽ được hướng đến kênh dẫn 3 về phía của sự tạo xoáy đến vòi phun bên trái và tương tác với dòng khí nguồn cấp, làm hướng dòng khí nguồn cấp đến kênh dẫn lồi ra 2.

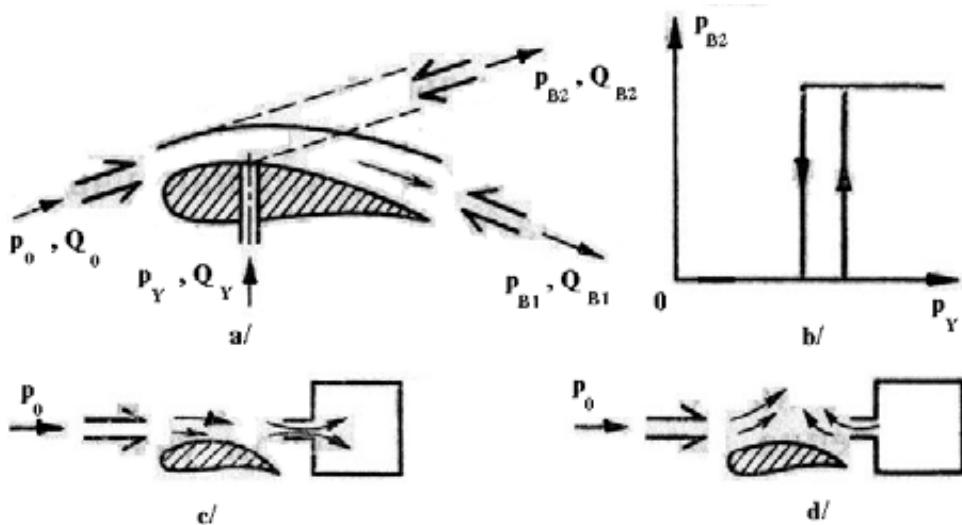
Biểu đồ hoạt động của trigger dòng phun tia với đầu vào đếm được biểu thị trên hình V.2.16g.

V.2.2.3. Chọn tham số hình học của phần tử công tác theo nguyên lý tách lớp biên

Sự lựa chọn hợp lý hình học của phần tử dòng phun tia làm việc theo nguyên lý tách lớp biên có thể thực hiện được trên cơ sở nghiên cứu các quá trình thuỷ khí động lực học chuyển động trong phần tử.

V.2.2.3.1. Sự ảnh hưởng độ cong của thành đến đặc tính công tác của phần tử dòng phun tia

Để chế tạo các phần tử dòng phun tia, ngoài việc sử dụng các thành phẳng và thành lõm, còn sử dụng cả thành lồi có biên dạng như cánh máy bay (hình V.2.17).



Hình V.2.17. Phần tử dòng phun tia có biên dạng cánh máy bay.

- a. Sơ đồ của phần tử;
- b. Đặc tính tĩnh;
- c, d. Sơ đồ các trạng thái của máy phát dao động.

Trong phần tử role dạng này thì khi cấp áp suất nguồn cấp p_0 thì dòng phun tia nguồn cấp sẽ được hướng đến kênh dẫn có áp suất p_{B1} .

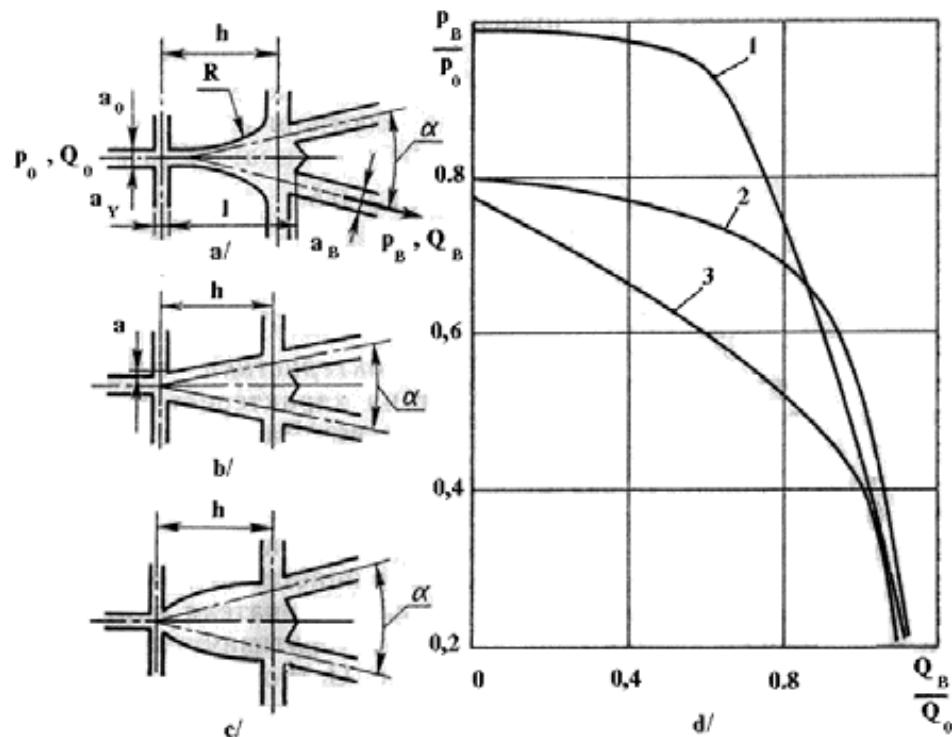
Khi cấp tín hiệu điều khiển p_Y sẽ xảy ra sự tách dòng khí khỏi thành và áp suất tại kênh dẫn lồi ra thấp nhất sẽ giảm xuống rất đột ngột.

Đặc tính tĩnh của phần tử đối với kênh dẫn lồi ra cao nhất khi không có tải tại kênh dẫn lồi ra được biểu thị trên hình V.2.17b.

Trên cơ sở của phần tử này có thể sẽ tạo nên máy phát dao động, làm việc cho khoang khí nén chật (hình V.2.17c, d).

Khi thiết kế các phần tử dòng phun tia mà hoạt động của chúng dựa trên cơ sở sử dụng hiện tượng tách dòng khí khỏi thành thì sự lựa chọn đúng hình dạng của thành mà tại đó có sự tương tác với dòng khí là chủ yếu.

Phần tử với thành lồi có đặc tính lồi ra tốt nhất (đường cong 1 trên hình V.2.18d) tại các điều kiện khác nhau.



Hình V.2.18. Sự ảnh hưởng hình dáng của thành lên các đặc tính của phần tử dòng phun tia.

- a. Phần tử với thành lồi;
- b. Phần tử với thành phẳng;
- c. Phần tử với thành lõm;
- d. Các đặc tính so sánh.

Còn phần tử với thành lõm có đặc tính lồi ra kém nhất C (đường cong 3 trên hình V.2.18d).

Phần tử với thành phẳng có đặc tính lồi ra đạt yêu cầu (đường cong 2 trên hình V.2.18d).

Phần tử với thành lồi sẽ đảm bảo áp suất lớn nhất trong kênh dẫn nhận và sự sụt áp nhỏ nhất tại đoạn bắt đầu của đặc tính lồi ra.

Bán kính độ cong của thành thông thường chấp nhận là $R = (18 \div 20)a_0$ và được chọn từ điều kiện để sao cho đường biên bên trong của dòng khí trùng với biên của thành.

Tuy nhiên các độ lệch công nghệ không lớn trong độ cong của thành lồi sẽ có thể phá huỷ đặc tính chuyển mạch của phần tử, cho nên phải làm tăng các yêu cầu đối với công nghệ.

Phần tử dòng phun tia với thành phẳng được sử dụng rộng rãi nhất.

Để đảm bảo các đặc tính đạt yêu cầu nên chấp nhận các tỉ số giữa các kích thước thẳng và độ rộng của kênh dẫn nguồn cấp (hình V.2.18)

$$\frac{a}{a_0} = 1,2; \frac{a_y}{a_0} = 0,6 \div 0,5; \frac{1}{a_0} = 10 \div 11;$$
$$\frac{h}{a_0} = 8; \alpha = 22 \div 24^\circ; \frac{a_B}{a_0} = 1,5$$

(V.2.31)

V.2.2.3.2. Sự ảnh hưởng hình dáng của bộ ngắt đến đặc tính của phần tử dòng phun tia

Hình dáng của bộ ngắt sẽ ảnh hưởng đến đặc tính chuyển mạch và độ cong của đặc tính.

Các bộ ngắt có thể có hình dạng khác nhau (hình V.2.19).

Trong bộ ngắt có hình dạng lõm thì sẽ tạo thành xoáy và dòng khí phản hồi không lớn (hình V.2.19a).

Xoáy sẽ làm phân chia dòng khí, hướng đến 1 trong các kênh dẫn lồi ra và sẽ ngăn ngừa sự thâm qua của dòng khí đến kênh dẫn khác.

Hình dáng tốt nhất của bộ ngắt là là hình dáng sẽ đảm bảo độ công lớn nhất của đường đặc tính và sẽ đảm bảo áp suất dư nhỏ nhất.

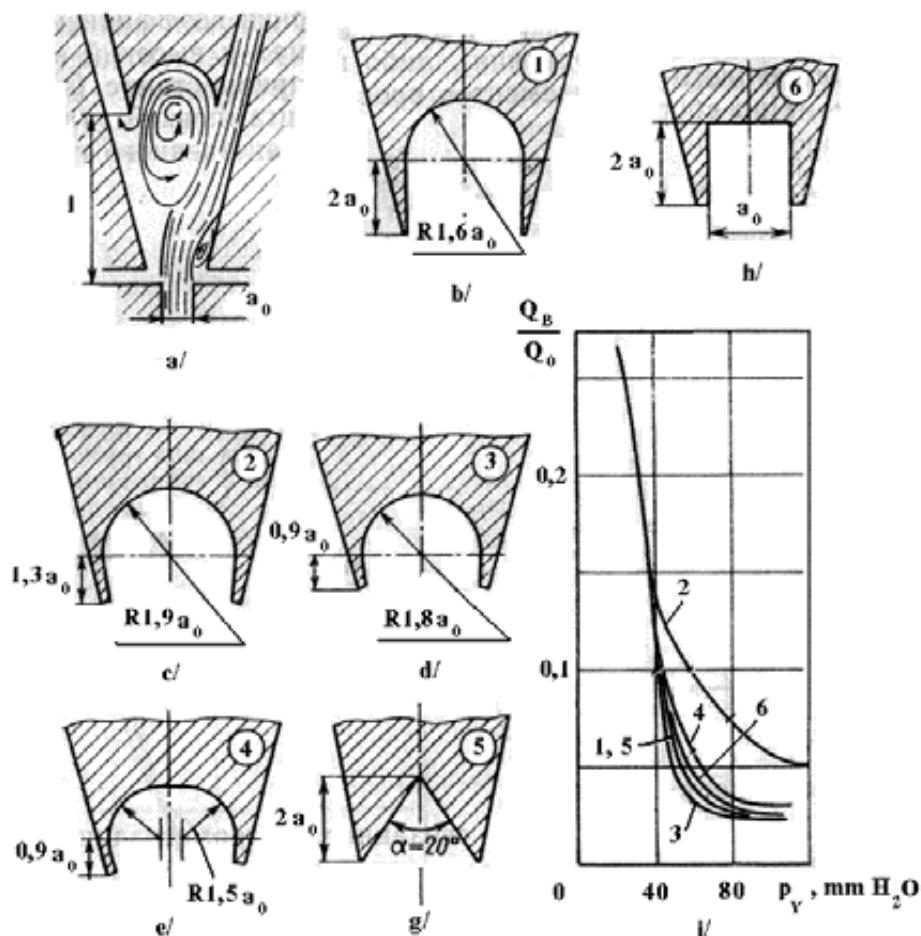
Các bộ ngắt có hình dáng góc nhọn (hình V.2.19g) được sử dụng chủ yếu trong các phần tử dòng phun tia tương tự.

Qua các khảo sát thực nghiệm có thể coi các hình dạng của các bộ ngắt theo hình

V.2.19b, g, h là tốt nhất.

Các đặc tính tĩnh so sánh đôi với các bộ ngắt được biểu thị trên hình V.2.19i.
Phần tử với bộ ngắt trên hình V.2.19c có đặc tính tĩnh kém nhất.

Trong thiết kế chế tạo các cơ cấu của tự động khí nén thường sử dụng khá rộng rãi cơ cấu khuếch đại dạng ống - ống với ống mao dẫn nguồn cấp chảy tầng (Cơ cấu khuếch đại chảy rồi).



Hình V.2.19. Sự ảnh hưởng hình dáng của bộ ngắt lên các đặc tính của sự chuyển mạch.

- Sơ đồ của sự tạo xoáy trong bộ ngắt;
- , c, d, e, g, h. Các hình dạng khác nhau của bộ ngắt;
- Các đặc tính so sánh của chuyển mạch.

CHƯƠNG V
KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC
CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG KHÍ NÉN
(Tiếp theo)
BÀI 15

CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC

(Tiếp theo)

V.2.3. Các phần tử dòng phun tia lôgic với dòng chảy rối
(Cơ cấu khuếch đại chảy rối).

V.2.3.1. Các đặc tính tính và đặc tính động lực học của phần tử dòng phun tia chảy rối.	242
V.2.3.2. Chọn các tham số chủ yếu của cơ cấu khuếch đại chảy rối.	244
V.2.3.3. Tính toán áp suất trong kênh dẫn tiếp nhận của cơ cấu khuếch đại chảy rối.	246
V.2.4. Các phần tử tạo xoáy.	251

BÀI 15. CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC (Tiếp theo)

V.2.3. Các phần tử dòng phun tia lôgic với dòng chảy rói

(Cơ cấu khuếch đại chảy rói)

So với các phần tử đã khảo sát thì cơ cấu khuếch đại chảy rói có các ưu điểm:

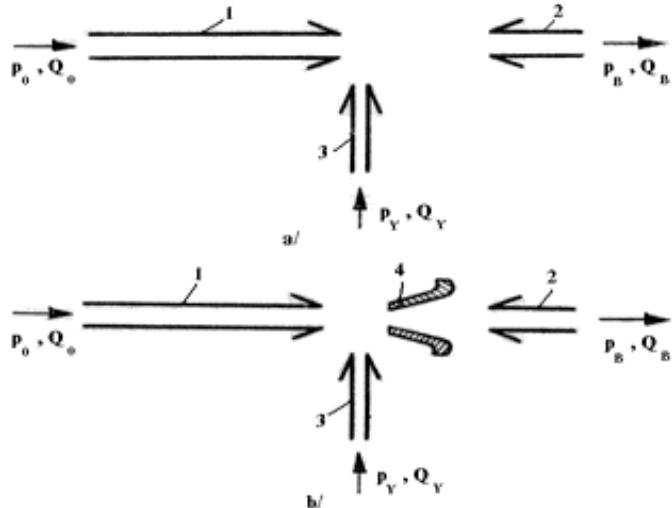
- Sức không đổi của sức cản đầu vào.
- Sự độc lập của điểm tiêu hao (áp suất tiêu hao p_Y) đối với tải và áp suất nguồn.
- Không có các mạch phản hồi.
- Có độ bền va đập, ổn định đối với nhiễu âm thanh.
- Hệ số khuếch đại cao.
- Hoạt động tin cậy và hiệu suất cao.

Sơ đồ của cơ cấu khuếch đại chảy rói đơn giản nhất (không có ống khuếch tán) được biểu thị trên hình V.2.20a.

Cơ cấu khuếch đại chảy rói có ống khuếch tán được biểu thị trên hình V.2.20b.

V.2.3.1. Các đặc tính tĩnh và đặc tính động lực học của phần tử dòng phun tia chảy rói

Trong khi hoạt động của cơ cấu khuếch đại chảy rói có ống khuếch tán (hình V.2.20b) sẽ tổng hợp 2 hiệu ứng:



Hình V.2.20. Phản tử dòng phun tia kiểu ống - ống với ống mao dẫn nguồn cấp chảy tầng.

- a. Sơ đồ không có ống khuếch tán.
 - b. Sơ đồ có ống khuếch tán.
1. Kênh dẫn nguồn cấp; 2. Kênh dẫn nhận;
 3. Kênh dẫn điều khiển; 4. Ống khuếch tán.

- Sự làm rối dòng phun tia nguồn cấp của các dòng phun tia điều khiển.
- Sự mở rộng bô xung của dòng phun tia nguồn cấp trong ống khuếch tán sau khi có sự làm rối dòng phun tia nguồn cấp.

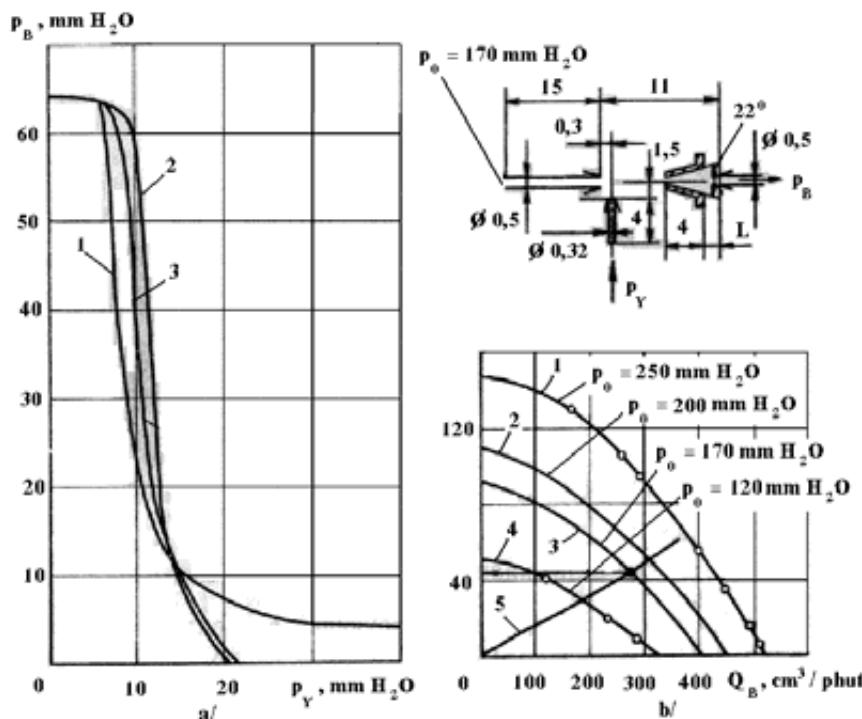
Hiệu ứng của sự mở rộng bô xung của dòng phun tia nguồn cấp (sự bám của dòng phun tia vào thành côn) sẽ quy ước:

- Làm tốt hơn đặc tính tĩnh của phần tử.
- Làm tăng độ cong của đặc tính tĩnh.
- Làm giảm hoặc loại bỏ hoàn toàn áp suất còn thừa tại lối ra.

Bằng thực nghiệm tròn các điều kiện như nhau đã xây dựng được các đặc tính tĩnh của phần tử dòng phun tia chảy rối (hình V.2.21a).

Qua đồ thị nhận thấy khi sử dụng ống khuếch tán thì sẽ loại bỏ được hoàn toàn áp suất thừa.

Đặc tính khói lượng cho phép xem xét đến các khả năng tải trọng của phần tử. Sự phụ thuộc của áp suất tại lối ra của phần tử vào lưu lượng tại kênh dẫn lối ra với những áp suất nguồn cấp khác nhau (hình V.2.21b).



Hình V.2.21. Đặc tính của cơ cấu khuếch đại chảy rối.

- Đặc tính tĩnh;
 - Đặc tính lưu lượng.
- Không có ống khuếch tán;
 - Có ống khuếch tán ($L = 1 \text{ mm}$);
 - Có ống khuếch tán ($L = 3 \text{ mm}$).

Đường cong 5 đặc trưng cho sự phụ thuộc của lưu lượng qua 3 kênh dẫn điều khiển vào áp suất tại lối ra.

Khi lựa chọn chế độ làm việc của phần tử dòng phun tia bất kỳ thường có găng tiệm cận đến việc sử dụng nhiều nhất công suất lối ra của phần tử.

Sự phụ thuộc giữa công suất lên tải trọng được nối đến lối ra của phần tử với áp suất lối ra được biểu thị trên hình V.2.22.

Đồ thị của sự thay đổi công suất có cực trị (cực đại), trong đó sự phân bố của giá trị cực đại sẽ được thay đổi phụ thuộc vào áp suất nguồn cấp. Thường tiệm cận đến việc chọn điểm công tác lân cận giá trị cực đại.

Để làm giảm sự thay đổi của công suất sẽ làm giảm áp suất nguồn cấp.

V.2.3.2. Chọn các tham số chủ yếu của cơ cấu khuếch đại chảy rói

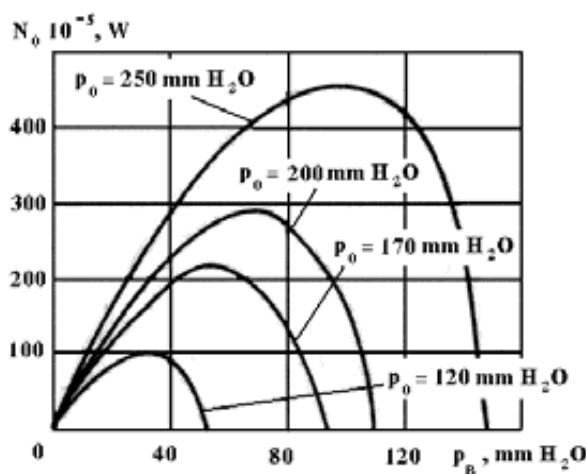
Để lựa chọn các tham số chủ yếu của cơ cấu khuếch đại chảy rói (áp suất nguồn cấp, giá trị của các tín hiệu điều khiển...) sẽ sử dụng các phương pháp tính toán và phương pháp thực nghiệm.

Phần tử với các lỗ khí quyển được phân bố đối diện với các đầu của đường ống tiếp nhận sẽ đảm bảo đặc tính tĩnh học tốt nhất.

Độ cong của đặc tính tĩnh sẽ lớn hơn nếu dòng phun tia điều khiển làm rối dòng phun tia nguồn cấp sẽ là dòng chảy tầng.

Trong trường hợp này tác dụng của dòng phun tia điều khiển sẽ xuất hiện hiệu quả nhất. Khả năng chịu tải của phần tử sẽ có lợi nhất khi độ cản đầu vào càng lớn.

Tuy nhiên khi độ cản đầu vào lớn thì đặc tính tĩnh của phần tử sẽ bị giảm đi.



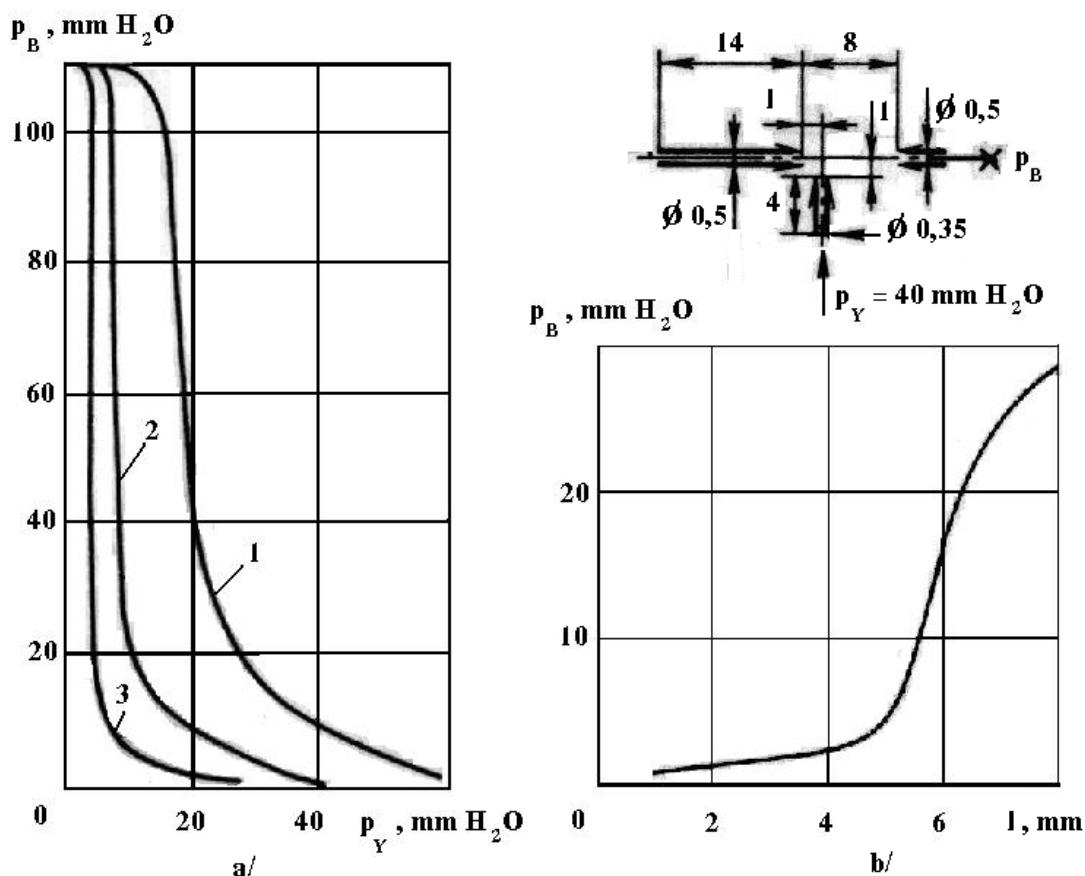
Hình V.2.22. Sự phụ thuộc giữa công suất lên tải trọng với áp suất tại lối ra.

Trên hình V.2.23a biểu diễn họ các đặc tính tĩnh thực nghiệm của cơ cấu khuếch đại chảy rói đối với các ống mao dẫn đầu vào nhau khi áp suất nguồn cấp là $p_0 = 170 \text{ mm Hg}$.

Đặc tính với ống mao dẫn điều khiển có độ dài $l = 4 \text{ mm}$ và đường kính $d = 0,35 \text{ mm}$ (đường cong 2) là đặc tính tĩnh tốt nhất.

Đối với phần tử có hệ số khuếch đại lớn nhất thì sự giao nhau của các dòng phun tia điều khiển và dòng phun tia nguồn cấp sẽ xảy ra ở khu vực lân cận trực tiếp đầu mút của ống mao dẫn nguồn cấp.

Trên hình V.2.23b biểu diễn sự phụ thuộc của áp suất đầu ra vào khoảng cách l từ đầu mút của ống mao dẫn nguồn cấp đến trực của ống mao dẫn điều khiển khi áp suất tại lối vào ống mao dẫn điều khiển là $p_Y = 40 \text{ mm Hg}$.



Hình V.2.23. Đồ thị chọn các phần tử chủ yếu của cơ cấu khuếch đại chảy rói.

- Đặc tính tĩnh với các ống điều khiển khác nhau.
- Sự phụ thuộc áp suất tại lối ra vào khoảng cách từ đầu mút của ống mao dẫn nguồn cấp đến trực của ống mao dẫn điều khiển.

V.2.3.3. Tính toán áp suất trong kênh dẫn tiếp nhận của cơ cấu khuếch đại chảy rói

Sơ đồ để tính toán áp suất trong kênh dẫn tiếp nhận của cơ cấu khuếch đại chảy rói được biểu thị trên hình V.2.24.

Biểu thức xác định áp suất trong ống tiếp nhận p_B trong trường hợp sự thoát ra của ống nguồn cấp (hình V.2.24a) của dòng phun tia chảy tầng.

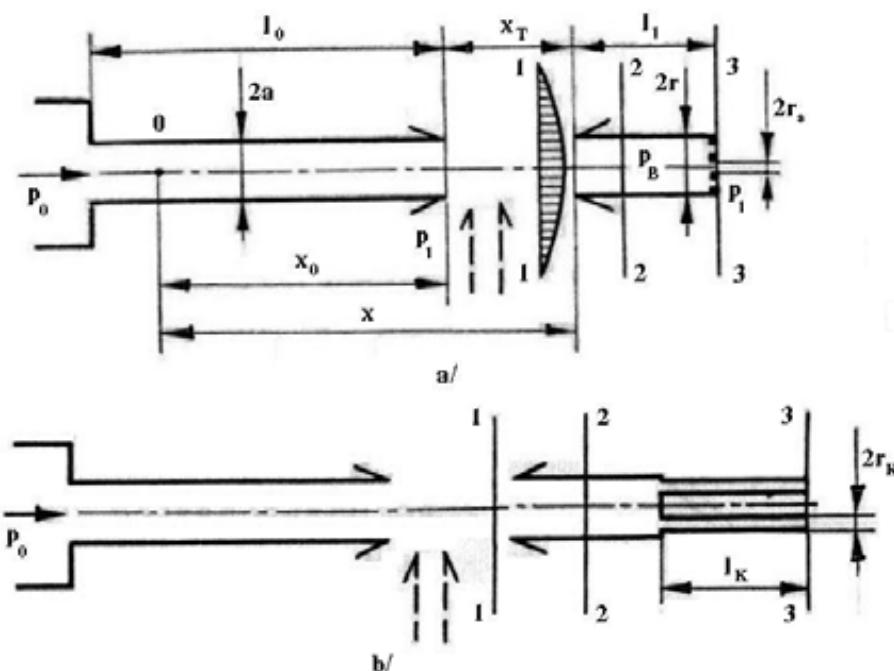
Các ống mao dẫn hoặc các lỗ tia như nhau có thể là tái của phần tử.

Khảo sát trường hợp khi tái của ống tiếp nhận là n lỗ tia có bán kính r_* được mắc song song với nhau.

Chấp nhận các giả thiết:

- Vì áp suất nguồn cấp trong các phần tử dòng phun tia thấp nên có thể coi không khí không nén được.
- Quá trình thay đổi trạng thái của không khí là quá trình đẳng tích.
- Tổn thất năng lượng giữa các thiết diện 1 - 1 và 2 - 2 có thể bỏ qua.
- Độ dài của ống tiếp nhận không lớn.

Thiết lập phương trình Becluly đối với các thiết diện trên hình V.2.24a:



Hình V.2.24. Sơ đồ để tính toán áp suất trong kênh dẫn tiếp nhận của cơ cấu khuếch đại chảy rói.

- Khi các lỗ tia tạo nên tái.
- Khi các ống mao dẫn tạo nên tái.

$$\begin{aligned} p_1 + \frac{\alpha_1 \rho v_1^2}{2} &= p_B + \frac{\alpha_2 \rho v_2^2}{2}, \\ p_B + \frac{\alpha_2 \rho v_2^2}{2} &= p_1 + \frac{\rho v_3^2}{2} + \xi_1 \frac{\rho v_3^2}{2} \end{aligned} \quad (V.2.32)$$

trong đó:

p_1 - áp suất trong môi trường xung quanh.

v_1, α_1 - vận tốc trung bình và hệ số động năng của thiết diện 1 - 1 (thiết diện của dòng phun tia chảy tầng tự do cách đầu mút của ống tiếp nhận một khoảng cách rất nhỏ) có bán kính r , vậy một phần của dòng phun tia sẽ rời vào mặt cắt của kênh dẫn tiếp nhận.

ρ - khối lượng riêng của không khí.

p_B - áp suất trong ống tiếp nhận.

v_2, α_2 - vận tốc trung bình và hệ số động năng tại thiết diện 2 - 2 của ống tiếp nhận.

v_3 - vận tốc trung bình tại thiết diện 3 - 3 là mặt cắt lồi ra từ lỗ tia.

ξ_1 - hệ số cản cục bộ của lỗ tia.

F - diện tích thiết diện thông dòng của ống tiếp nhận

$$F = \pi r^2 \quad (V.2.33)$$

f - diện tích thiết diện thông dòng của lỗ tia

$$F = \pi r_*^2 \quad (V.2.34)$$

Thiết lập phương trình liên tục đối với kênh dẫn tiếp nhận

$$v_2 F = v_3 f n \quad (V.2.35)$$

Kết hợp các biểu thức (V.2.32) ÷ (V.2.35), sẽ nhận được biểu thức xác định áp suất dư trong ống nhận

$$p_B - p_1 = \frac{\alpha_1 \rho v_1^2}{2(1 + \alpha_2 \varphi^2)} \quad (V.2.36)$$

trong đó:

φ - hệ số vận tốc p_2

$$\varphi^2 = \left\{ \frac{1}{n^2} \left(\frac{r}{r_*} \right)^4 \left[1 + \xi \left(1 - \frac{r_*^2}{r^2} \right) \right] - \alpha_2 \right\}^{-1} \quad (V.2.37)$$

trong đó:

ξ - hệ số lực cản của lỗ tia.

Nếu các bán kính r và r_* khác nhau không nhiều thì hệ số ξ_1 có thể được tính

$$\xi_1 = \xi \left(1 - \frac{r_*^2}{r^2} \right) \quad (V.2.38)$$

Công thức biểu thị sự phân bố vận tốc tại các thiết diện của dòng phun tia chảy tầng tự do và dòng phun tia chảy tầng ngập sẽ có dạng

$$v = \frac{A}{(1 + B y^2)^2} \quad (V.2.39)$$

trong đó:

$$A = \frac{Q^2}{2\pi^2 v x a^2}, \quad B = \frac{Q^2}{(4\pi v x a)^2} \quad (V.2.40)$$

Q - lưu lượng khói của không khí qua ống mao dẫn nguồn cấp.

v - hệ số nhớt động học của không khí.

y - khoảng cách từ trục của dòng phun tia đến vectơ vận tốc tại điểm đã cho.

x - khoảng cách từ điểm nguồn quy ước O đến mặt cắt được khảo sát của dòng phun tia (hình V.2.24a).

$$x = x_0 + x_T \quad (V.2.41)$$

x_0 - khoảng cách từ đầu mút của ống phun tia nguồn cấp đến điểm nguồn quy ước O

$$x_0 = \frac{0,2Q}{\pi v} \quad (V.2.42)$$

x_T - khoảng cách từ đầu mút của ống phun tia nguồn cấp đến mặt cắt được khảo sát của dòng phun tia (đến thiết diện 1 - 1 hoặc đến đầu mút của ống nhận).

a - bán kính của ống phun tia nguồn cấp.

Vận tốc trung bình theo lưu lượng tại lối vào đến ống nhận (thiết diện 1 - 1) được xác định

$$v_1 = \frac{\int v dF}{F} = \frac{2\pi \int_0^r v y dy}{\pi r^2} = \frac{A}{1 + Br^2} \quad (V.2.43)$$

Đặt biểu thức (V.2.43) vào (V.2.36) sẽ nhận được biểu thức xác định áp suất dư trong ống nhận

$$p_B - p_1 = \frac{\alpha_1 \rho}{2(1 + \alpha_2 \varphi^2)} \frac{A^2}{(1 + Br^2)^2} \quad (V.2.44)$$

Hệ số động năng α_1 là tỉ số giữa động năng trong ống phun tia chảy tầng tại khoảng cách $x_0 + x_T$ từ điểm nguồn quy ước O trên bán kính r đến động năng của thiết diện có bán kính được tính theo công thức vận tốc

$$\alpha_1 = \frac{\int v^3 dF}{v_1^3 F} \quad (V.2.45)$$

Đặt v, v_1, F vào biểu thức (V.2.45), lấy tích phân và nhận được

$$\alpha_1 = \frac{(1+Br^2)^3}{\pi A^3 r^2} \int_0^r \frac{2\pi A^3 y dy}{(1+Br^2)^6} = \frac{1}{5Br^2} \left[(1+Br^2)^3 - \frac{1}{(1+Br^2)^2} \right] \quad (\text{V.2.46})$$

Khi tải trọng được nối đến ống nhận rất nhỏ thì biên dạng vận tốc trong ống tiệm cận đến hình chữ nhật ($\alpha_2 \approx 1$).

Khi tải trọng lớn nhất (đầu bên phải của ống được mở hoàn toàn) thì biên dạng vận tốc sẽ tiệm cận đến biên dạng vận tốc trong ống phun tia tại đầu mút bên trái của ống nhận ($\alpha_2 \approx \alpha_1$).

Do đó có thể làm gần đúng sự thay đổi của α_2 phụ thuộc vào tỉ số r_*/r theo công thức gần đúng

$$\alpha_2 = 1 + (\alpha_1 - 1) \frac{r_*}{r} \quad (\text{V.2.47})$$

Loại trừ tải dưới dạng các tiết lưu chảy rời thì ống nhận có thể gây nên tải dưới dạng các tiết lưu chảy tầng - ống mao dẫn (hình V.2.24b).

Thiết lập phương trình Bernoulli cho các thiết diện 1 - 1, 2 - 2, 3 - 3 và phương trình liên tục tương ứng

$$\begin{aligned} p_1 + \frac{\alpha_1 \rho v_1^2}{2} &= p_B + \frac{\alpha_2 \rho v_2^2}{2}, \\ p_B + \frac{\alpha_2 \rho v_2^2}{2} &= p_3 + \frac{\alpha_3 \rho v_3^2}{2} + \xi \frac{\rho v_3^2}{2}, \\ F v_2 &= f v_3 n \end{aligned} \quad (\text{V.2.48})$$

trong đó:

v_3, α_3 - vận tốc trung bình và hệ số động năng của thiết diện 3 - 3 được chọn tại mặt cắt bên phải của ống mao dẫn (đối với biên dạng parabol được hình thành của vận tốc thì $\alpha_3 = 2t$).

ξ - hệ số cản tổng cộng, bao gồm hệ số cản cục bộ ξ_v tại lồi vào của ống mao dẫn và hệ số cản dọc đường theo độ dài của ống mao dẫn

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_v + \lambda \frac{1}{d_K} = \xi_v + \lambda \frac{1}{r_K} \frac{32}{Re}, \\ Re &= \frac{v_3 d_K}{\nu} = \frac{2Q_1}{\pi v r_K} \end{aligned} \quad (\text{V.2.49})$$

n - số lượng ống mao dẫn như nhau được mắc song song để gây tải.

Re - số Reynol đối của ống mao dẫn.

d_K - đường kính của ống mao dẫn gây tải.

Kết hợp các phương trình (V.2.43) ÷ (V.2.49), sẽ có biểu thức hệ số vận tốc

$$\varphi^2 = \left\{ \frac{1}{n^2} \left(\frac{r}{r_*} \right)^4 \left[\alpha_3 + \left(\xi_v + \frac{l_k}{r_k} \frac{32}{Re} \right) \right] - \alpha_2 \right\}^{-1} \quad (V.2.50)$$

Từ các biểu thức trên, nhận thấy rằng: số Reynol Re phụ thuộc vào lưu lượng khói Q_1 qua ống mao dẫn gây tải, còn lưu lượng Q_1 phụ thuộc vào áp suất p_B và p_1 (phụ thuộc vào hiệu $p_B - p_1$).

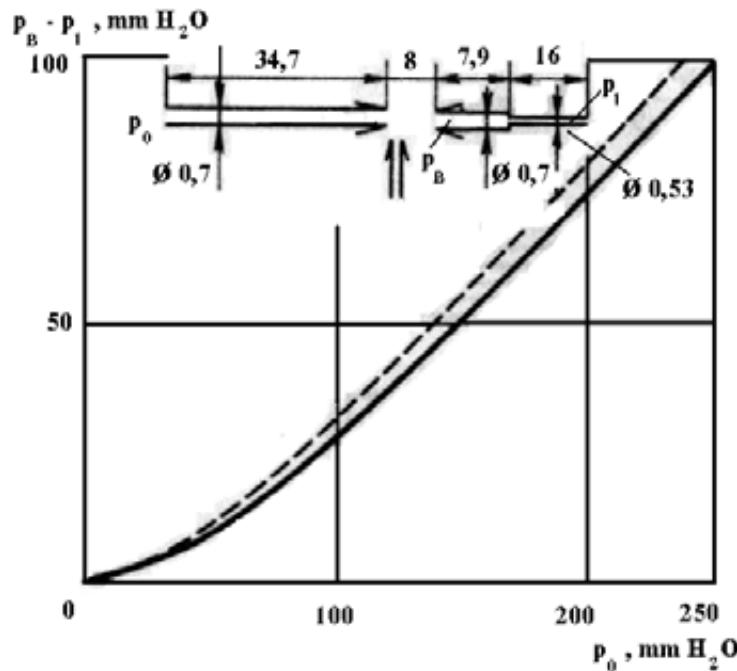
Do đó trong trường hợp này theo phương pháp gần đúng liên tiếp sẽ cho trước giá trị của hiệu $p_B - p_1$, sau đó xác định lưu lượng khói Q_1 .

Để xác định hệ số động năng có thể sử dụng công thức

$$\alpha_2 = 1 + (\alpha_1 - 1) \frac{r_k}{r} \quad (V.2.51)$$

Trong trường hợp này sẽ bỏ qua sai số lớn hơn so với khi tính toán phần tử với tải trọng là tiết lưu chảy rói.

Để đánh giá khả năng áp dụng của các công thức nhận được đối với tính toán thực nghiệm có liên quan với việc xác định áp suất trong ống nhận khi chịu tải là các tiết lưu chảy tầng (ống mao dẫn), đã xác định bằng thực nghiệm áp suất trong ống nhận tại các giá trị khác nhau của áp suất nguồn cấp p_0 (hình V.2.25)



Hình V.2.25. Sự phụ thuộc của áp suất thừa so với áp suất nguồn cấp trong kênh dẫn nhận.

V.2.4. Các phần tử tạo xoáy

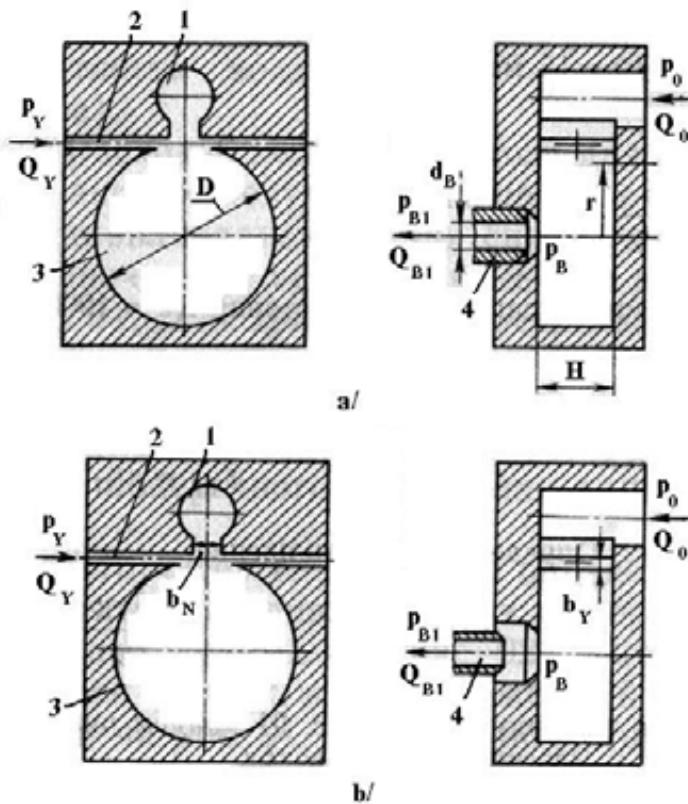
Các phần tử của kỹ thuật dòng phun tia được sử dụng làm điốt và lực cản điều chỉnh được.

Hoạt động của các phần tử này dựa trên cơ sở của việc tạo nên chuyển động xoắn trong khoang tạo xoáy chuyên dụng (hình V.2.26).

Cấu tạo của các phần tử bao gồm:

- Kênh dẫn nguồn cấp 1.
- Kênh dẫn điều khiển 2.
- Khoang tạo xoáy 3.
- Kênh dẫn lối ra 4 ở tâm của khoang 3.

Trong phần tử tạo xoáy khi không có tín hiệu điều khiển thì dòng phun tia từ kênh dẫn nguồn cấp 1 sẽ được cấp hướng kính đến kênh dẫn lối ra 4.



Hình V.2.26. Sơ đồ phần tử tạo xoáy.

- Sự bố trí của kênh dẫn lối ra nhận không có lỗ khí quyển trong khoang tạo xoáy.
- Sự bố trí của kênh dẫn lối ra nhận với lỗ khí quyển trong khoang tạo xoáy.

Khi cấp tín hiệu điều khiển có hướng tiếp tuyến và vuông góc với hướng của dòng phun tia nguồn cấp thì sẽ xảy ra sự tương tác về lực giữa dòng phun tia nguồn cấp và dòng phun tia điều khiển.

Dòng phun tia tổng cộng được nghiêng một góc do sự tụt áp được tạo nên ở mặt bên trong của khoang tạo xoáy và sẽ bị hút vào thành. Tiếp theo nếu cấp liên tục tín hiệu điều khiển thì chuyển động xoáy sẽ được hình thành.

Kênh dẫn lối ra 4 được đúc chât có thể được nối với khoang tạo xoáy (hình V.2.26a), hoặc có thể được hình thành như óng nhận 4 (hình V.2.26b) khi khoang tạo xoáy được nối với khí quyển thông qua khe hở được tạo nên.

Các kết quả nghiên cứu đã đưa ra mối liên hệ không thứ nguyên giữa độ giảm áp với các kích thước hình học và các tham số khí động lực học trong khoang tạo xoáy

$$\frac{2\Delta p}{\rho v_B^2} = \varphi \left(\frac{D}{d_B}, \frac{b_N}{d_B}, \frac{b_Y}{d_B}, \frac{H}{d_B}, \frac{Q_Y}{Q_{B1}}, \frac{v_B d_B}{v} \right) \quad (V.2.52)$$

trong đó:

Δp - độ giảm áp giữa các thiết diện biên.

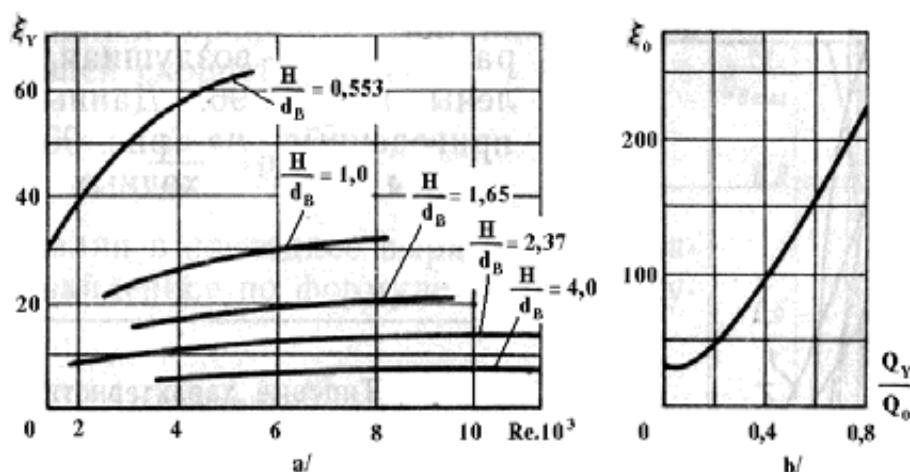
d_B, v_B - đường kính và vận tốc của dòng khí tại vòi phun lối ra ($d_B = 2r_B$) .

D, H - đường kính và độ cao của khoang tạo xoáy ($D = 2R$) .

b_N, b_Y - độ rộng của các vòi phun nguồn cấp và vòi phun điều khiển.

Q_{B1}, Q_Y - lưu lượng trong các kênh dẫn điều khiển và kênh dẫn lối ra.

ρ, v - khối lượng riêng và hệ số nhớt động học của dòng khí.



Hình V.2.27. Hệ số lực cản của khoang tạo xoáy.

a. Sự phụ thuộc ξ_Y của kênh dẫn điều khiển vào số Re và tham số H/d_B .

b. Sự phụ thuộc ξ_0 của kênh dẫn nguồn cấp vào lưu lượng tương đối Q_Y/Q_0 .

Hệ số cản ξ_Y tại vòi phun điều khiển (hình V.2.27a) phụ thuộc vào giá trị không thứ nguyên của độ cao khoang tạo xoáy $\bar{H} = H/d_B$, cũng như vào số Reynol ($Re < 5000$).

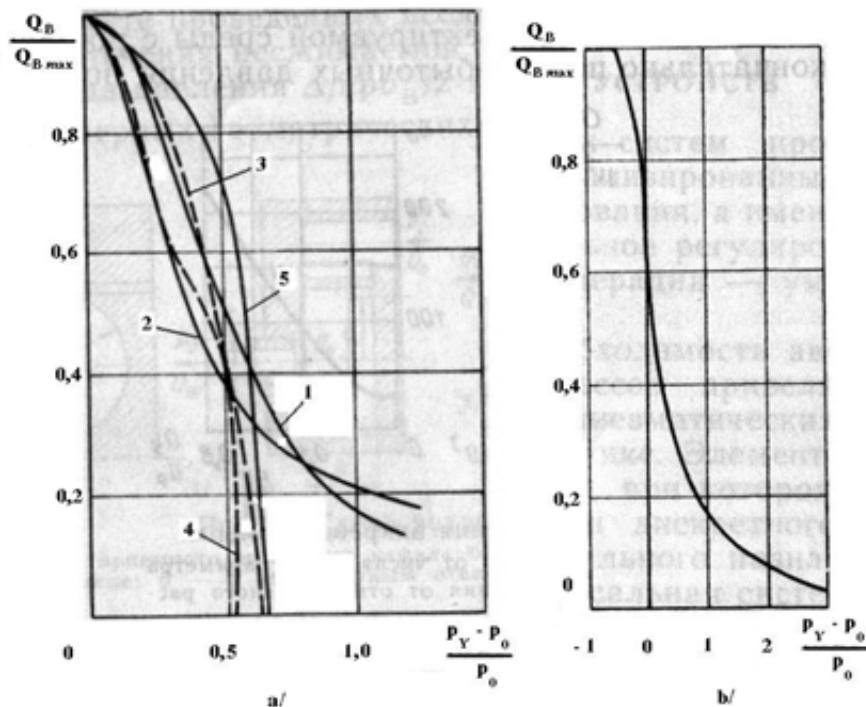
Trên hình V.2.27b biểu thị mối liên hệ giữa hệ số cản ξ_0 và tỉ số Q_Y/Q_0 . Tại đoạn bắt đầu thì ξ_0 hầu như không đổi.

Bắt đầu từ giá trị $Q_Y/Q_0 = 0,1$ thì sẽ xảy ra sự tăng đột ngột của ξ_0 và khi $Q_Y/Q_0 = 1$ thì $\xi_0 \rightarrow \infty$.

Như vậy sẽ xảy ra sự đóng khenh dẫn nguồn cấp bằng dòng khí điều khiển. Trong các phần tử được khảo sát thì sự đóng hoàn toàn của khenh dẫn nguồn cấp sẽ xảy ra khi $Q_Y/Q_0 \leq 1/3$.

Hiệu suất hoạt động của khoang tạo xoáy giống như lực cản khí nén sẽ tăng cùng với sự làm tăng tồn thất năng lượng khi tạo thành xoáy.

Hoạt động của đót tạo xoáy dựa trên cơ sở khi nói đường nguồn cấp và đường điều khiển thì dòng khí nguồn cấp sẽ chuyển động với sự tạo thành xoáy và lực cản khí nén đối với dòng thẳng sẽ tăng đột ngột.



Hình V.2.28. Đặc tính của phần tử tạo xoáy.

- Các đặc tính chuẩn của phần tử khuếch đại tạo xoáy trong toạ độ không thứ nguyên.
- Đặc tính của phần tử tạo xoáy khi điều khiển hỗn hợp (dòng phun tia nguồn cấp là nước, dòng phun tia điều khiển là không khí).

Trong hướng ngược lại của dòng khí thì lực cản rất nhỏ, do đó trong trường hợp này không có sự tạo thành xoáy.

Tỉ số lưu lượng của dòng khí thẳng và dòng ngược lại trong đới tạo xoáy vào khoảng $2,5 \div 3,0$.

Sự làm tăng lực cản khí nén khi tạo xoáy được thể hiện trong hoạt động của cơ cấu điều chỉnh xoáy.

Phần tử tạo xoáy tại các tỉ số xác định của các kích thước hình học sẽ có thể làm việc ở các chế độ của cơ cấu khuếch đại, của role hoặc của cơ cấu ghi nhớ.

Các đặc tính chuẩn của phần tử tạo xoáy khi hoạt động ở chế độ của cơ cấu khuếch đại được biểu thị trên hình V.2.28a.

Theo trực tung biểu thị tỉ số các lưu lượng tại kênh dẫn lối ra, còn theo trực hoành là tỉ số của hiệu giữa áp suất điều khiển và áp suất nguồn cấp đối với áp suất nguồn cấp.

Sự bố trí ống nhận tại kênh dẫn lối ra của khoang tạo xoáy và sự tồn tại của sự giảm lưu lượng sẽ dẫn đến việc làm tăng độ cong đường đặc tính của phần tử tạo xoáy.

Kết quả của việc điều khiển hỗn hợp (dòng phun tia nguồn cấp là nước, còn dòng phun tia điều khiển là không khí) được biểu thị trên hình V.2.28b.

Sự điều khiển hỗn hợp sẽ cho phép tạo nên các bộ biến đổi khí nén khác nhau.

Vectơ tổng hợp của vận tốc dòng khí tại thiết diện tròn của khoang tạo xoáy có thể được phân tích thành các thành phần hướng kính và thành phần tiếp tuyến.

Sự phân bố của các vận tốc tiếp tuyến trong trường hợp kênh dẫn nguồn cấp điền đầy sẽ là

$$\frac{v_r}{v_y} = \frac{R}{r} \quad (V.2.53)$$

trong đó:

v_y - vận tốc trung bình của dòng khí trong kênh dẫn điều khiển.

r - bán kính biến đổi.

Từ đó nhận được

$$v_r = v_y \left(\frac{R}{r} \right), \quad (V.2.54)$$

$$v_r = \frac{Q_y}{2\pi r H}$$

v_r - thành phần vận tốc hướng kính của dòng khí tại thiết diện tròn.

Gradien của sự thay đổi áp suất theo phương hướng kính tỉ lệ thuận với bình phương thành phần tiếp tuyến của vận tốc

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{v_\tau^2}{r} \quad (V.2.55)$$

Đặt biểu thức (V.2.54) vào (V.2.55), sẽ nhận được

$$dp = \rho v_Y^2 \frac{R^2}{r^3} dr \quad (V.2.56)$$

Lấy tích phân biểu thức (V.2.56) trong giới hạn từ r_B đến R

$$\Delta p = \frac{\rho v_Y^2}{2} \left(\frac{R^2}{r_B^2} - 1 \right) \quad (V.2.57)$$

Biết rằng độ giảm áp $\Delta p = p_N - p_B$ khi áp suất điều khiển được cấp và tại kênh dẫn nguồn cấp bị khoá sẽ bằng hiệu giữa áp suất p_N tại thiết diện tròn có bán kính R và áp suất tại lối ra khoang p_B có bán kính r_B . Do đó

$$p_B = p_N - \rho \frac{v_Y^2}{2} \left(\frac{R^2}{r_B^2} - 1 \right) \quad (V.2.58)$$

Giá trị của áp suất điều khiển toàn phần nhằm đảm bảo lưu lượng Q_Y tại kênh dẫn nguồn cấp bị khoá được xác định

$$p_Y = p_N + \rho \frac{v_Y^2}{2} \quad (V.2.59)$$

Biểu thức (V.2.58) được khẳng định đối với vận tốc rất nhỏ của dòng khí không có độ nhớt.

Trong trường hợp chuyển động của dòng khí không nén được thì lưu lượng khói sẽ liên hệ với áp suất dư tại lối ra của khoang theo biểu thức

$$G_B = \mu S_B \sqrt{2\rho p_B}, \\ (G_B)_{\max} = \mu S_B \sqrt{2\rho p_N} \quad (V.2.60)$$

trong đó:

S_B - diện tích của lỗ lối ra.

Giả thiết rằng dòng khí chịu áp suất $p_Y - p_N$ chuyển động qua vòi phun điều khiển vào khoang tạo xoáy có lưu lượng được xác định

$$G_Y = \mu_Y S_Y \sqrt{2\rho(p_Y - p_N)} \quad (V.2.61)$$

Kết hợp các biểu thức (V.2.58), (V.2.59), (V.2.60) và (V.2.61), sẽ có

$$\frac{G_B^2}{\mu^2 S_B^2} = \frac{(G_B)_{\max}^2}{\mu^2 S_B^2} - \frac{G_Y^2}{\mu_Y^2 S_Y^2} \left(\frac{R^2}{r_B^2} - 1 \right) \quad (V.2.62)$$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Ngọc Cảnh. Truyền động dầu ép trong máy cắt kim loại. Đại học Bách khoa Hà nội, 1974.
2. Nguyễn Xuân Huy, Phạm Ngọc Hùng. Thuỷ lực và máy thuỷ lực. Học viện KTQS, 1999.
3. Hoàng Thị Bích Ngọc. Máy thuỷ lực thê tích. Khoa học và kỹ thuật, 2000.
4. Nguyễn Thành Trí. Hệ thống thuỷ lực trên máy công nghiệp. Đà Nẵng, 2000.
5. Trần Doãn Đỉnh và các tác giả. Truyền dẫn thuỷ lực trong chế tạo máy. Khoa học và kỹ thuật, 2002.
6. Nguyễn Xuân Huy, Phạm Ngọc Hùng. Bài tập thuỷ lực. Nhà xuất bản QĐND, 2002.
7. Абрамов Е.И., Колесниченко К.А. Элементы гидропривода. Киев, Техника, 1977.
8. Коробочкин Б.Л. Динамика гидравлических систем станков. Москва, Машиностроение, 1976.
9. Кожевников С. Н., Пешат В. Ф. Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин. Москва, Машиностроение, 1973.
10. Прокофьев В.Н. Динамика гидропривода. Москва, Машиностроение, 1972.
11. Темный В.П. Основы гидроавтоматики. Москва, Наука, 1972.
12. Чупраков Ю.И. Гидропривод и средства гидроавтоматики. Москва, Машиностроение, 1979.

LỜI NÓI ĐẦU
PHẦN I. TỰ ĐỘNG THỦY LỰC
CHƯƠNG I
NGUYÊN TẮC CHUNG XÂY DỰNG HỆ THỐNG
ĐIỀU KHIỂN THỦY LỰC
BÀI 1
GIỚI THIỆU CHUNG

I.1. Khái niệm chung về hệ thống điều khiển thủy lực.	
I.1.1. Chức năng của hệ thống điều khiển thủy lực.	6
I.1.2. Các yêu cầu đối với hệ thống điều khiển thủy lực.	
I.1.3. Các yêu cầu đối với chất lỏng làm việc trong hệ thống.	7
I.2. Nguyên lý xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực.	
I.2.1. Trình tự chung khi xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực.	8
I.2.2. Nguyên tắc chung xây dựng hệ thống điều khiển thủy lực.	
I.2.2.1. Các khái niệm về hệ thống thủy lực tự động điều chỉnh.	
I.2.2.2. Phân loại hệ thống tự động điều chỉnh.	
I.2.2.2.1. Theo đặc tính của tín hiệu truyền giữa các phần tử.	9
I.2.2.2.2. Theo trạng thái của hệ thống đối với tác dụng của nhiễu.	10
I.2.2.2.3. Theo đặc tính của quy luật điều chỉnh.	
I.2.2.2.3.1. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh role “ R “.	11
I.2.2.2.3.2. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ thuận.	
I.2.2.2.3.3. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - vi phân.	
I.2.2.2.3.4. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tích phân “ I “.	
I.2.2.2.3.5. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân “ PI ”.	12
I.2.2.2.3.6. Hệ thống sử dụng quy luật điều chỉnh tỉ lệ - tích phân - vi phân “ PID ”.	13
I.2.2.2.3.7. Hệ thống tự chỉnh (hệ thống cực trị).	
I.2.2.2.3.8. Hệ thống tự động điều chỉnh có cấu trúc thay đổi.	14
I.2.2.2.3.9. Hệ thống tự động điều chỉnh bất biến.	
I.2.3. Các mạch thủy lực và sơ đồ của chúng.	15
I.2.3.1. Sơ đồ khống.	17

-
- I.2.3.2. Sơ đồ cắt thể hiện rõ chi tiết.
 - I.2.3.3. Sơ đồ hình tượng.
 - I.2.3.4. Sơ đồ biểu thị.

CHƯƠNG II
ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC
BÀI 2
KHÁI NIỆM CHUNG

II.1.1. Nội dung và phương pháp tính toán động lực học hệ thống truyền động thuỷ lực.	18
	19
II.1.2. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống động lực học.	
II.1.3. Các khái niệm chủ yếu được sử dụng trong khảo sát theo phương pháp tần số.	20

BÀI 3
TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HỆ THỐNG
TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC TUYẾN TÍNH

II.2.1. Xác định hàm truyền của bơm và động cơ thuỷ lực có tải.	
II.2.1.1. Các giả thiết khi thiết lập phương trình hàm truyền.	27
II.2.1.2. Xây dựng phương trình hàm truyền.	
II.2.2. Xác định hàm truyền của khuếch đại thuỷ lực.	
II.2.2.1. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động của khuếch đại thuỷ lực.	32
II.2.2.2. Xây dựng phương trình hàm truyền của khuếch đại thuỷ lực.	33
II.2.3. Nam châm điện điều khiển.	
II.2.3.1. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động của nam châm điện điều khiển.	37
II.2.3.2. Xác định hàm truyền của nam châm điện điều khiển.	39
II.2.4. Sơ đồ cấu trúc của truyền động thuỷ lực được điều chỉnh.	42

BÀI 4
ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ
TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC

II.3.1. Những đặc tính phi tuyến chủ yếu của các thiết bị thuỷ lực.	43
II.3.1.1. Ma sát khô trong các con trượt.	45
II.3.1.2. Đặc tính dòng chảy qua các thiết bị điện thông dòng.	51
II.3.1.3. Đặc tính phi tuyến giữa diện tích thiết bị điện thông dòng	
dạng không tròn với sự dịch chuyển của con trượt.	57
II.3.1.4. Phản lực của lực thuỷ động lực học khi dòng chất lỏng	

chảy qua thiết diện thông dòng của con trượt.	61
---	----

BÀI 5

ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC (Tiếp theo)

II.3.2. Bơm của hệ thống thuỷ lực.	
II.3.2.1. Đặc tính tĩnh.	64
II.3.2.2. Đặc tính động lực học.	66
II.3.3. Van con trượt tác dụng trực tiếp.	
II.3.3.1. Đặc tính tĩnh.	72
II.3.3.2. Xây dựng phương trình hàm truyền.	75

BÀI 6

ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC (Tiếp theo)

II.3.4. Tiết lưu thuỷ lực.	
II.3.4.1. Van tiết lưu.	83
II.3.4.2. Cơ cấu điều chỉnh dòng (Van tiết lưu và cơ cấu điều chỉnh).	86

PHẦN II. TỰ ĐỘNG KHÍ NÉN

CHƯƠNG III

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN BÀI 7

KHÁI NIỆM CHUNG

III.1.1. Các yêu cầu đối với khí.	102
III.1.2. Các quá trình nhiệt động lực học chủ yếu.	
III.1.2.1. Phương trình trạng thái khí số lượng chất khí không đổi (cân bằng).	103
III.1.2.1.1. Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$) .	106
III.1.2.1.2. Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$) .	
III.1.2.1.3. Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$) .	108
III.1.2.1.4. Quá trình đoạn nhiệt (đẳng Entropi).	
III.1.2.1.5. Quá trình đa hướng.	110

III.1.2.2. Quá trình nhiệt động lực học khi số lượng chất khí biến đổi.	111
III.1.3. Những điểm đặc biệt trong chuyển động của chất khí.	114

CHƯƠNG IV

CÁC PHẦN TỬ CỦA HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG KHÍ NÉN

BÀI 8

TIẾT LUU KHÍ NÉN

IV.1.1. Khái niệm chung.	
IV.1.1.1. Tồn thắt áp suất.	119
IV.1.1.2. Phân loại tiết lưu khí nén.	
IV.1.1.2.1. Cấu trúc và chức năng.	120
IV.1.1.2.2. Đặc tính chảy của dòng khí.	
IV.1.1.2.3. Đặc tính lưu lượng.	121
IV.1.2. Tính toán một số loại tiết lưu.	122
IV.1.2.1. Ống tiết chế.	124
IV.1.2.2. Ống mao dẫn.	
IV.1.2.2.1. Ống mao dẫn có thiết diện ống tròn (hoặc tương đương).	128
IV.1.2.2.2. Ống mao dẫn có thiết diện khe hở giữa hai bản phẳng song song.	131
IV.1.2.2.3. Ống mao dẫn có thiết diện giữa ống lót và piston.	133
IV.1.2.3. Tiết lưu dạng hình côn - trụ, hình côn - hình côn và tiết lưu khe hở trụ.	134
IV.1.2.4. Tiết lưu dạng vòi phun - tâm chấn.	135
IV.1.2.5. Tiết lưu dạng đê - bi cầu.	141

BÀI 9

CÁC PHẦN TỬ ĐÀN HỒI TRONG THIẾT BỊ KHÍ NÉN

IV.2.1. Màng cảm biến đòn hồi.	
IV.2.1.1. Phân loại.	143
IV.2.1.2. Cấu tạo.	145
IV.2.1.3. Tính toán diện tích hiệu dụng.	146
IV.2.2. Xiphông (Hộp xếp).	
IV.2.2.1. Phân loại và cấu tạo.	149
IV.2.2.2. Tính toán đại lượng đặc trưng.	151

BÀI 10

KHUẾCH ĐẠI VẠN TRUỢT KHÍ NÉN VÀ ỐNG PHUN TIA

IV.3. Khuếch đại van truột khí nén.	
IV.3.1. Phân loại, cấu tạo và nguyên lý chung.	
IV.3.1.1. Van truột dạng trụ.	155
IV.3.1.2. Van truột dạng phẳng.	157
IV.3.2. Tính toán đại lượng đặc trưng.	
IV.3.2.1. Diện tích khe hở thông dòng hiệu quả.	158
IV.3.2.2. Độ dịch chuyển lớn nhất của con truột.	160
IV.3.2.3. Lưu lượng khí được điền vào khoang truyền dẫn piston.	
IV.3.2.4. Thí dụ.	161
IV.4. Ống phun tia.	
IV.4.1. Chức năng, công dụng.	
IV.4.1.1. Chức năng.	162
IV.4.1.2. Công dụng.	
IV.4.2. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động.	
IV.4.2.1. Cấu tạo.	
IV.4.2.2. Nguyên lý hoạt động.	164
IV.4.3. Tính toán các đại lượng đặc trưng.	
IV.4.3.1. Khoảng cách giữa mặt bích của vòi phun với tâm chấn.	
IV.4.3.2. Phản lực tác dụng lên ống phun tia.	165
IV.4.3.3. Đặc tính tĩnh của ống phun tia.	166
IV.4.3.4. Thí dụ.	168

CHƯƠNG V

KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG KHÍ NÉN

BÀI 11

KHOANG KHÍ NÉN VÀ CÁC KÊNH THÔNG TIN LIÊN KẾT

V.1.1. Tính học của khoang trao đổi khí nén.	171
V.1.1.1. Tính học của khoang trao đổi khí nén có chứa 2 tiết lưu chảy rói.	172
V.1.1.2. Khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu biến đổi.	174
Xác định hệ số lưu lượng khí nén khi tính toán đặc tính tĩnh.	
V.1.1.3. Các phương pháp cải thiện đặc tính tĩnh của khuếch đại	176

khí nén dạng vòi phun - tấm chắn.	182
V.1.1.4. Tổ hợp các tiết lưu khí nén.	185
V.1.1.5. Tĩnh học của khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy tầng.	187
V.1.1.6. Tĩnh học khoang trao đổi khí nén với các kiểu tiết lưu khác nhau.	

BÀI 12

KHOANG KHÍ NÉN VÀ CÁC KÊNH THÔNG TIN LIÊN KẾT (Tiếp theo)

V.1.2. Động lực học của khoang trao đổi khí nén.	
V.1.2.1. Phương trình tuyến tính hoá động lực học của khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy rói.	192
V.1.2.2. Phương trình vi phân phi tuyến của khoang trao đổi khí nén với các tiết lưu chảy rói.	196
V.1.2.3. Động lực học khoang trao đổi khí nén chứa các tiết lưu chảy tầng.	199
V.1.2.4. Bộ tích năng khí nén.	204
V.1.3. Đặc tính tĩnh của hệ thống kênh dẫn thông tin trong tự động khí nén.	
V.1.3.1. Tốn thất dọc đường.	205
V.1.3.2. Tốn thất cục bộ.	207
V.1.4. Đặc tính động lực học của hệ thống kênh dẫn thông tin trong tự động khí nén.	
V.1.5. Đường kênh dẫn dài.	209
V.1.5.1. Tại cuối đường kênh dẫn dài được nối với khoang khí nén có thể tích nhỏ ($C_K = 0$).	210
V.1.5.2. Tại cuối đường kênh dẫn được nối với khoang khí nén mà tỉ số giữa đôi dài kênh dẫn với đường kính của khoang không lớn.	211

BÀI 13

CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC

V.2.1. Các phần tử phun tia lôgic hoạt động trên cơ sở tác dụng tương tác của các dòng phun tia chảy rói.	
V.2.1.1. Các phần tử chức năng cơ bản.	212
V.2.1.1.1. Các phần tử tác dụng tích cực.	213

V.2.1.1.2. Các phần tử tác dụng thụ động.	218
V.2.1.1.3. Các thuật toán logic được thực hiện trên các phần tử phun tia.	219
V.2.1.2. Phương pháp tính toán các dòng phun tia va đập nhau.	221
V.2.1.3. Tính gần đúng góc lệch lớn nhất của dòng phun tia trong phần tử bộ nhớ với mạch phản hồi dương.	224

BÀI 14

CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC (Tiếp theo)

V.2.2. Các phần tử phun tia tác dụng không liên tục, hoạt động trên cơ sở tương tác của dòng chảy với thành.	
V.2.2.1. Các phần tử phun tia thực hiện thuật toán logic và thuật toán ghi nhớ các tín hiệu.	
V.2.2.1.1. Hiện tượng bám vào thành của dòng phun tia.	228
V.2.2.1.2. Các phần tử sử dụng hiệu ứng của hiện tượng bám vào thành của dòng phun tia để thực hiện các chức năng.	231
V.2.2.2. Trigge dòng phun tia với đầu vào đêm được.	236
V.2.2.3. Chọn tham số hình học của phần tử công tác theo nguyên lý tách lớp biên.	
V.2.2.3.1. Sự ảnh hưởng độ cong của thành đến đặc tính công tác của phần tử dòng phun tia.	238
V.2.2.3.2. Sự ảnh hưởng hình dáng của bộ ngắt đến đặc tính của phần tử dòng phun tia.	240

BÀI 15

CÁC PHẦN TỬ PHUN TIA TÁC DỤNG KHÔNG LIÊN TỤC (Tiếp theo)

V.2.3. Các phần tử dòng phun tia logic với dòng chảy rối (Cơ cấu khuếch đại chảy rối).	
V.2.3.1. Các đặc tính tĩnh và đặc tính động lực học của phần tử dòng phun tia chảy rối.	242
V.2.3.2. Chọn các tham số chủ yếu của cơ cấu khuếch đại chảy rối.	244
V.2.3.3. Tính toán áp suất trong kênh dẫn tiếp nhận của cơ cấu khuếch đại chảy rối.	246

V.2.4. Các phần tử tạo xoáy.	251
------------------------------	-----

PHẦN III (THAM KHẢO)

MỘT SỐ HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG THUỶ KHÍ TRONG CƠ KHÍ

CHƯƠNG VI

TRUYỀN ĐỘNG THUỶ KHÍ TRONG MÁY CẮT GỌT KIM LOẠI GIỚI THIỆU CHUNG

VI.1. Cấu tạo chung.	256
VI.2. Phân loại.	258
VI.3. Phân tích hoạt động của hệ thống thuỷ lực.	260

CÁC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC CỦA MÁY CẮT GỌT KIM LOẠI

VI.2.1. Truyền động thuỷ lực của máy cắt 8B 66A	263
VI.2.1.1. Khởi động và cáp cũ chặn.	265
VI.2.1.2. Làm dịch chuyển phôi và ép phôi.	
VI.2.1.3. Cáp nhanh ụ cắt.	267
VI.2.1.4. Thực hiện lượng gia công.	
VI.2.1.5. Làm tách ụ.	268
VI.2.1.6. Lắp lại chu trình.	
VI.2.2. Truyền động thuỷ lực của máy cắt răng 5A 312.	
VI.2.2.1. Khởi động.	269
VI.2.2.2. Thực hiện ép phôi.	270
VI.2.2.3. Cấp và ép giữ trực cắt.	271
VI.2.2.4. Cắt và thực hiện lượng gia công dọc trực.	
VI.2.2.5. Nối lồng và lùi nhanh trực cắt.	
VI.2.2.6. Nối lồng chi tiết, tháo lùi mũi tâm bên trên.	272
VI.2.2.7. Dịch chuyển mũi tâm của trực spindeln.	

KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC

VI.3.1. Sơ đồ điều chỉnh vận tốc của bàn dao bằng tiết lưu cùng cơ cấu điều chỉnh Γ 55 - 2.	273
VI.3.2. Sơ đồ hệ thống chép hình thuỷ lực với con trượt tuỷ động 1 cửa.	284
VI.3.3. Sơ đồ hệ thống chép hình thuỷ lực với con trượt tuỷ động 4 cửa.	289

CHƯƠNG VII

TRUYỀN ĐỘNG THUỶ KHÍ TRONG MÁY LUYỆN KIM

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ MÁY LUYỆN KIM

MỘT SỐ HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC CỦA MÁY LUYỆN KIM

VII.2.1. Truyền động thuỷ lực của máy luyện gang.	308
VII.2.1.1. Truyền động của van thổi khí nóng.	308
VII.2.1.2. Cơ cấu làm dịch chuyển các phần côn trong lò luyện gang.	309
VII.2.2. Truyền động thuỷ lực của máy luyện thép.	
VII.2.2.1. Cơ cấu đẻ thúc các thổi đúc từ khuôn.	312
VII.2.2.2. Truyền động của lò điện.	314
VII.2.2.3. Thiết bị rót thép liên tục.	315
VII.2.3. Truyền động thuỷ lực của máy cán.	316
VII.2.3.1. Thiết bị làm cân bằng chi tiết của máy cán.	317
VII.2.3.2. Thiết bị kéo giá trực cán và chống sự uốn.	320
VII.2.3.3. Thiết bị định vị của máy cán.	321
VII.2.3.4. Thiết bị đảo lật các thổi đúc.	323
VII.2.3.5. Thiết bị đảo vật liệu.	325
VII.2.3.6. Truyền động của máy hàn nối.	326
VII.2.3.7. Thiết bị cán mặt cắt.	330
VII.2.3.8. Thiết bị khâu bao.	331

CHƯƠNG VIII

TRUYỀN ĐỘNG THUỶ KHÍ TRONG MÁY ÉP

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ MÁY ÉP

VIII.1.1. Phân loại.	334
VIII.1.2. Câu tạo chung.	335

VIII.1.3. Các tham số công nghệ của truyền động thuỷ lực.	336
VIII.1.4. Chất lỏng công tác trong máy ép thuỷ lực.	337
MỘT SỐ HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THUỶ LỰC CỦA MÁY ÉP	
VIII.2.1. Máy ép tổng hợp 1 trụ.	
VIII.2.1.1. Chế độ nửa tự động.	340
VIII.2.1.2. Chế độ hiệu chỉnh.	343
VIII.2.1.3. Chế độ tự động.	
VIII.2.2. Máy ép để dập các tấm dày thành sản phẩm .	
VIII.2.2.1. Các đặc tính kỹ thuật chủ yếu.	
VIII.2.2.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động .	
VIII.2.2.2.1. Chế độ hành trình riêng biệt.	345
VIII.2.2.2.1.1. Hoạt động của máy ép “Không có sự kẹp giữ” với áp lực 5.10^7 N .	
VIII.2.2.2.1.1.a. Hành trình không tải.	
VIII.2.2.2.1.1.b. Hành trình công tác.	346
VIII.2.2.2.1.1.c. Sự giảm áp suất và hành trình phản hồi.	347
VIII.2.2.2.1.2. Hoạt động của máy ép “Có sự kẹp giữ” với áp lực 4.10^7 N .	
VIII.2.2.2.1.2.a. Hành trình không tải.	348
VIII.2.2.2.1.2.b. Quá trình ép phôi.	349
VIII.2.2.2.1.2.c. Hành trình công tác.	
VIII.2.2.2.1.2.d. Làm giảm áp suất và hành trình phản hồi.	350
VIII.2.2.2.2. Chế độ hiệu chỉnh.	351
VIII.2.2.2.3. Chế độ tự động.	
VIII.2.3. Máy ép gia công nhựa tổng hợp.	
VIII.2.3.1. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động.	353
VIII.2.3.2. Các đặc tính kỹ thuật.	359
TÀI LIỆU THAM KHẢO	
MỤC LỤC	360
	361