

TRẦN XUÂN TÙY

**HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN
TỰ ĐỘNG THỦY LỰC**

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC KỸ THUẬT

TS. TRẦN XUÂN TÙY

**HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN
TỰ ĐỘNG THỦY LỰC**

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC KỸ THUẬT
Hà Nội - 2002**

LỜI GIỚI THIỆU

Truyền động thủy lực trong máy công cụ, thiết bị... thuộc lĩnh vực kỹ thuật tiên tiến trong cơ khí hóa và tự động hóa quá trình sản xuất công nghiệp. Với cuộc cách mạng khoa học và công nghệ hiện thời thì truyền động thủy lực phát triển mới và công nghệ cao hơn. Đó là điều khiển tự động hệ thủy lực cho các máy công cụ, trung tâm gia công CNC, dây chuyền tự động linh hoạt robot hóa...

Việc đào tạo đội ngũ kỹ thuật và chuyên gia lĩnh vực này ở Việt Nam trong thời kỳ công nghiệp hóa và hiện đại hóa là rất quan trọng và cấp thiết.

Những năm trước đây, việc đào tạo ngành cơ khí trong các trường đại học kỹ thuật - công nghệ, có giảng dạy, thí nghiệm, thiết kế tốt nghiệp, viết giáo trình, sách tham khảo về truyền động thủy lực trong máy công cụ và thiết bị nhưng còn ít hoặc chưa đề cập đến phân hiện đại đáp ứng cho quá trình công nghiệp hóa, tự động hóa ở trình độ cao. Đó là điều khiển tự động hệ thống thủy lực.

Để viết quyển sách này, tác giả đã dành nhiều thời gian khảo cứu lý thuyết, xây dựng thí nghiệm, nghiên cứu khoa học và ứng dụng thực tiễn, cũng như tham quan, thực tập và tiến hành thí nghiệm ở nước ngoài về lĩnh vực điều khiển tự động thủy lực.

Chương 1 tổng hợp cơ bản và có tính hệ thống, phân tích, tính toán các thông số chính trong mạch truyền động thủy lực. Chương 2 trình bày các đặc trưng chủ yếu như độ đàn hồi của dầu, độ cứng thủy lực, tần số dao động riêng ... nhằm phục vụ cho nghiên cứu động lực học của truyền động thủy lực ở chương 3, kết quả này giúp cho việc nghiên cứu điều khiển hệ thủy lực làm việc ổn định, tin cậy, chính xác. Nội dung ở chương 2 khá súc tích và mới. Từ chương 4 đến 7 trình bày các nội dung chính với phương pháp tính toán thiết kế mới và hiện đại. Tác giả viết trên cơ sở ứng dụng điều khiển học kỹ thuật để phân tích sai số, xác định hàm truyền của một số mạch điều khiển, điều khiển vị trí, vận tốc, tải trọng với các phân tử điều khiển cơ bản trong hệ điều khiển tự động thủy lực như van điều khiển, bộ khuếch đại, các loại cảm biến Từ đó tính toán và thiết kế các mạch điều khiển tự động thủy lực với nhiều ví dụ cụ thể có chọn lọc.

Phần tin học ứng dụng để phục vụ cho nghiên cứu, thiết kế, thí nghiệm điển hình về điều khiển tự động hệ thủy lực, cũng như điều khiển tự động thủy-khí, tác giả đã thực hiện và thu được kết quả đáng kể, còn được tiếp tục ở tài liệu sau.

Trên cơ sở 28 tài liệu tham khảo được công bố những năm gần đây tác giả đã viết quyển sách này, cùng với quyển " Điều khiển tự động trong lĩnh vực cơ khí" (Nhà xuất bản Giáo dục- 1998) tạo ra sự kết hợp hoàn chỉnh hướng chuyên môn hẹp và hiện đại của ngành cơ khí, giúp cho công việc giảng dạy, đào tạo, nghiên cứu và chuyển giao công nghệ thuộc lĩnh vực truyền động và điều khiển tự động hệ thủy lực có hiệu quả cao.

PGS.TS. Phạm Đắp
Khoa cơ khí
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

LỜI NÓI ĐẦU

"Điều khiển tự động hệ thủy lực" là giáo trình phục vụ cho các đối tượng học tập, nghiên cứu về điều khiển tự động của các ngành cơ khí và tự động hoá ở các trường đại học kỹ thuật, các trường cao đẳng kỹ thuật và các cơ sở sản xuất, nghiên cứu. Đây là tập tiếp theo của giáo trình "Điều khiển tự động trong các lĩnh vực cơ khí" do Nhà xuất bản Giáo dục phát hành năm 1998.

Kỹ thuật truyền động và điều khiển hệ thủy lực đã phát triển mạnh ở các nước công nghiệp. Kỹ thuật này được ứng dụng để truyền động cho những cơ cấu có công suất lớn, thực hiện điều khiển logic cho các thiết bị hoặc dây chuyền thiết bị tự động, đặc biệt nhờ khả năng truyền động được vô cấp mà nó được ứng dụng để điều khiển vô cấp tốc độ, tải trọng và vị trí của cơ cấu chấp hành. Hiện nay, hệ thủy lực được sử dụng để điều khiển các thiết bị như máy ép điều khiển số, robot công nghiệp, máy CNC hoặc trong các dây chuyền sản xuất tự động.

Giáo trình này chủ yếu trình bày phương pháp tính toán thiết kế cho hệ điều khiển vô cấp mà các tài liệu khác chưa bàn đến hoặc mới đề cập ở mức sơ lược. Nội dung của giáo trình bao gồm các vấn đề sau : Phương pháp phân tích và tính toán các thông số của mạch điều khiển thủy lực; tính toán độ đàn hồi của dầu, độ cứng thủy lực và tần số dao động riêng của hệ thủy lực; bài toán nghiên cứu động lực học của hệ thủy lực; giới thiệu các phần tử điều khiển cơ bản của hệ thủy lực; kỹ thuật điều khiển vị trí, tốc độ và tải trọng, ngoài ra tài liệu còn giới thiệu lý thuyết tính toán thiết kế các mạch điều khiển tự động hệ thủy lực và các ví dụ minh họa.

Đây là giáo trình chuyên ngành mang tính nghiên cứu ứng dụng, những vấn đề lý thuyết và những ví dụ trình bày sẽ giúp cho người đọc có thể tiếp cận nhanh với những bài toán thực tế, nhất là trong giai đoạn hiện nay, kỹ thuật điều khiển tự động đang có khuynh hướng phát triển mạnh, các thiết bị và các dây chuyền sản xuất tự động ứng dụng kỹ thuật điều khiển thủy lực đang thâm nhập vào Việt Nam ngày càng nhiều nên việc nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật này để thiết kế, bảo dưỡng và khai thác có hiệu quả là việc làm thiết thực.

Chúng tôi mong rằng giáo trình này sẽ giúp ích cho mọi đối tượng học tập, nghiên cứu làm việc trong lĩnh vực điều khiển hệ thủy lực và mong nhận được các ý kiến đóng góp để lần tái bản tới, giáo trình sẽ hoàn thiện hơn.

TÁC GIẢ

Chương 1

PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH VÀ TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN TRONG MẠCH ĐIỀU KHIỂN THỦY LỰC

1.1. QUAN HỆ GIỮA ÁP SUẤT VÀ LƯU LƯỢNG

1.1.1. Nguồn thủy lực

Hiện nay người ta chia nguồn thủy lực thành hai dạng sau :

- Nguồn lưu lượng không đổi.
- Nguồn áp suất không đổi.

Theo ISO R1219, các nguồn thủy lực được ký hiệu như trên hình 1.1.



Hình 1.1. Ký hiệu về nguồn thủy lực

a- Nguồn lưu lượng không đổi; b- Nguồn áp suất không đổi.

Ký hiệu trên thực chất là ký hiệu của bơm dầu, khi trong đó có thêm chữ I, có nghĩa đó là nguồn cung cấp lý tưởng (không có tổn thất lưu lượng và tổn thất áp suất trong bơm).

Công suất trong mạch thủy lực được xác định theo :

$$N = \frac{dE}{dt} \text{ với } E = \int P.dV \quad (1.1)$$

hay :

$$N = P \cdot \frac{dV}{dt} = P \cdot Q \quad (1.2)$$

trong đó :

- E - đặc trưng cho công;
- V - thể tích chất lỏng truyền được;
- N - công suất truyền;
- P - áp suất chất lỏng.

Tùy thuộc vào thứ nguyên của áp suất P và lưu lượng Q mà công thức (1.2) có thêm các hệ số.

Mô hình tính toán của nguồn lưu lượng lý tưởng là : $N_{ra} = N_{vào}$

nghĩa là : $P.Q = M_x . \Omega$ (1.3)

trong đó : M_x - mômen xoắn trên trục vào của bơm;

Ω - vận tốc góc của trục bơm.

Nếu gọi V là thể tích chất lỏng bơm được, D là dung tích làm việc của bơm trong một radian và θ là góc quay của bơm, ta có quan hệ :

$$V = D . \theta \quad (1.4)$$

Lấy đạo hàm (1.4) :

$$\frac{dV}{dt} = D . \frac{d\theta}{dt}$$

mà : $\frac{dV}{dt} = Q$ và $\frac{d\theta}{dt} = \Omega$ nên $Q = D . \Omega$ (1.5)

Thay (1.5) vào (1.3) : $P.Q = P.D.\Omega = M_x . \Omega$

hay : $M_x = P.D$ (1.6)

Nếu dung tích đo trong một vòng quay của bơm là D_{vg} thì :

$$D = \frac{D_{vg}}{2.\pi} \quad ; \quad M_x = \frac{P.D}{2.\pi} \quad (1.7)$$

và : $Q = D_{vg} . \frac{n}{60}$ (1.8)

Trường hợp với nguồn áp suất không đổi thì lưu lượng ra có thể thay đổi theo một hàm nào đó nhưng áp suất ra luôn không đổi.

Các công thức trên cũng sử dụng để tính toán cho động cơ dầu.

1.1.2. Mạch thủy lực có các tiết diện chảy ghép nối tiếp và ghép song song

Khi chất lỏng chảy qua khe hẹp thì lưu lượng tỷ lệ với căn bậc 2 của hiệu áp trước và sau khe hẹp :

$$Q = K_0 . \sqrt{P} \quad (1.9)$$

trong đó : P - hiệu áp trước và sau khe hẹp;

K_0 - hệ số liên quan đến sức cản thủy lực được xác định bằng thực nghiệm theo công thức :

$$K_0 = \frac{Q_{\text{thực nghiệm}}}{\sqrt{P_{\text{thực nghiệm}}}} \quad (1.10)$$

Lưu lượng và áp suất xác định theo công thức (1.9) là dòng chất lỏng chảy rối. Đây là trường hợp phổ biến của dòng chất lỏng chảy trong hệ thống kín. Tuy nhiên thực tế cũng có không ít trường hợp chất lỏng thực hiện dòng chảy tầng, khi đó quan hệ giữa áp suất và lưu lượng là tuyến tính :

$$Q = K.P \quad (1.11)$$

K là hệ số liên quan đến sức cản thủy lực khi chảy tầng.

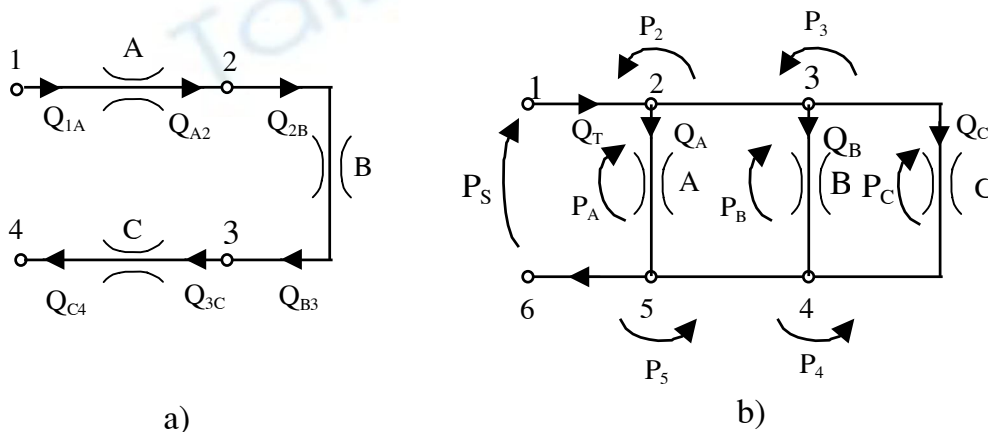
Nếu giả thiết tổn thất lưu lượng không đáng kể thì phương trình liên tục của dòng chảy thể hiện là tổng lưu lượng đi vào một nút bằng tổng lưu lượng đi ra nút đó :

$$\Sigma Q_{\text{vào}} = \Sigma Q_{\text{ra}} \quad (1.12)$$

Để nghiên cứu mạch thủy lực ta có khái niệm về loại mạch ghép nối tiếp và ghép song song như sau :

- *Mạch nối tiếp* là mạch mà trong đó không có sự phân nhánh và lưu lượng ở mọi nơi trên đường truyền dẫn đều bằng nhau.

- *Mạch song song* là mạch khi phân nhánh hiệu áp ở mọi nhánh đều bằng nhau.



Hình 1.2. Sơ đồ ghép nối tiếp và ghép song song

a - Sơ đồ ghép nối tiếp; b - Sơ đồ ghép song song.

Trên hình 1.2a, các khe hẹp A, B và C (hay gọi là tiết diện chảy) được ghép nối tiếp nhau theo trình tự 1 - A - 2 - B - 3 - C - 4. Lưu lượng chất lỏng đi trong mạch là như nhau, tức là :

$$Q_{1A} = Q_{A2} = Q_{2B} = Q_{B3} = Q_{3C} = Q_{C4} \quad (1.13)$$

Ở hình 1.2b, các khe hẹp A, B và C được ghép song song với nhau, hiệu áp được tính là :

$$P_S = P_2 + P_3 + P_C + P_4 + P_5 \quad (1.14)$$

Nếu

$$P_2 = P_3 = P_4 = P_5 \quad \text{thì} \quad P_S = P_C$$

Tương tự ta có :

$$P_S = P_C = P_B = P_A \quad (1.15)$$

$$\text{Lưu lượng : } Q_T = Q_A + Q_B + Q_C \quad (1.16)$$

Trong các loại van trượt điều khiển khí chất lỏng chảy qua khe hẹp có tiết diện chảy thay đổi thì quan hệ giữa lưu lượng và độ dịch chuyển về điều chỉnh tiết diện chảy của van xác định theo công thức sau :

$$Q = K_v \cdot f(x) \cdot \sqrt{P} \quad (1.17)$$

$$\text{và : } Q_{dm} = K_v \cdot f(x_{max}) \cdot \sqrt{P_{dm}} \quad (1.18)$$

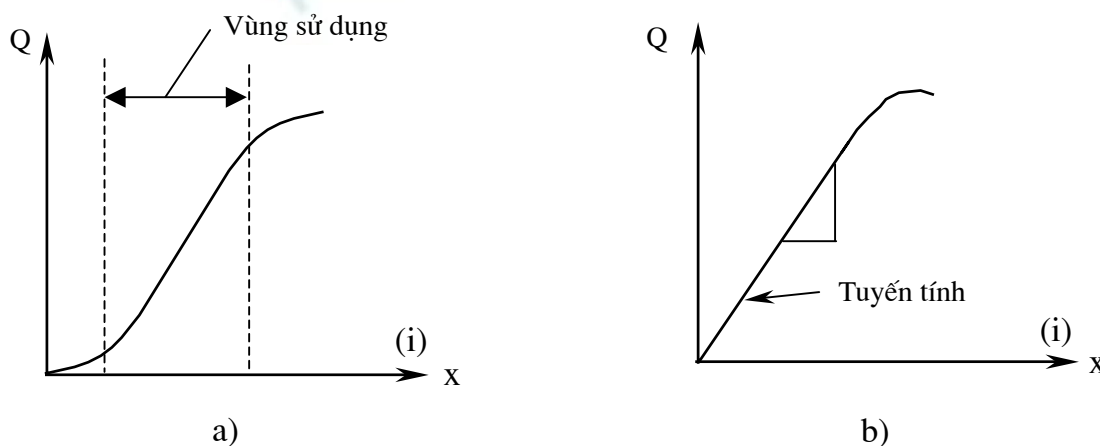
trong đó : K_v - hệ số;

Q_{dm} và P_{dm} - lưu lượng và hiệu áp định mức của van;

$f(x_{max})$ - hàm quan hệ giữa tiết diện chảy và độ dịch chuyển lớn nhất của van.

Đặc tính quan hệ giữa lưu lượng Q và độ dịch chuyển của con trượt x của van theo công thức (1.17) thể hiện ở hình 1.3a. Các nhà thiết kế, chế tạo van luôn mong muốn quan hệ Q - x là tuyến tính, ngay cả các loại van điện thủy lực quan hệ giữa lưu lượng Q và dòng điện điều khiển van i , người ta cũng mong muốn là tuyến tính như ở hình 1.3b.

$$Q = K \cdot \frac{i}{i_{max}} \sqrt{P} \quad \text{với } 0 < i < i_{max} \quad (1.19)$$



Hình 1.3. Đồ thị quan hệ giữa Q và x , Q và i của van trượt điều khiển

a - Đặc tính thực; b - Đặc tính lý thuyết hoặc đã tuyến tính hoá.

1.1.3. Các mạch thủy lực thường gặp

1. Mạch thủy lực có các tiết diện chảy ghép nối tiếp (hình 1.4)

Hiệu áp trên mạch nối tiếp hình 1.4a xác định là :

$$P_s = P_1 + P_2 + \dots + P_i + P_n \quad (1.20)$$

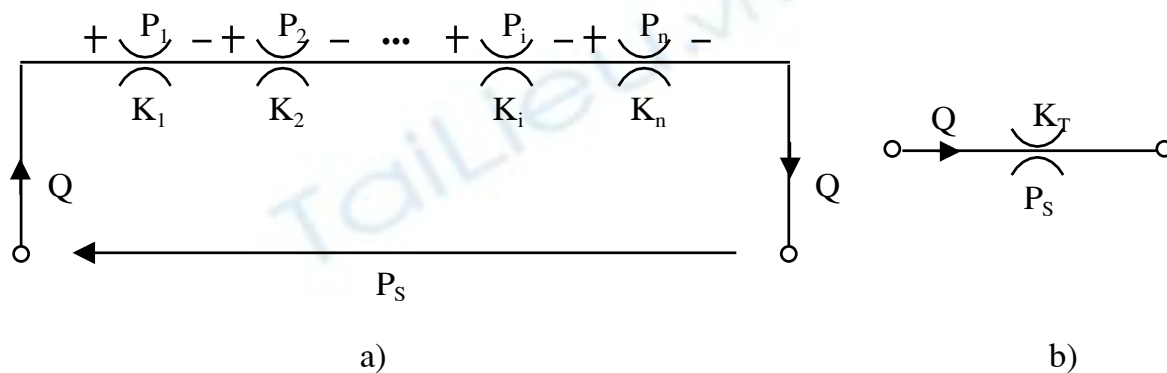
Tức là hiệu áp bằng tổng các hiệu áp thành phần.

Như ta biết với dòng chảy rối thì : $Q = K_i \sqrt{P_i}$ hay $P_i = \frac{Q^2}{K_i^2}$ (1.21)

Thay (1.21) vào (1.20) ta có :

$$P_S = \frac{Q^2}{K_1^2} + \frac{Q^2}{K_2^2} + \dots + \frac{Q^2}{K_i^2} + \frac{Q^2}{K_n^2} = Q^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i^2}$$
 (1.22)

hay : $P_S = Q^2 \cdot \frac{1}{K_T^2}$ Với $K_T = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i^2}}}$ (1.23)



Hình 1.4. Sơ đồ ghép nối tiếp

a - Sơ đồ ghép nối tiếp; b - Sơ đồ tương đương.

Hoặc nếu thay (1.23) vào (1.21) thì :

$$P_i = P_S \cdot K_T^2 \cdot \frac{1}{K_i^2} = \frac{P_S}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i^2}} \cdot \frac{1}{K_i^2}$$
 (1.24)

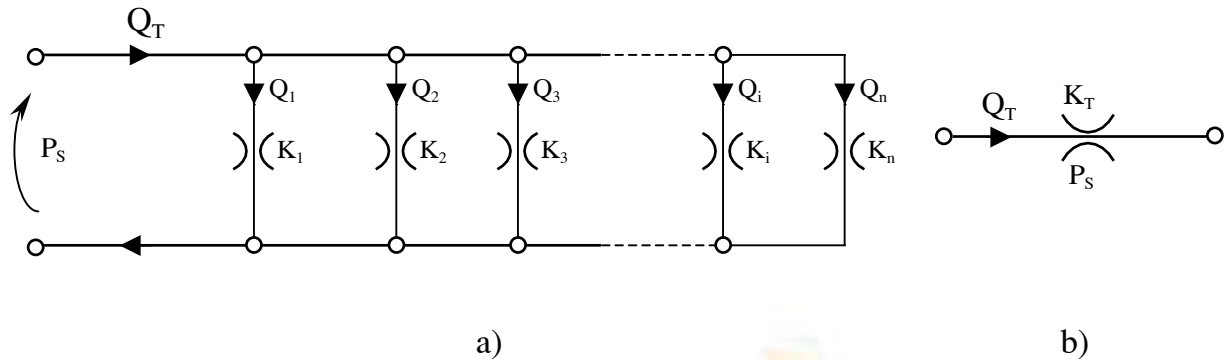
Như vậy mạch thủy lực chảy rối có các tiết diện chảy ghép nối tiếp như ở hình 1.4a sẽ tương đương với mạch thủy lực có một tiết diện chảy như ở hình 1.4b và có hệ số K_T xác định theo công thức (1.23).

2. Mạch thủy lực có các tiết diện chảy ghép song song (hình 1.5)

Khi các tiết diện chảy ghép song song thì lưu lượng tổng cộng bằng tổng các lưu lượng thành phần, nghĩa là :

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_i + Q_n$$
 (1.25)

hay : $Q_T = K_1 \cdot \sqrt{P_S} + K_2 \cdot \sqrt{P_S} + K_3 \cdot \sqrt{P_S} + \dots + K_i \cdot \sqrt{P_S} + K_n \cdot \sqrt{P_S} = K_T \cdot \sqrt{P_S}$ (1.26)



Hình 1.5. Sơ đồ ghép song song

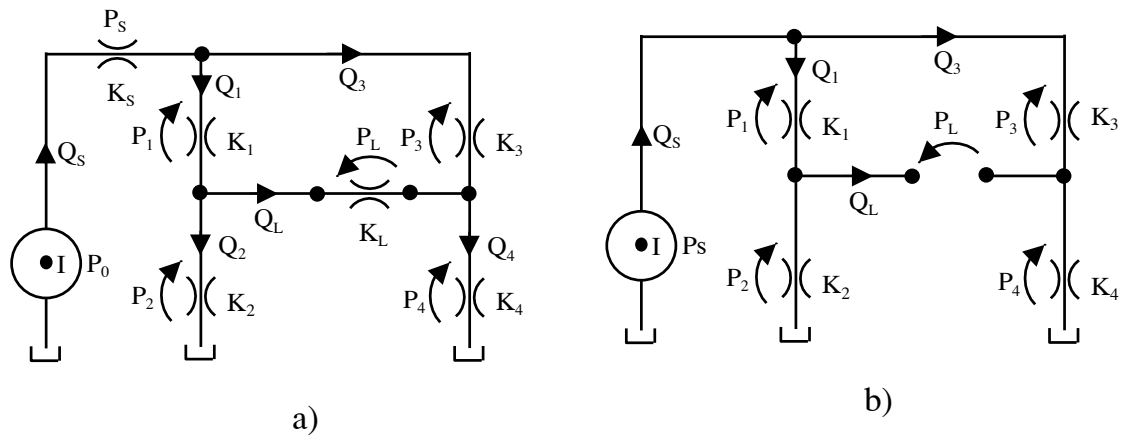
a - Sơ đồ ghép song song; b - Sơ đồ tương đương.

trong đó :

$$K_T = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_i + K_n = \sum_{i=1}^n K_i \quad (1.27)$$

Như vậy, khi có n tiết diện chảy ghép song song có thể thay thế bằng 1 tiết diện chảy có hệ số K_T bằng tổng các giá trị K_i thành phần. Mô hình trên hình 1.5a được thay bằng một mô hình tương đương như ở hình 1.5b.

3. Mạch thủy lực có các tiết diện chảy ghép phối hợp



Hình 1.6. Sơ đồ ghép phối hợp

a- Sơ đồ có nhánh liên kết K_L ; b- Sơ đồ không có nhánh liên kết.

Mạch phối hợp trên hình 1.6a còn gọi là mạch bắc cầu, trên đó có 7 giá trị tổn thất áp suất và 6 giá trị lưu lượng. Giá trị của hệ số K_L của nhánh bắc cầu quyết định giá trị lưu

lượng đi qua Q_L . Mạch này thường thấy trong các van điện- thủy lực, con trượt của van được điều khiển bằng điện từ có sự phối hợp của ống phun dầu.

Phương trình liên tục của lưu lượng là :

$$Q_s = Q_1 + Q_3 ; Q_2 = Q_1 - Q_L ; Q_4 = Q_L + Q_3 \quad (1.28)$$

Phương trình cân bằng áp suất là :

$$P_0 = P_s + P_1 + P_2 ; P_1 = P_3 - P_L ; P_2 = P_L + P_4 \quad (1.29)$$

trong đó :

$$P_s = \frac{Q_s^2}{K_s^2} ; P_1 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} ; P_2 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} ; P_3 = \frac{Q_3^2}{K_3^2} ; P_4 = \frac{Q_4^2}{K_4^2} ; P_L = \frac{Q_L^2}{K_L^2} \quad (1.30)$$

Thay (1.28) và (1.30) vào (1.29) ta có :

$$P_0 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} + \frac{(Q_1 - Q_L)^2}{K_2^2} + \frac{Q_s^2}{K_s^2} ; \quad \frac{Q_1^2}{K_1^2} = \frac{Q_3^2}{K_3^2} - \frac{Q_L^2}{K_L^2}$$

$$\frac{(Q_1 - Q_L)^2}{K_2^2} = \frac{Q_L^2}{K_L^2} + \frac{(Q_L + Q_3)^2}{K_4^2} \quad (1.31)$$

hoặc :

$$P_0 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} + \frac{(Q_1 - Q_L)^2}{K_2^2} + \frac{Q_s^2}{K_s^2} ; \quad \frac{Q_1^2}{K_1^2} - \frac{Q_3^2}{K_3^2} + \frac{Q_L^2}{K_L^2} = 0 \quad (1.32)$$

$$-\frac{(Q_1 - Q_L)^2}{K_2^2} + \frac{Q_L^2}{K_L^2} + \frac{(Q_L + Q_3)^2}{K_4^2} = 0$$

Nếu coi sức cản thủy lực ở tiết diện K_s bằng không tức là $K_s = \infty$ và sức cản ở tiết diện K_L bằng vô cùng, tức là $K_L = 0$ thì hai nhánh ghép song song bị ngăn cách ($Q_L = 0$); Khi đó sơ đồ trên hình 1.6a sẽ đơn giản hơn và được thể hiện ở hình 1.6b, quan hệ áp suất sẽ xác định là :

$$P_2 = P_s \cdot \frac{K_1^2}{K_1^2 + K_2^2} \quad (1.33)$$

$$P_4 = P_s \cdot \frac{K_3^2}{K_3^2 + K_4^2} \quad (1.34)$$

$$P_L = P_2 - P_4 \quad (1.35)$$

Nếu thay (1.33) và (1.34) vào (1.35) thì :

$$P_L = P_s \cdot \left[\frac{K_1^2}{K_1^2 + K_2^2} - \frac{K_3^2}{K_3^2 + K_4^2} \right] \quad (1.36)$$

Khi mối liên kết có áp suất cân bằng ($P_L = 0$), ta có :

$$\frac{K_1^2}{K_1^2 + K_2^2} = \frac{K_3^2}{K_3^2 + K_4^2} \quad \text{hoặc} \quad K_1 \cdot K_4 = K_2 \cdot K_3 \quad (1.37)$$

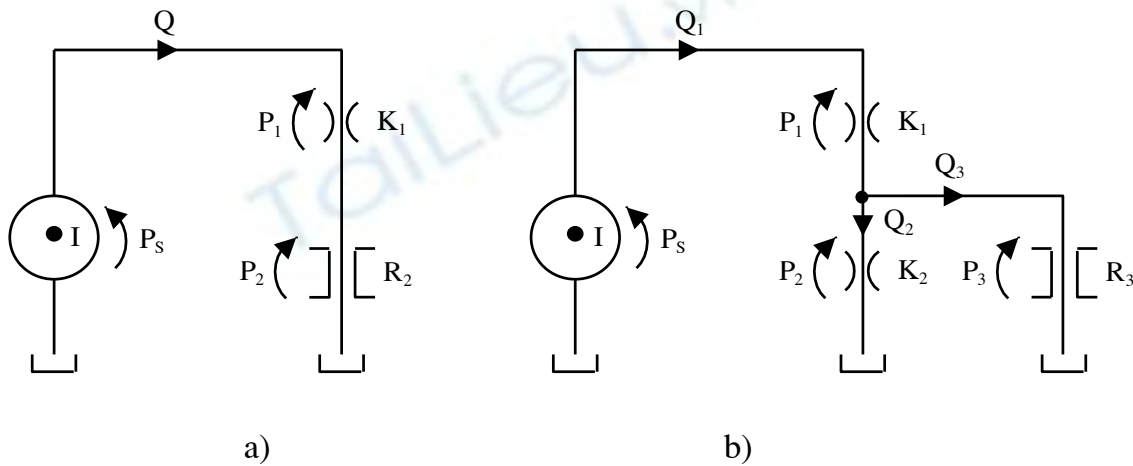
Loại mạch thủy lực có các hệ số xác định theo công thức (1.37) này hay gặp ở van trượt điều khiển.

4. Mạch thủy lực vừa chảy tầng vừa chảy rối

- Trường hợp ghép nối tiếp (hình 1.17a)

$$P_s = P_1 + P_2 \quad (1.38)$$

trong đó : $P_1 = \frac{Q^2}{K_1^2}$; $P_2 = R_2 \cdot Q$



Hình 1.7. Sơ đồ mạch thủy lực vừa chảy tầng vừa chảy rối

a- Sơ đồ ghép nối tiếp; b- Sơ đồ ghép nối tiếp kết hợp với ghép song song.

hay : $P_s = \frac{Q^2}{K_1^2} + R_2 \cdot Q$

$$Q^2 + R_2 \cdot K_1^2 \cdot Q - K_1^2 P_s = 0 \quad (1.39)$$

Phương trình (1.39) là phương trình bậc hai theo Q, nghiệm của nó là :

$$Q = -\frac{R_2 \cdot K_1^2}{2} \pm \sqrt{R_2^2 \cdot K_1^4 + 4 \cdot K_1^2 \cdot P_s} \quad (1.40)$$

- Trường hợp vừa ghép nối tiếp vừa ghép song song (hình 1.7b)

Phương trình cân bằng lưu lượng là :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (1.41)$$

Phương trình cân bằng áp suất là :

$$P_S = P_1 + P_2 \text{ và } P_2 = P_3 \quad (1.42)$$

trong đó :

$$P_1 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} ; P_2 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} \text{ và } P_3 = R_3 \cdot Q_3 \quad (1.43)$$

Thay (1.41) và (1.43) vào (1.42) ta có :

$$P_S = \frac{(Q_2 + Q_3)^2}{K_1^2} + \frac{Q_2^2}{K_2^2} \text{ và } \frac{Q_2^2}{K_2^2} = R_3 \cdot Q_3$$

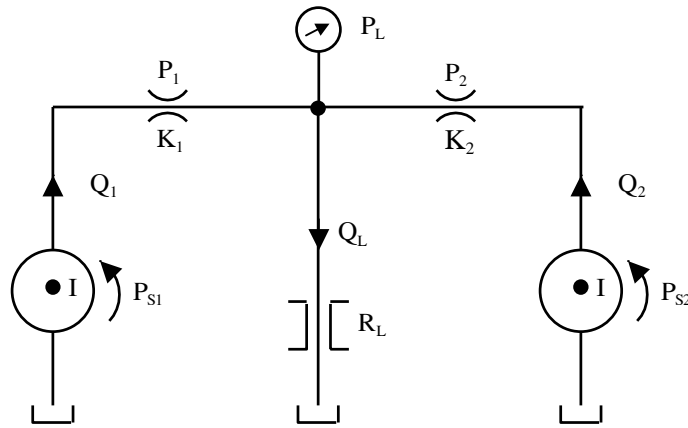
hoặc :

$$P_S = \frac{\left(Q_2 + \frac{Q_2^2}{K_2^2 \cdot R_3}\right)^2}{K_1^2} + \frac{Q_2^2}{K_2^2} \quad (1.44)$$

Khai triển (1.44) sẽ cho ta phương trình bậc 4 đối với Q_2 :

$$Q_2^4 + 2 \cdot Q_2^3 \cdot K_2^2 \cdot R_3 + Q_2^2 \left[\frac{1}{K_1^2} + \frac{1}{K_2^2} \right] \cdot K_2^4 \cdot K_1^2 \cdot R_3^2 - P_S \cdot K_2^4 \cdot K_1^2 \cdot R_3^2 = 0 \quad (1.45)$$

- Mạch thủy lực có hai nguồn áp suất (hình 1.8)



Hình 1.8. Sơ đồ mạch thủy lực có hai nguồn áp suất

Phương trình cân bằng lưu lượng :

$$Q_1 + Q_2 = \frac{P_L}{R_L} = Q_L \quad (1.46)$$

Ngoài ra ta còn có quan hệ giữa áp suất và lưu lượng của dòng chảy rối là :

$$\frac{Q_1^2}{K_1^2} = P_{S1} - P_L \quad \text{và} \quad \frac{Q_2^2}{K_2^2} = P_{S2} - P_L \quad (1.47)$$

Thay (1.47) vào (1.46) ta được :

$$K_1 \cdot \sqrt{P_{S1} - P_L} + K_2 \cdot \sqrt{P_{S2} - P_L} = \frac{P_L}{R_L} \quad (1.48)$$

Mặt khác : $P_{S1} = P_1 + P_L$ và $P_{S2} = P_2 + P_L$ (1.49)

với : $P_1 = \frac{Q_1^2}{K_1^2}$; $P_2 = \frac{Q_2^2}{K_2^2}$ và $P_L = (Q_1 + Q_2) \cdot R_L$ (1.50)

Thay (1.50) vào (1.49) ta được các phương trình sau :

$$P_{S1} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} + (Q_1 + Q_2) \cdot R_L \quad (1.51)$$

$$P_{S2} = \frac{Q_2^2}{K_2^2} + (Q_1 + Q_2) \cdot R_L \quad (1.52)$$

Nếu khai triển các phương trình trên sẽ cho ta phương trình bậc 4 đối với Q_1 hoặc Q_2 .

1.2. PHÂN TÍCH VÀ TÍNH TOÁN VAN TRƯỢT ĐIỀU KHIỂN

1.2.1. Mô hình tính toán tải trọng của con trượt

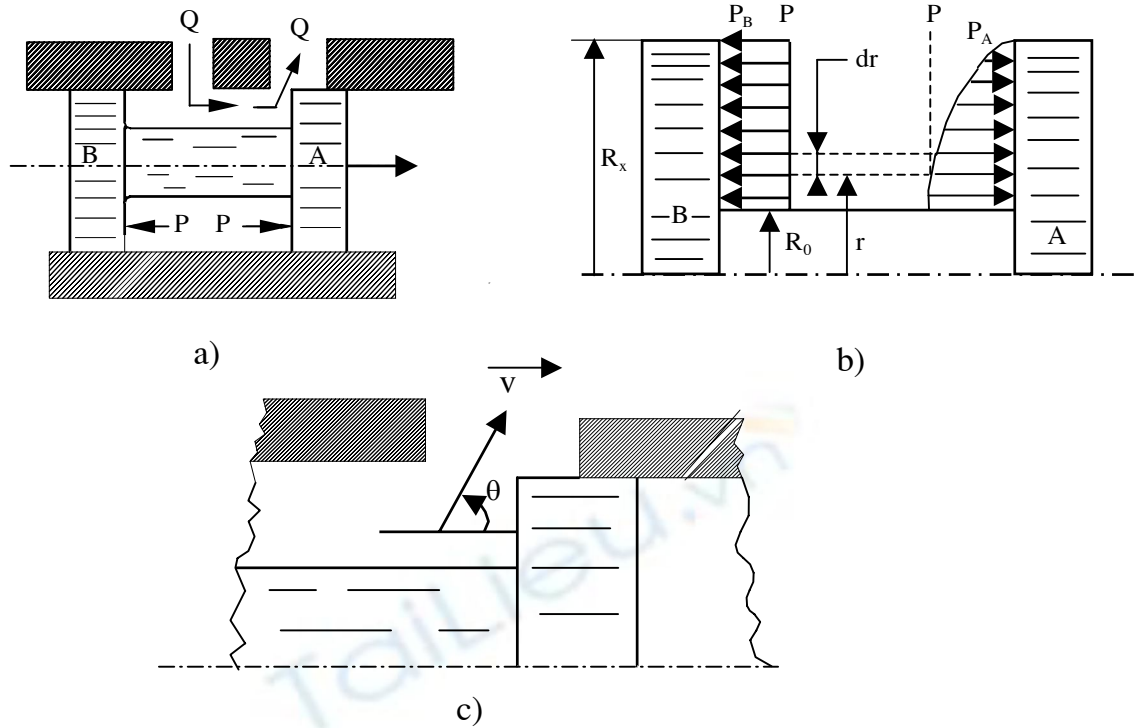
Van trượt điều khiển là một bộ phận rất quan trọng trong mạch điều khiển thủy lực, chúng có nhiều loại, mỗi loại có những đặc điểm về kết cấu và tính toán riêng. Nói chung van trượt điều khiển rất phức tạp về mặt kết cấu và tính toán. Hiện nay có nhiều công trình nghiên cứu về vấn đề này. Phần này chỉ giới thiệu những tính toán cần thiết cho nghiên cứu van trượt điều khiển.

Khi con trượt di chuyển theo hướng x, cửa ra của van mở, chất lỏng đi qua cửa ra và có vectơ vận tốc hợp với trục con trượt một góc là θ (hình 1.9a, c). Áp suất thủy tĩnh tác động lên con trượt sẽ phân bố như trên hình 1.9b. Ở cửa vào B áp suất tác động lên con trượt phân bố đều, ở cửa ra A áp suất thay đổi theo quy luật bậc hai giảm dần gần phía mép cửa ra.

Lực tác dụng lên con trượt ở phía B : $f_B = \int_{R_0}^{R_x} P_B \cdot dA$ (1.53)

Vì áp suất phân bố đều trên toàn bộ bề mặt của con trượt nên :

$$f_B = P_B \cdot F_B \quad \text{với} \quad P_B = P \quad (1.54)$$



Hình 1.9. Sơ đồ tính toán lực chiều trục của con trượt điều khiển

- a- Sơ đồ nguyên lý làm việc của con trượt;
- b- Sơ đồ thể hiện sự phân bố áp suất trên con trượt;
- c- Sơ đồ thể hiện hướng chuyển động của dầu ở mép điều khiển.

Lực tác dụng lên con trượt ở phía A :

$$f_A = \int_{R_0}^{R_x} P_A \cdot dA \quad (1.55)$$

Vì chất lỏng đi qua khe hẹp của van làm áp suất giảm xuống nên :

$$f_B > f_A \text{ tức là } f_B - f_A = f_Q > 0 \quad (1.56)$$

Do có lực chiều trục f_Q mà con trượt có xu hướng đóng van.

Trong các công thức trên các ký hiệu có ý nghĩa như sau :

F_B, F_A - diện tích hình vành khăn của con trượt có bán kính trong là R_0 , và bán kính ngoài là R_x ;

dA - vi phân của diện tích hình vành khăn có bán kính trong là r và bán kính ngoài là $r + dr$.

Lực chiều trục f_Q được xác định theo công thức sau :

$$f_Q = f_B - f_A = Q \cdot v \cdot \rho \cdot \cos\theta \quad (1.57)$$

$$Q = C_Q \cdot F_A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad \text{hay} \quad \frac{Q}{C_Q \cdot F_A} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} = v \quad (1.58)$$

Thay (1.58) vào (1.57) thì : $f_Q = C_Q \cdot \sqrt{2 \cdot \rho} \cdot Q \cdot \sqrt{\Delta P} \cdot \cos\theta$

hoặc : $f_Q = K_Q \cdot Q \cdot \sqrt{\Delta P} \cdot \cos\theta \quad (1.59)$

trong đó : v - vận tốc chất lỏng ở cửa hẹp;

ρ - tỷ trọng của chất lỏng;

$K_Q = C_Q \cdot \sqrt{2 \cdot \rho}$ - hệ số;

ΔP - hiệu áp trước và sau cửa hẹp;

C_Q - hệ số phụ thuộc vào kết cấu hình học của tiết diện chảy;

θ - góc hợp bởi vectơ vận tốc ở cửa ra của dòng chất lỏng với trục con trượt.

Góc θ phụ thuộc vào kết cấu hình học của các mép ra của van.

Như vậy, do tiết diện chảy thay đổi đột ngột gây ra hiệu ứng thủy động làm cho áp suất của chất lỏng tác dụng lên bề mặt của con trượt ở phía A và B không cân bằng nhau. Khi thiết kế van cần có biện pháp để cân bằng lực chiều trục f_Q .

1.2.2. Mô hình ổn định con trượt của van bằng thủy lực kết hợp với lò xo (hình 1.10)

Hình 1.10 trình bày loại van trượt 2 cửa và 2 vị trí, trong đó có đường dẫn dầu phụ kết hợp với lò xo để cân bằng vị trí điều khiển của con trượt.

Phương trình cân bằng con trượt là :

$$P_S A_P - P_T \cdot A_M - f_Q - K_S \cdot (x + x_0) = m_S \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (1.60)$$

trong đó : m_S - khối lượng của con trượt;

x - lượng dịch chuyển của con trượt;

x_0 - lượng dịch chuyển ban đầu của lò xo;

K_S - độ cứng lò xo;

f_Q - lực thủy động theo tính theo công thức (1.59);

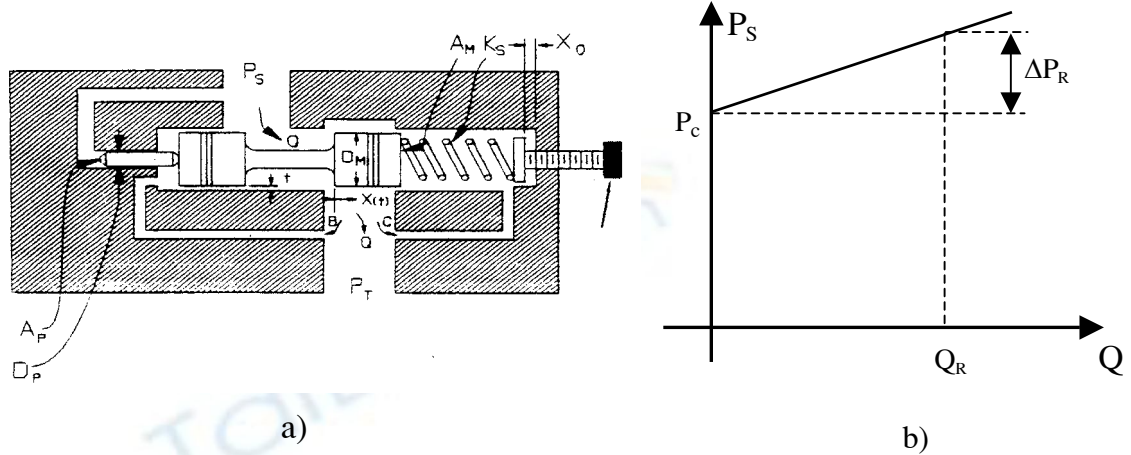
A_P và A_M - diện tích bề mặt chịu áp suất của chốt và của con trượt.

Nếu con trượt ở vị trí cân bằng thì $\frac{d^2 x}{dt^2} = 0$ và phương trình (1.60) sẽ là :

$$P_S \cdot A_P - P_T \cdot A_M - f_Q - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.61)$$

Thay $Q = K_0 \cdot A(x) \cdot \sqrt{P_S - P_T}$ vào (1.59) sau đó thay f_Q vào (1.61) ta được :

$$P_S \cdot A_P - P_T \cdot A_M - K_Q \cdot A(x) \cdot (P_S - P_T) \cdot \cos\theta - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.62)$$



Hình 1.10. Sơ đồ van trượt điều khiển có con trượt được cân bằng nhờ kết hợp giữa thủy lực và lò xo

a- Sơ đồ nguyên lý hoạt động; b- Đặc tính P - Q của van.

Giả sử áp suất ở cửa ra $P_T \approx 0$ thì :

$$P_S \cdot A_P - K_Q \cdot A(x) \cdot P_S \cos\theta - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.63)$$

Phương trình (1.62) hoặc (1.63) là cơ sở để thiết kế kết cấu van loại như trên.

Trong các công thức trên $A(x)$ là tiết diện chảy của dầu qua van, nó được xác định như sau :

$$A(x) = \pi D_M \cdot x \quad (1.64)$$

và :
$$A_{\max} = A(x_{\max}) = \pi D_M \cdot x_{\max} \quad (1.65)$$

Tương ứng với di chuyển lớn nhất của con trượt (x_{\max}) sẽ cho lưu lượng lớn nhất Q_R :

$$Q_R = K_0 \cdot \pi \cdot D_M \cdot x_{\max} \cdot \sqrt{P_S - P_T} \quad (1.66)$$

với :
$$P_S - P_T = P_C + \Delta P_R$$

trong đó : P_C - áp suất tương ứng với trạng thái van đóng;

ΔP_R - giá trị gia tăng của áp suất tương ứng với van mở lớn nhất.

Đặc tính $P_S - Q$ của van trượt điều khiển thể hiện ở hình 1.10b.

Trường hợp khi $x = 0$, $P_S = P_C$ và $P_T \approx 0$ thì công thức (1.63) sẽ là :

$$P_C \cdot A_P = K_S \cdot x_0 \quad (1.67)$$

Khi đó sẽ tương ứng với van đóng.

1.2.3. Mô hình tính toán van giảm áp kiểu con trượt

Mô hình tính toán van giảm áp kiểu con trượt được thể hiện trên hình 1.11. Phương trình cân bằng con trượt của van là :

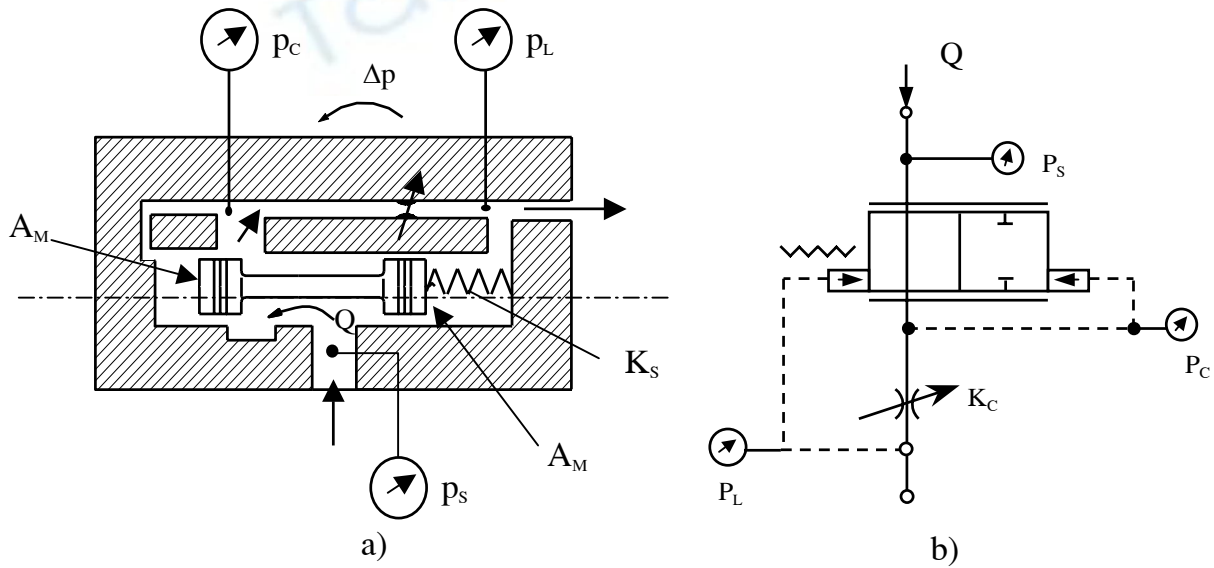
$$P_C \cdot A_M + f_Q - P_L \cdot A_M - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.68)$$

Phương trình cân bằng lưu lượng là :

$$Q = K_0 \cdot A(x) \cdot \sqrt{P_S - P_C} = K_C \cdot \sqrt{P_C - P_L} \quad (1.69)$$

Nếu $P_L \approx 0$ thì : $Q = K_C \cdot \sqrt{P_C}$ hay $P_C = \frac{Q^2}{K_C^2}$

Ta còn có : $f_Q = K_Q \cdot Q \cdot \sqrt{P_S - P_C} \cdot \cos\theta(x)$



Hình 1.11. Van giảm áp kiểu con trượt

a- Sơ đồ nguyên lý làm việc; b- Sơ đồ ký hiệu.

Nên công thức (1.68) viết lại là :

$$P_C \cdot A_M + K_Q \cdot Q \cdot \sqrt{P_S - P_C} \cdot \cos\theta(x) - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.70)$$

hoặc : $\frac{Q^2}{K_C^2} \cdot A_M + \frac{K_Q \cdot Q^2 \cdot \cos\theta(x)}{K_0 \cdot A(x)} - K_S \cdot (x + x_0) = 0$

$$\text{Do đó : } Q = \frac{K_S \cdot (x + x_0)}{\frac{A_M}{K_C} + \frac{K_Q \cdot \cos \theta(x)}{K_0 \cdot A(x)}} \quad (1.71)$$

1.2.4. Mô hình phân tích mạch thủy lực của van trượt điều khiển

1- Giới thiệu và ký hiệu các loại van trượt điều khiển

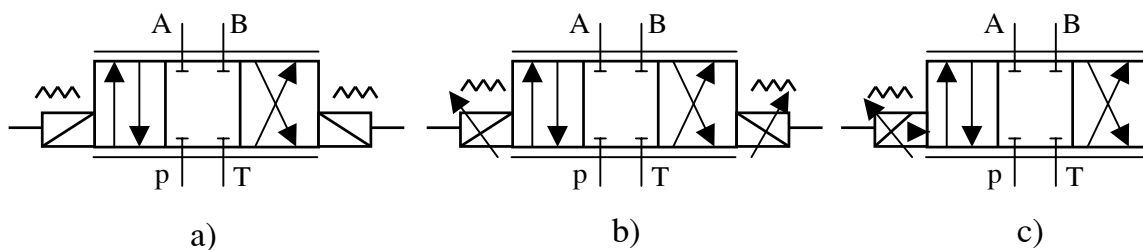
Van trượt điện thủy lực là bộ phận quan trọng trong hệ thống điều khiển tự động thủy lực vì các chỉ tiêu chất lượng của van ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng hệ thống điều khiển. Mỗi loại và mỗi hãng chế tạo đều có chất lượng khác nhau, hiện nay có rất nhiều hãng chế tạo nổi tiếng như hãng Mooc và Parker của Mỹ, hãng Peoto của Đức...

Van điện- thủy lực được chia thành ba loại chính sau đây :

- *Van trượt đóng mở thông thường (hay gọi là valve-solenoid)*. Loại van này chỉ làm nhiệm vụ đóng mở hoặc đảo hướng chuyển động của dầu (hình 1.12a) và thường được dùng trong các mạch điều khiển logic hoặc khoá khống chế.

- *Van tỷ lệ (proportional-valve)*. Loại này có khả năng điều chỉnh được vô cấp vị trí của con trượt nhằm cung cấp dầu cho cơ cấu chấp hành theo yêu cầu sử dụng. Để điều khiển con trượt di chuyển dọc trục người ta sử dụng hai nam châm điện bố trí đối xứng (hình 1.12b).

- *Van servo (servo-valve)*. Tương tự như van tỷ lệ, van servo có thể thay đổi vị trí con trượt một cách vô cấp với độ nhạy cao. Để điều khiển con trượt người ta sử dụng một nam châm điện kết hợp với hệ thống phun dầu có kết cấu đối xứng. Nhờ sự hoàn thiện về kết cấu mà loại van này có chất lượng điều khiển cao nhất hiện nay. Ký hiệu của van servo được giới thiệu ở hình 1.12c.



Hình 1.12. Ký hiệu các loại van trượt điều khiển theo tiêu chuẩn ISO (loại 4 cửa và 3 vị trí)

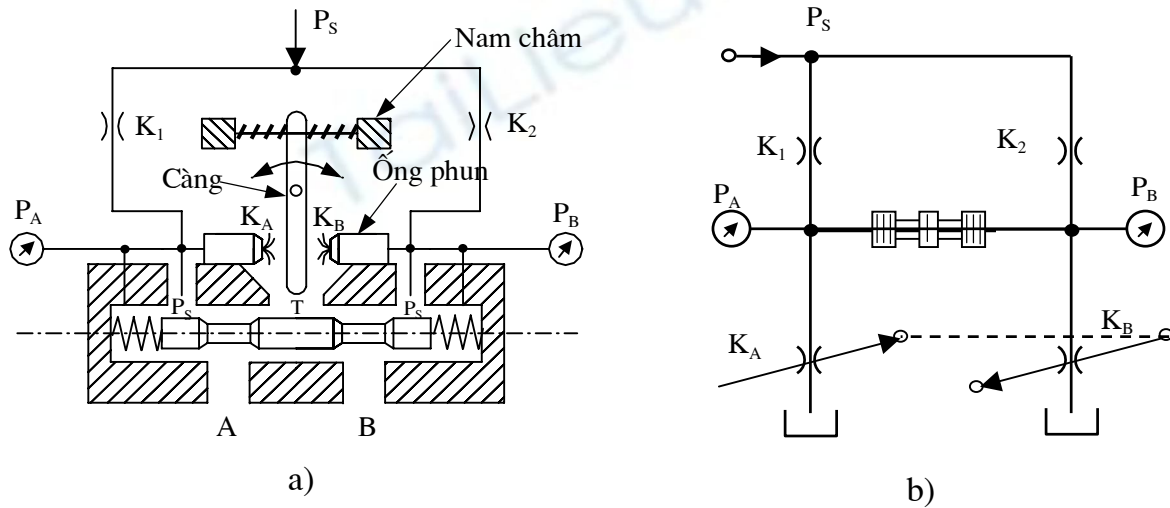
a- Ký hiệu van solenoid; b- Ký hiệu van tỷ lệ; c- Ký hiệu van servo.

P - Thể hiện áp suất cung cấp cho van; T - Thể hiện áp suất về bể dầu (đôi khi ký hiệu là R); A và B - Ký hiệu 2 đường dầu nối với xy lanh hoặc động cơ dầu.

Cấu tạo và nguyên lý làm việc của van sẽ giới thiệu kỹ ở các chương sau.

2- Mô hình phân tích mạch thủy lực của van

Ví dụ van servo có sơ đồ nguyên lý thể hiện ở hình 1.13a. Khi nam châm hoạt động thì còng sẽ quay làm cho khe hở giữa còng và ống phun thay đổi, dẫn đến hệ số K_A và K_B thay đổi, áp suất P_A và P_B cũng sẽ thay đổi theo. Sự thay đổi của P_A và P_B sẽ làm cho lực tác dụng lên con trượt mất cân bằng, dẫn đến con trượt di chuyển và điều khiển được tiết diện chảy của dầu qua van. Sơ đồ nguyên lý này được mô hình hoá thành mạch thủy lực như ở hình 1.13b. Đây là mạch phối hợp giữa nối tiếp và song song như đã phân tích ở mục 1.1. Trong đó, K_A và K_B có quan hệ liên động, khi K_A tăng thì K_B giảm và ngược lại.



Hình 1.13. Sơ đồ nguyên lý và mô hình mạch thủy lực của van servo

a- Sơ đồ nguyên lý;

b- Mô hình mạch thủy lực.

Hình 1.14 là một ví dụ khác về van trượt có 4 mép điều khiển.

Các hệ số $K_{P,A}$, $K_{P,B}$, K_{A-T} và K_{B-T} đều có quan hệ chặt chẽ với nhau. Khi $K_{P,A}$ tăng thì K_{B-T} tăng và $K_{P,B}$, K_{A-T} giảm. Sơ đồ của van này được mô hình hoá thành mạch thủy lực như trên hình 1.14b.