

1. FLOW SENSOR - Đo Lưu lượng

Các phương pháp đo lưu lượng:

Trong cuộc sống hàng ngày cũng như trong công nghiệp, đo lưu lượng là một trong những phép đo được sử dụng rộng rãi nhất. Chúng ta có khá nhiều nguyên lý đo lưu lượng và hầu hết các nguyên lý đo đều cho kết quả khá chính xác. Sau đây là một số phương pháp đo cơ bản và khá phổ biến:

- + Đo lưu lượng thể tích (Volumetric Flow-rate)
 - Đo lưu lượng theo nguyên lý chênh áp.
 - Đo lưu lượng theo nguyên lý turbine.
 - Đo lưu lượng theo nguyên lý điện từ.
 - Đo lưu lượng theo nguyên lý Vortex.
 - Đo lưu lượng theo nguyên lý chiếm chỗ PD
 - Đo lưu lượng theo nguyên lý siêu âm (ultrasonics)
- + Đo lưu lượng khối lượng (Mass Flow-rate):
 - Đo lưu lượng theo nguyên lý gia nhiệt.
 - Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis.

1.1 Đo lưu lượng theo phương pháp chênh áp (Differential Pressure)

1.1.1) Nguyên lý đo:

□ Đây là nguyên lý đo được sử dụng rộng rãi nhất trong các ngành công nghiệp quá trình (process industry).

Nguyên lý đo này dựa trên phương trình tính lưu lượng thể tích:

$$Q = K \sqrt{\Delta P}$$

Với Q : lưu lượng thể tích

K : hệ số

ΔP : chênh áp

□ Theo đó, người ta sẽ sử dụng các thiết bị tạo chênh áp bằng cách thay đổi tiết diện ngang của ống (theo hướng nhỏ lại) như:

- Tấm Orifice
- Venturi and flow tube
- Pilot tube
- Elbow meters
- Flow nozzle

Để có thể tính toán ra lưu lượng của lưu chất từ chênh áp ΔP người ta sử dụng một transmitter chênh áp. Transmitter này có 2 đầu vào áp suất tương ứng với áp suất cao nhất tại điểm khi tiết diện ngang của ống chưa thay đổi và áp suất thấp nhất tại điểm dòng chảy có tiết diện ngang nhỏ nhất. Để đo được lưu lượng chính xác nhất thì việc lắp đặt điểm lấy áp suất cần tuân thủ các yêu cầu kỹ thuật liên quan đến hướng dòng chảy, đường kính ống, vị trí và khoảng cách giữa hai điểm đo áp suất...

1.1 Đo lưu lượng theo phương pháp chênh áp (Differential Pressure)

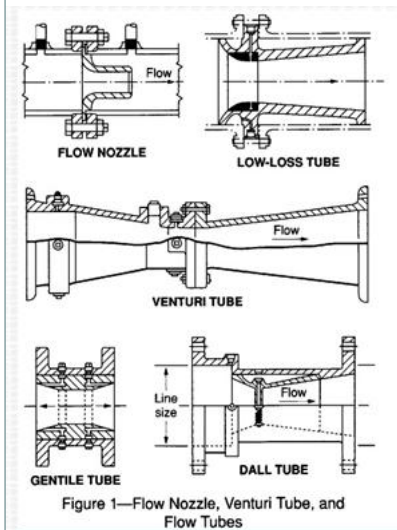


Figure 1—Flow Nozzle, Venturi Tube, and Flow Tubes



Thiết bị đo lưu lượng dạng chênh áp

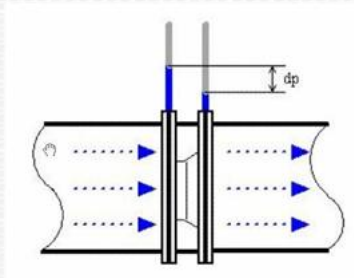
1.1 Đo lưu lượng theo phương pháp chênh áp (Differential Pressure)



1.1.2 Các loại đo thiết bị đo lưu lượng bằng nguyên lý chênh áp:

a) Tấm Orifice:

Tấm Orifice là những đĩa kim loại, tương đối bằng phẳng được đục những lỗ có kích thước xác định. Hình dạng có nhiều dạng khác nhau: hình tròn, ovan, bán nguyệt hay hình côn.



Do dòng chảy tồn tại cả 2 pha (lỏng và khí) sẽ ảnh hưởng đến kết quả đo. Để loại bỏ điều này người ta sử dụng tấm Orifice có đục lỗ. Theo đó, nếu lưu chất là chất khí thì tấm Orifice sẽ được đục lỗ ở phía đáy dòng chảy (để lỏng có thể đi qua) và nếu lưu chất là chất lỏng thì tấm Orifice được đục lỗ ở phía trên dòng chảy.

1.1 Đo lưu lượng theo phương pháp chênh áp (Differential Pressure)

Ưu điểm:

- Độ ổn định tốt
- Dễ dàng lắp đặt và bảo trì
- Chỉ cần sử dụng chung 1 loại transmitter mà không cần quan tâm đến kích thước của đường ống.
- Giá thành thấp

Nhược điểm:

- Turndown thấp

1.1 Đo lưu lượng theo phương pháp chênh áp (Differential Pressure)

b) Ống Venturi:

Có thể đo được lưu lượng lớn chất lỏng với mức giảm áp lực thấp. Nó là một ống có đầu vào nhỏ dần và sau đó là một đoạn thẳng. Khi chất lỏng đi qua phần nhỏ dần, vận tốc của nó sẽ tăng lên và áp suất sẽ giảm. Sau đoạn ống thẳng, vận tốc sẽ giảm dần và áp suất sẽ tăng. Ta sẽ đo áp suất tại 2 điểm:

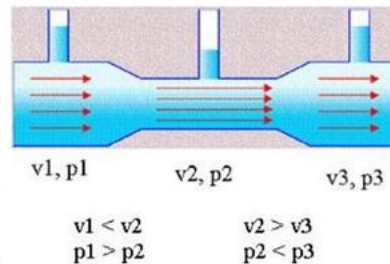
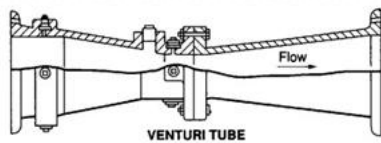
- Trước đoạn thu hẹp.
- Sau đoạn ống thẳng (tức là trước khi ống được mở rộng).

Ưu điểm: - Độ chính xác, độ tin cậy cao.

- Có thể dùng cho lưu chất dạng vữa hoặc chất lỏng có nhiều tạp chất.
- Chỉ cần sử dụng chung 1 loại transmitter mà không cần quan tâm đến kích thước của đường ống.

Nhược điểm:

- Giá thành cao
- Quá trình lắp đặt cần có thêm giá đỡ
- Đoạn ống lắp đặt thiết bị phải là đoạn ống thẳng.



1.1 Đo lưu lượng theo phương pháp chênh áp (Differential Pressure)

c) Pilot tube:

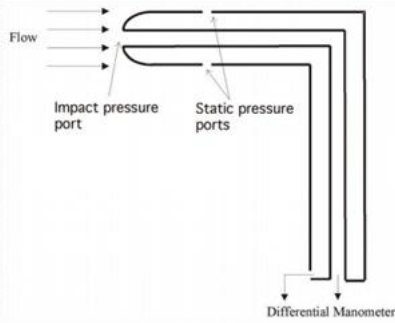


Figure 1: Basic operation of a Pitot-static tube.

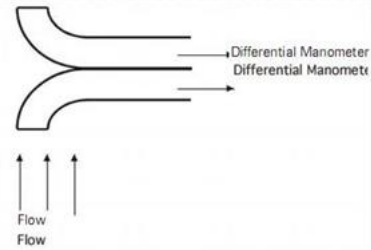


Figure 2: The S Type Pitot tube.

Ống pilot được sử dụng khi áp suất giảm nhỏ nhất và không yêu cầu độ chính xác cao.

Ưu điểm:

- Giá thành thấp
- Chỉ cần sử dụng chung 1 loại transmitter mà không cần quan tâm đến kích thước của đường ống.

1.1 Đo lưu lượng theo phương pháp chênh áp (Differential Pressure)

Nhược điểm:

- Yêu cầu mức độ chênh áp không quá lớn.
- Độ chính xác phụ thuộc vào thông số của dòng chảy
- Đoạn ống lắp đặt thiết bị phải là đoạn ống thẳng

d) Elbow meters:

Được sử dụng lắp đặt tại những nơi mà dòng chảy có tốc độ ổn định và không yêu cầu độ chính xác cao

Ưu điểm:

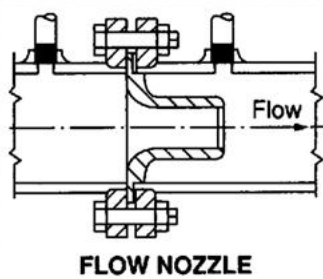
- Độ tin cậy tốt
- Giá thành sản phẩm không cao
- Dễ dàng lắp đặt
- Có khả năng đo 2 chiều
- Tồn thất áp suất thấp
- Chỉ cần sử dụng chung 1 loại transmitter mà không cần quan tâm đến kích thước của đường ống.

Nhược điểm:

- Chỉ sử dụng đối với dòng chảy có vận tốc thấp, tốc độ ổn định
- Có độ chính xác thấp
- Mức chênh áp thấp

1.1 Đo lưu lượng theo phương pháp chênh áp (Differential Pressure)

e) Flow Nozzles:



Loại Flow Nozzles thường ít được sử dụng hơn so với loại tâm Orifice.

Ưu điểm:

- Độ ổn định tốt
- Chỉ cần sử dụng chung 1 loại transmitter mà không cần quan tâm đến kích thước của đường ống.

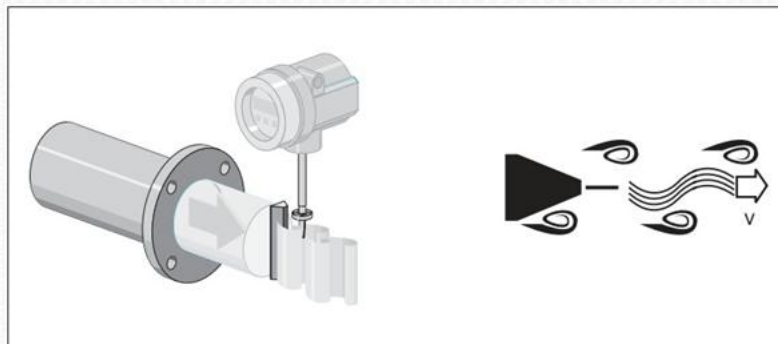
Nhược điểm:

- Đoạn ống lắp đặt thiết bị phải là đoạn ống thẳng.
- Giá thành cao.
- Cần phải có thiết bị calibration để hiệu chỉnh.

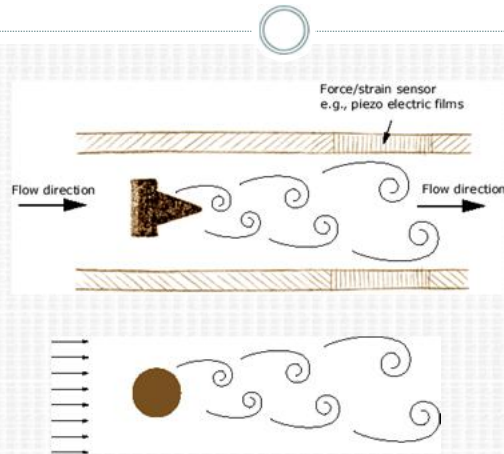
1.2 Đo lưu lượng theo nguyên lý Vortex

1.2.1 Nguyên lý đo:

Nguyên lý đo này cũng được sử dụng đối với lưu chất là lỏng, hơi hoặc khí. Nguyên lý đo này được mô tả như sau: Người ta sử dụng một thiết bị dạng hình côn (Bluff Body of Vortex Shedder) đặt vuông góc và chắn giữa dòng chảy. Khi lưu chất gặp thiết bị này nó sẽ hình thành các điểm xoáy Vortex ở phía hạ nguồn, lưu lượng càng lớn thì các điểm xoáy này càng nhiều.



1.2 Đo lưu lượng theo nguyên lý Vortex



Xuất hiện dòng xoáy khí có vật cản trên dòng chảy

1.2 Đo lưu lượng theo nguyên lý Vortex

Mỗi dòng xoáy sẽ tạo ra áp lực nhỏ. Sự dao động của áp lực này sẽ được ghi lại bởi các cảm biến và chuyển đổi thành tín hiệu xung điện. Những dòng xoáy được tạo ra rất đều nhau trong giới hạn cho phép của thiết bị đo. Vì vậy tần số của dòng xoáy tỉ lệ với lưu lượng thể tích.

Hằng số tỉ lệ được tính theo công thức sau:

$$K\text{-Factor} = \frac{\text{Pulses}}{\text{Unit Volume [dm}^3\text{]}}$$

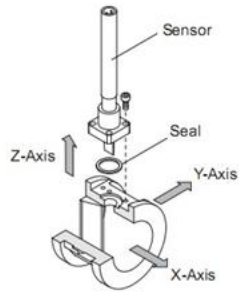
Hệ số K_{factor} phụ thuộc vào:

- Hình dạng hình học của thiết bị đo.
- Tốc độ dòng chảy, tính chất và mật độ (density) của dòng chảy. Do đó phụ thuộc vào loại chất cần đo lưu lượng là lỏng, hơi hay khí.

Nguyên lý đo Vortex bị ảnh hưởng bởi sự rung động của đường ống, sự sủi bọt của lưu chất.... Tuy nhiên, trong thực tế thiết bị đo theo nguyên lý này cho kết quả khá chính xác (sai số <0,5%)

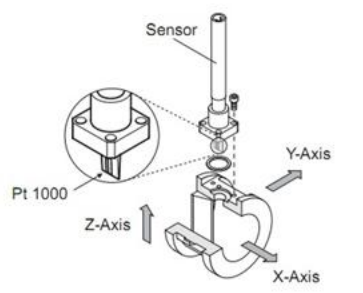
1.2 Đo lưu lượng theo nguyên lý Vortex

Cảm biến:



DSC sensor, Prowirl 72

A0003940-en



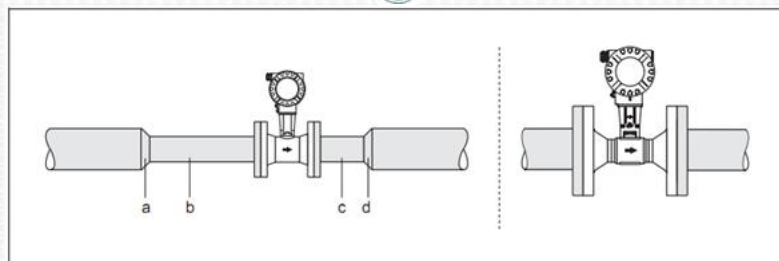
DSC sensor, Prowirl 73 with integrated thermometer (Pt 1000)

A0004050-en

-Một số sử dụng cảm biến DSC sensor: Differential Switched Capacitance

-Một số thiết bị còn tích hợp thêm cảm biến nhiệt độ (Pt1000) để đo và hiệu chỉnh các thông số được chính xác hơn.

1.2 Đo lưu lượng theo nguyên lý Vortex



Ưu điểm: - Độ thích ứng rộng (cho hệ số Reynolds trên 10000)

- Lưu lượng kể loại Vortex có độ tin cậy và độ chính xác cao
- Phạm vi kích thước rộng
- Tín hiệu ra tuyến tính

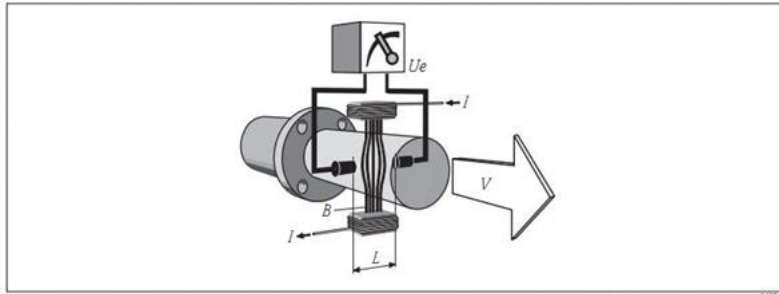
Nhược điểm: - Không đo được đối với chất dạng vữa hoặc chất lỏng có độ nhớt cao.

- Người sử dụng không thể kiểm tra sự hiệu chỉnh (calibration).
- Dùng cho dòng chảy rối
- Có thể phải sử dụng tấm lọc
- Thiết bị có thể bị hư hại bởi sự dao động của dòng chảy.

1.3 Đo lưu lượng theo nguyên lý điện từ



1.3.1 Nguyên lý đo:



- Theo định luật cảm ứng điện từ của Faraday, sẽ xuất hiện điện áp cảm ứng khi dây dẫn chuyển động trong trường điện từ.
- Trong nguyên lý đo điện từ thì dòng chảy trung bình chính là sự chuyển động của dây dẫn
- Điện áp cảm ứng tỉ lệ với vận tốc của lưu lượng dòng chảy và được đưa đến bộ khuếch đại thông qua 2 điện cực đo. Lưu lượng thể tích được tính dựa vào các công thức dưới đây:

1.3 Đo lưu lượng theo nguyên lý điện từ



$$U_e = B.L.v$$

$$Q = A.v$$

Với: U_e : Điện áp cảm ứng (V) B : hệ số cảm ứng từ (Vs/m^2) L : Khoảng cách giữa 2 điện cực (m) v : Vận tốc của dòng lưu chất Q : lưu lượng thể tích (m^3/s) A : tiết diện mặt cắt ngang của ống (m^2)

1.3.2 Ưu nhược điểm:

+**Ưu điểm**: - Độ chính xác cao (+/- 0.5% of full scale)

- Chỉ phụ thuộc vào vận tốc của dòng lưu chất vào, không phụ thuộc vào khối lượng riêng, độ nhớt hay áp suất tĩnh của lưu chất.

- Có độ thích ứng (tỉ số dòng chảy tối đa chia cho dòng chảy tối thiểu mà một dụng cụ có thể thích ứng) là 10:1 hoặc cao hơn.

- Có thể đo được 2 chiều

- Độ chênh áp không đáng kể

- Khoảng kích thước đường ống đo lớn, từ 0.1 inch trở lên.

+**Nhược điểm**:- Lưu chất phải có tính dẫn, với độ dẫn điện lớn hơn $2 \mu\Omega/cm^2$

- Cần phải có sự bảo dưỡng để chống ăn mòn.

- Khó hiệu chỉnh (calibration)

- Giá từ vừa phải đến cao

- Kích thước lớn và nặng

1.4 Đo lưu lượng theo nguyên lý chiếm chỗ (Positive Displacement Sensor)

Nguyên lý đo này tỏ ra khá đơn giản: Người ta sử dụng một cái bầu (chamber), trong bầu có các cánh quay và các cánh quay này sẽ chỉ cho phép lưu chất đi qua bầu theo từng đợt. Đồng thời sẽ có một bộ phận đo số lần lưu chất đi qua bầu, từ đó sẽ tính ra được lưu lượng.

Một hình thức khác dễ hình dung hơn của thiết bị đo này là xilanh – piston. Cứ mỗi lần piston đi hết một hành trình xi-lanh ta sẽ được một lượng xác định lưu chất. Như vậy để xác định lưu lượng ta chỉ việc xác định số lần dịch chuyển của piston và lượng lưu chất của mỗi lần dịch chuyển.

Ưu điểm:

- Độ chính xác khá cao, 0.05 – 0.15 % lưu lượng thực tế. Nhưng với một số điều kiện nhất định có thể đạt được độ chính xác là 0.02 – 0.05%.
- Có độ thích ứng thông thường là 10:1. Thiết bị đo lưu lượng theo phương pháp chiếm chỗ có độ thích ứng và độ chính xác rất cao. Đặc biệt đối với chất lỏng nặng hay có độ nhớt cao.
- Có nhiều loại kích cỡ

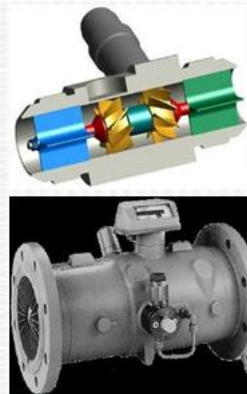
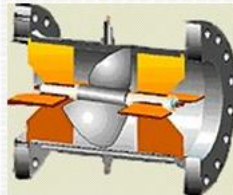
Nhược điểm:

- Phụ thuộc vào sự hao mòn cơ khí
- Khó khăn trong việc lắp đặt, sửa chữa và thay thế, thiết bị thay thế phải phù hợp với các thiết bị hiện hữu
- Cần phải có thiết bị lọc

1.5 Đo lưu lượng theo nguyên lý Turbine

- Thiết bị đo lưu lượng theo nguyên lý Turbine khi yêu cầu có độ chính xác và độ thích ứng cao. Và sử dụng khi lưu chất bao gồm nhiều hỗn hợp pha trộn với nhau.

- Nguyên lý đo này được mô tả như sau: Khi lưu chất đi qua thiết bị đo nó sẽ làm quay cánh turbine, Lưu lượng càng lớn thì tốc độ càng cao. Sẽ có một phần cảm ứng để cảm nhận tốc độ quay của cánh turbine và cho ra các xung điện tương ứng. Số lượng các xung trong một đơn vị thời gian sẽ xác định lưu lượng của lưu chất.



1.5 Đo lưu lượng theo nguyên lý Turbine

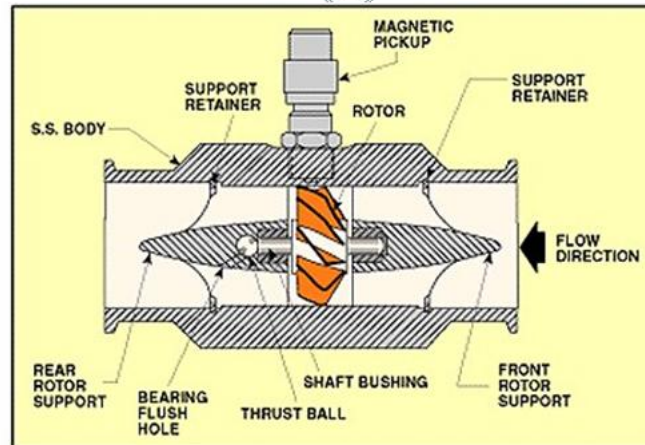


Figure 5: Turbine flowmeter consists of a multiple-bladed, free-spinning, permeable metal rotor housed in a non-magnetic stainless steel body. In operation, the rotating blades generate a frequency signal proportional to the liquid flow rate, which is sensed by the magnetic pickup and transferred to a read-out indicator

1.5 Đo lưu lượng theo nguyên lý Turbine

Ưu điểm:

- Độ chính xác cao, khoảng 0.25% hoặc có thể cao hơn
- Độ thích ứng thay đổi tùy thuộc vào thiết kế của thiết bị đo, độ nhớt, mật độ của chất lỏng và kích cỡ của thiết bị đo
- Có thể đo được với mức lưu lượng rất lớn hoặc ở mức nhỏ.
 - Thích ứng với khoảng thay đổi nhiệt độ và áp suất lớn.
- Đo được cả 2 chiều.

Nhược điểm:

- Dễ bị hao mòn và hư hỏng nếu dòng lưu chất bẩn và không được bôi trơn
- Dễ bị hư hỏng nếu bị vượt quá tốc độ cho phép hay dòng chảy bị dao động
- Cần phải bảo trì và hiệu chỉnh của nhà sản xuất hoặc trung tâm bảo trì sau 1 thời gian sử dụng
- Độ thích ứng bị ảnh hưởng bởi độ nhớt cao và mật độ thấp
- Giá thành tương đối cao
- Cần có bộ lọc
- Nhà cung cấp phải được yêu cầu bảo trì và calib chính xác

1.6 Đo lưu lượng theo nguyên lý siêu âm (Ultrasonic)



- Đây là phương pháp sử dụng nguyên lý sóng siêu âm, có thể có 2 phương pháp đo:
 - Đo độ chênh lệch tần số siêu âm, gọi là Doppler frequency shift
 - Đo chênh lệch thời gian – Difference in transit times
- Thiết bị đo này có 1 bộ cảm biến gồm máy phát sóng siêu âm và thu sóng siêu âm

Ưu điểm:

- Dễ tháo lắp (dùng công nghệ clamp-on)
- Có độ chính xác cao

Nhược điểm:

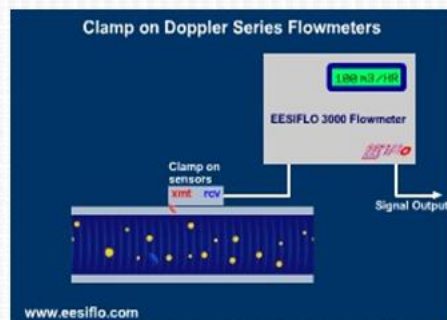
- Không chính xác khi chất rắn trong lưu chất lớn
- Đối với công nghệ clamp-on thì sai số sẽ lớn khi thành ống bị đóng cặn và đòi hỏi bề ngoài của ống phải đồng nhất

1.6 Đo lưu lượng theo nguyên lý siêu âm (Ultrasonic)



1.6.1 Đo độ chênh lệch tần số siêu âm – Doppler frequency shift (hay còn gọi là phương pháp Doppler)

- Thiết bị đo lưu lượng theo nguyên lý này dựa trên sự thay đổi của tần số siêu âm. Trong đó tần số truyền đi bị thay đổi 1 cách tuyến tính do gặp phải sự phản xạ từ các phần tử hay các bong bóng khí của lưu chất. Kết quả là có sự chênh lệch tần số giữa 2 thiết bị thu và phát tần số siêu âm, và sự thay đổi này có liên quan trực tiếp tới vận tốc của dòng chảy. Nếu biết được đường kính trong của ống, ta có thể tính được lưu lượng thể tích. Phương pháp này yêu cầu cần phải có 1 số phần tử rắn hoặc thể khí trong lưu chất để có thể đạt được phép đo chính xác.

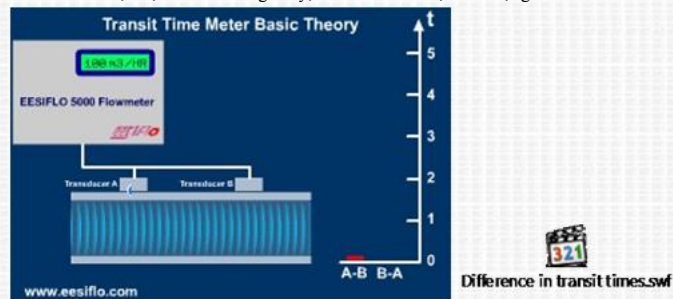


 Doppler frequency shift.swf

1.6 Đo lưu lượng theo nguyên lý siêu âm (Ultrasonic)

1.6.2 Đo chênh lệch thời gian – Difference in transit times

- Nguyên lý này được thực hiện bằng cách gửi 1 chùm tín hiệu xuyên qua 1 cái ống. Lưu lượng được đo dựa trên nguyên tắc sóng âm đi theo hướng dòng chảy cần ít thời gian hơn so với đi theo hướng ngược lại. Nếu vận tốc bằng 0 thì độ chênh lệch thời gian là $\Delta T = 0$. Nếu ta biết được các thông số về đường kính ống, vật liệu và chiều dày của thành ống, góc khúc xạ thì ta có thể tính được vận tốc của dòng chảy, rồi từ đó tính được lưu lượng thể tích.



- Ngoài ra còn có các phương pháp khác như:

- + Phương pháp dựa vào sự chênh lệch giữa các pha siêu âm (Ultrasonic Phase Difference Measurement)
- + Phương pháp xung siêu âm Doppler (Ultrasonic Pulse Doppler Method)

1 Đo lưu lượng

6 nguyên lý đo trên thuộc về nhóm đo lưu lượng thể tích (volumetric flowrate). Nhược điểm của nhóm đo lưu lượng thể tích là độ chính xác của chúng phụ thuộc vào quá nhiều yếu tố: nhiệt độ, độ nhớt, áp suất, hình thái dòng chảy (đặc biệt ảnh hưởng đến nguyên lý đo Chênh áp, Vortex và Turbine)... Riêng đối với hình thái dòng chảy thì lý tưởng nhất là dòng chảy tầng (Uniform Laminar flow). Tuy nhiên, trong thực tế không thể có được dòng chảy này nên hình thái dòng chảy được khuyến cáo nên sử dụng là dòng chảy rối đều (Uniform turbulent flow), còn dòng chảy rối loạn (Non-uniform turbulent flow) thì không nên dùng vì nó ảnh hưởng rất lớn đến kết quả đo.

Để giảm thiểu sự chảy rối người ta thường lắp thêm các ống hướng dòng phía trước thiết bị đo. Bên cạnh đó, khoảng cách giữa thiết bị đo và điểm co gần nhất của đường ống cũng cần quan tâm đặc biệt.

1.7 Đo lưu lượng theo nguyên lý chênh nhiệt

Nguyên lý đo này thường được dùng trong các hệ thống dầu tuần hoàn của các hệ thống máy công suất lớn. Có hai hình thức:

- Đặt một lượng nhiệt nhất định vào dòng lưu chất và đo sự suy giảm lượng nhiệt ấy qua hai điểm.
 - Đặt một nguồn nhiệt vào lưu chất sao cho sự chênh lệch nhiệt độ giữa hai điểm là không đổi.
- Về cấu tạo thì nguyên lý đo này cần tối thiểu là 2 TE – Thermal Element. Một trong hai cái sẽ dùng để đo nhiệt độ của dòng lưu chất trước khi gia nhiệt và cái còn lại đo nhiệt độ của dòng lưu chất sau khi gia nhiệt. Như vậy, cho dù nhiệt độ của dòng lưu chất trước khi đo có thay đổi thì kết quả đo vẫn bảo đảm độ chính xác cần thiết. Kết quả đo của 2 TE sẽ được xử lý và thiết bị đo sẽ cho ra kết quả là tín hiệu điện (4 – 20mA, 1 – 5V...) tỉ lệ với lưu lượng của lưu chất.



1.8 Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis

Đây là nguyên lý đo phức tạp nhất nhưng cũng cho kết quả chính xác nhất, thường được dùng trong mua bán hơn là trong điều khiển.

Hiệu ứng Coriolis là hiệu ứng xảy ra trong các hệ qui chiếu quay so với các hệ qui chiếu quán tính, được đặt theo tên của Gaspard-Gustave de Coriolis-nhà toán học, vật lý học người Pháp đã mô tả nó năm 1835 thông qua lý thuyết thủy triều của Pierre-Simon Laplace. Nó được thể hiện qua hiện tượng lệch quỹ đạo của những vật chuyển động trong hệ qui chiếu này. Sự lệch quỹ đạo do một loại lực quán tính gây ra, gọi là lực Coriolis. Lực Coriolis được xác định bằng công thức sau:

$$F = -2m[\vec{v}, \vec{\omega}]$$

Với: m là khối lượng của vật
 \vec{v} là véctơ vận tốc của vật
 $\vec{\omega}$ là véctơ vận tốc góc của hệ, còn dấu.

Nguyên lý Coriolis dựa trên sự biến đổi dòng chảy khi bị lực tác động ngang. Giả sử như khi chạy xe gắn máy tốc độ thấp, thì lực gió thổi ngang sẽ làm cho bị chệch tay lái một ít, nhưng là chệch ở rất gần điểm bị gió thổi. Còn nếu chạy với tốc độ cao hơn, sẽ bị lệch hướng ở một vị trí xa hơn một chút. Nếu xe nhẹ thì sẽ bị lệch gần như tức thời, nhưng nếu xe nặng sẽ bị lệch trễ hơn.

Như vậy độ lệch hướng và thời gian trễ của chiếc xe sẽ tùy thuộc vào tốc độ di chuyển của xe và khối lượng quán tính của xe.

Tương tự nếu ta cho một dòng chảy đi vào một hệ thống đường ống đang xoay, dòng chảy đó sẽ bị lệch đi tùy thuộc vào tốc độ quay của đường ống, tốc độ của dòng chảy, và khối lượng của nó. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng Coriolis. Hiệu ứng Coriolis chính là hiệu ứng gây ra sự lệch hướng ngược chiều nhau của các luồng gió trên bề mặt địa cầu giữa bắc bán cầu và nam bán cầu. .

1.8 Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis



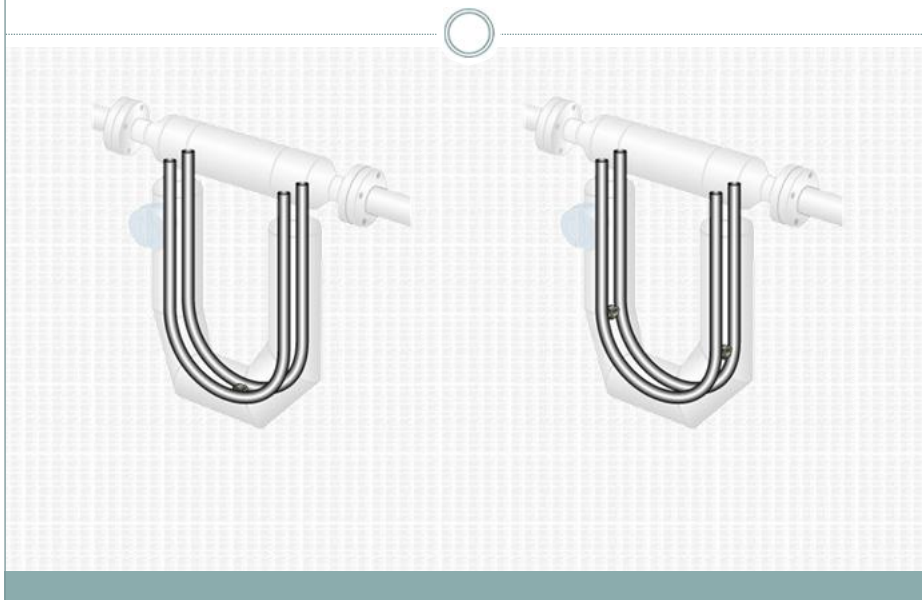
Hiệu ứng Coriolis đối với các luồng gió thổi trên 2 bán cực của trái đất

1.8 Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis

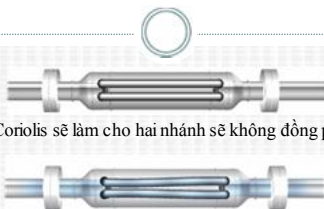
Dựa vào nguyên lý này, người ta chế tạo ra cảm biến lưu lượng kiểu Coriolis.

- Với một ống chữ U như hình vẽ, xoay quanh trục với tốc độ là ω (có thể không đổi hoặc thay đổi). Nếu có một lưu lượng lưu chất đi ngang qua, thì sự di chuyển dòng chảy sẽ làm cho ống bị vặn xoắn đi.
- Trên thực tế, người ta không cho ω cố định, mà là một hàm biến thiên theo thời gian. Thường là một hàm sin. Khi đó, các lực F_c cũng sẽ biến thiên theo thời gian theo hàm sin.
- Có thể tạo tốc độ quay ω bằng một bộ rung điện từ, gọi là phần tử kích thích ở điểm E, và đặt hai bộ cảm biến đi động ở 2 điểm S1 và S2.
- Thông thường, để tạo dễ dàng cho việc chế tạo, và tăng độ chính xác của mạch đo, người ta sẽ dùng 2 ống chữ U song song với nhau.
- Bộ phận kích thích sẽ được lắp ở cạnh đáy của chữ U, tạo nên xung động làm 2 nhánh U dao động ngược chiều nhau.
- Hai bộ cảm biến khoảng cách sẽ được lắp ở 2 cạnh bên.
- Khi không có dòng chảy, hai nhánh chữ U sẽ dao động ngược hướng với nhau. Hai bộ cảm biến vị trí sẽ ghi nhận khoảng cách giữa 2 nhánh sẽ thay đổi đồng thời với nhau, tín hiệu ra sẽ đồng pha.

1.8 Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis



1.8 Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis



Khi có một lưu lượng chảy qua, lực Coriolis sẽ làm cho hai nhánh sẽ không đồng pha với nhau nữa.

Khoảng cách giữa 2 nhánh sẽ không giống nhau ở hai đầu. Tín hiệu điện ở 2 bộ cảm biến sẽ lệch pha với nhau.

Góc lệch pha, hay thời gian lệch pha sẽ tỷ lệ với lực Coriolis, nghĩa là tỷ lệ với vận tốc và khối lượng của lưu chất di chuyển trong ống. Có nghĩa là tỷ lệ với lưu lượng khối lượng của lưu chất.

Trên đây chỉ là nguyên lý, trong thực tế thiết bị đo Coriolis là một trong những thiết bị đo rất phức tạp và có độ thông minh rất cao. Ngày nay, người ta tích hợp cả vi xử lý vào thiết bị đo Coriolis để cho ra kết quả đo chính xác nhất (sai số <math><0.01\%</math>)

1.8 Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis



1.8 Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis



1.8 Đo lưu lượng theo nguyên lý Coriolis



Ghi chú: Đo lưu lượng khối lượng có kết quả đo chính xác hơn đo lưu lượng thể tích vì phép đo này không phụ thuộc vào nhiệt độ, hình thái dòng chảy, áp suất, độ nhớt, khối lượng riêng của lưu chất... Được sử dụng chủ yếu để đo chất lỏng hoặc chất sệt dạng bùn (slurry) và khí.

